

# **Campagna di rilevamento della qualità dell'aria nel Comune di Forte dei Marmi (LU)**

*presso il sito di:*

**Scuola primaria "Don Milani"**  
**Via degli Olmi – fraz. Vaiana**

Campagna indicativa di rilevamento con  
Autolaboratorio-DB329YN  
Autolaboratorio-GM425JC

Periodo:  
31 marzo 2023 – 07 gennaio 2024

**Settore "Centro regionale per la tutela  
della qualità dell'aria"**

Febbraio 2024

REPORT

ARIA 



## **PROVINCIA DI LUCCA – COMUNE DI FORTE DEI MARMI**

### **RELAZIONE CAMPAGNA DI RILEVAMENTO INDICATIVA CON AUTOLABORATORIO TARGATO DB329YN (stagione primaverile - estiva 2023) E AUTOLABORATORIO TARGATO GM425JC (stagione autunnale 2023, invernale 2023-2024)**

1) Forte dei Marmi – Via degli Olmi, frazione Vaiana.  
presso Scuola “Don Milani”

A cura di:

Bianca Patrizia Andreini

Settore “*Centro Regionale per la Tutela della Qualità dell’Aria*” (CRTQA)

ARPAT – Area Vasta “Toscana Costa”

Autori:

Dennis Dalle Mura, Roberto Fruzzetti

ARPAT – Settore “*Centro Regionale per la Tutela della Qualità dell’Aria*” - Pisa

Le attività di prova per il monitoraggio del PM10 e PM2,5 sono effettuate presso il laboratorio del Centro regionale di riferimento per la qualità dell’aria (CRRQA)

Area Vasta ARPAT Toscana Costa-CRTQA  
Via Giovanni Marradi, 114 - 57126 Livorno  
Tel. 055.32061, fax 055.5305615 - p.iva 04686190481  
[www.arpat.toscana.it](http://www.arpat.toscana.it) - [urp@arpat.toscana.it](mailto:urp@arpat.toscana.it) - PEC: [arpat.protocollo@postacert.toscana.it](mailto:arpat.protocollo@postacert.toscana.it)

## Sintesi

*La campagna indicativa di monitoraggio della qualità dell'aria, realizzata per mezzo di laboratori mobili tra fine marzo 2023 e inizi 2024 nel territorio comunale di Forte dei Marmi (LU), presso le pertinenze della Scuola "Don Milani" nella frazione Vaiana, nell'ambito di una convenzione triennale tra ARPAT e il Comune, ha fornito un quadro ambientale esauriente per i parametri monitorati. Nel sito sono stati monitorati gli ossidi di azoto, il monossido di carbonio e il materiale particolato fine PM10 e PM2,5.*

*I valori degli indicatori degli inquinanti gassosi NO<sub>2</sub> e CO rispettano ampiamente i limiti previsti dalla normativa vigente per la protezione della salute umana. Gli indicatori di periodo per il biossido di azoto presenta un valore inferiore alla metà del Valore Limite (di seguito, VL) normativo e per il monossido di carbonio la media mobile trascinata su 8 ore è ampiamente inferiore al VL.*

*La presenza dell'impianto termico a servizio della scuola stessa nei pressi del punto di prelievo delle misurazioni ha alterato alcuni tra i valori medi massimi orari di biossido di azoto NO<sub>2</sub> nell'autunno e nell'inverno e la distribuzione delle concentrazioni medie orarie all'interno delle 24 ore del giorno, ma non la sostanziale valutazione sul sito di fondo in esame, dato che gli indicatori medi di periodo di questo inquinante non subiscono variazioni significative.*

*La determinazione delle frazioni di polveri atmosferiche fini PM10 e PM2,5 non ha evidenziato situazioni critiche, dato che tutti i valori degli indicatori definiti dalla normativa per le campagne indicative sono al di sotto dei valori limite previsti dal D.Lgs. 155/10.*

*Presso il sito di Forte dei Marmi i valori dell'indicatore media di periodo relativo a PM10 e PM2,5 sono inferiori a quelli registrati nel sito di riferimento di LU-Viareggio (-18% sul valore medio di PM10 sul periodo dell'intera campagna, -13% per il PM2,5).*

*Per quanto riguarda il n° di superamenti del VL giornaliero del PM10 in un anno è stato ottenuto un valore relativo al 90,4° percentile pari a 39 µg/m<sup>3</sup>, inferiore al VL giornaliero di 50 µg/m<sup>3</sup>, il che fa ipotizzare un probabile rispetto dell'indicatore in questione .*

*Per quanto attiene al PM2,5, il VL annuale previsto dalla normativa vigente è stato rispettato. Analogamente agli indicatori di periodo del PM10, si osservano valori mediamente meno elevati a Forte dei Marmi rispetto al sito di riferimento di LU-Viareggio (-13%), in particolare nel periodo invernale, come accade per il PM10.*

# SOMMARIO

|  |           |
|--|-----------|
| <b>SINTESI.....</b>  | <b>3</b>  |
| .....  | 4         |
| <b>1. INTRODUZIONE.....</b>  | <b>5</b>  |
| <b>2. DESCRIZIONE DEI SITI DI MISURA.....</b>  | <b>6</b>  |
| <b>3. PARAMETRI E METODI.....</b>  | <b>10</b> |
| <b>4. LIMITI NORMATIVI.....</b>  | <b>12</b> |
| <b>5. RISULTATI.....</b>   | <b>14</b> |
| 5.1 STANDARDIZZAZIONE.....   | 14        |
| 5.2 VALORI DEGLI INDICATORI.....   | 14        |
| 5.2.1 <i>Biossido di azoto (NO<sub>2</sub>)</i> .....  | 16        |
| 5.2.2 <i>Monossido di carbonio (CO)</i> .....  | 18        |
| 5.2.3 <i>Polveri PM10</i> .....  | 20        |
| 5.2.4 <i>Polveri PM2,5</i> .....   | 30        |
| <b>CONCLUSIONI.....</b>  | <b>37</b> |
| <b>ALLEGATO A: GRAFICI DEI VALORI MEDI ORARI DI BLOSSIDO DI AZOTO (NO<sub>2</sub>) E<br/>MONOSSIDO DI CARBONIO (CO).....</b>       | <b>39</b> |
| <b>ALLEGATO B: GIORNO TIPO DEL BLOSSIDO DI AZOTO (ESTATE / INVERNO) E<br/>CONFRONTI CON LU-VIAREGGIO SUGLI STESSI PERIODI.....</b> | <b>43</b> |
| <b>ALLEGATO C: TEST DI CORRELAZIONE DI PEARSON – DEFINIZIONE.....</b>  | <b>44</b> |

# 1. INTRODUZIONE

Le campagne di misura condotte con autolaboratorio possono assumere una duplice funzione a seconda della zona di collocazione:

- Forniscono dati integrativi della rete di monitoraggio della Qualità dell’Aria;
- Definiscono situazioni ambientali non ancora sottoposte ad indagini che su tempi lunghi potrebbero determinare un superamento degli standard di Q.A. a causa di fattori locali (incidenza di industrie, alti flussi di traffico, condizioni meteo-climatiche sfavorevoli, etc.)

La presente relazione illustra l'attività dei mezzi mobili targati DB329YN e GM425JC dell'ARPAT relativa alla terza campagna di misure annuale, con durata dal 31 marzo 2023 al 07 gennaio 2024, nel contesto di una convenzione triennale per tre complessive campagne di misura indicative stipulata tra Comune di Forte dei Marmi e ARPAT, e recepita dall'Agenzia regionale tramite il decreto dirigenziale DD 078/2019, integrato per posticipo della presente campagna con DD 056/2021.

La presente indagine si configura come la terza della serie e può essere assimilata a una “misurazione indicativa” di qualità dell’aria, come previsto dal D.Lgs. N° 155/2010 e s.m.i.

Il processo di monitoraggio della qualità dell’aria è inserito nel sistema di gestione per la qualità di ARPAT mediante il Documento di sistema PG.SG.17 “Monitoraggio della qualità dell’aria mediante reti di rilevamento”. Tale sistema di gestione di ARPAT è certificato da RINA con registrazione n° 32671/15/S secondo le UNI EN ISO 9001:2015. Pertanto, tutti i dati misurati dal laboratorio mobile, sono stati acquisiti, elaborati e validati secondo le procedure disciplinate dal suddetto documento.

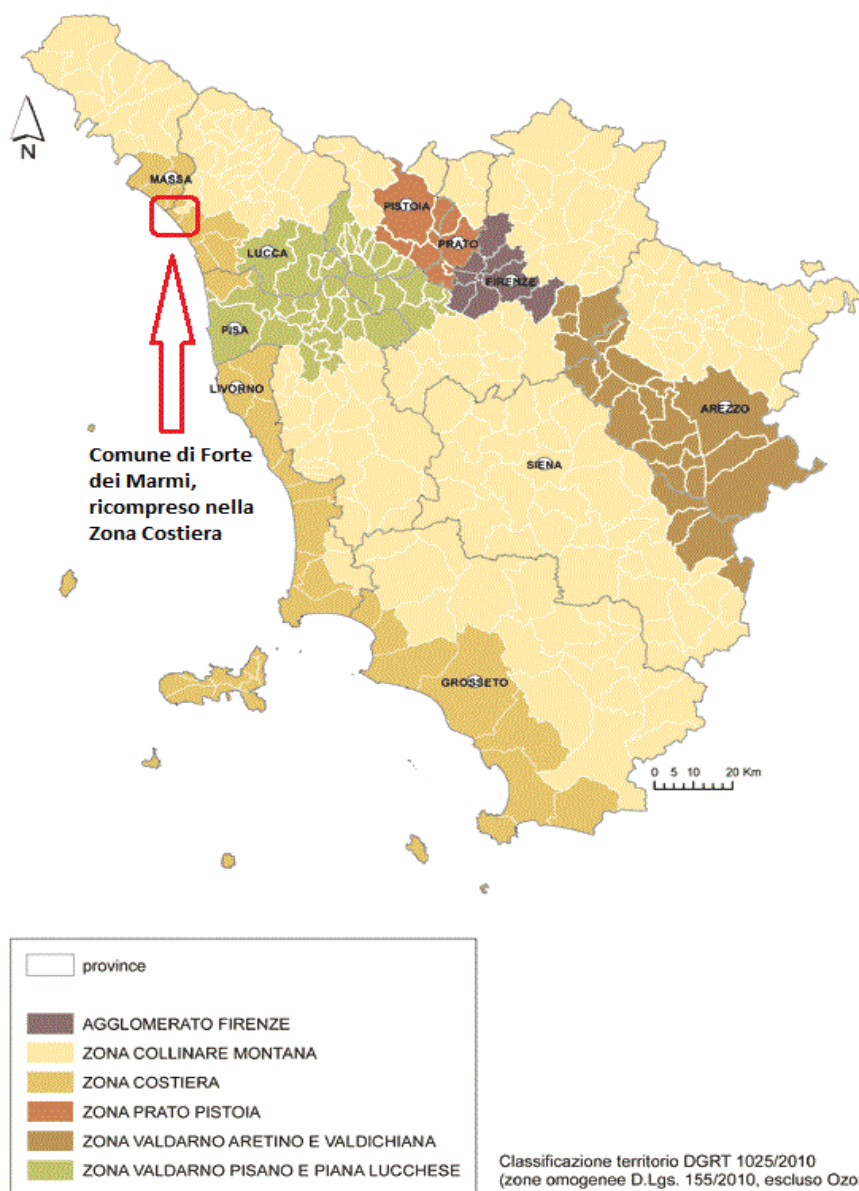
## 2. DESCRIZIONE DEI SITI DI MISURA

Il sito in cui sono stata condotta l'indagine indicativa annuale di qualità dell'aria è posto in un sito periferico a Forte dei Marmi.

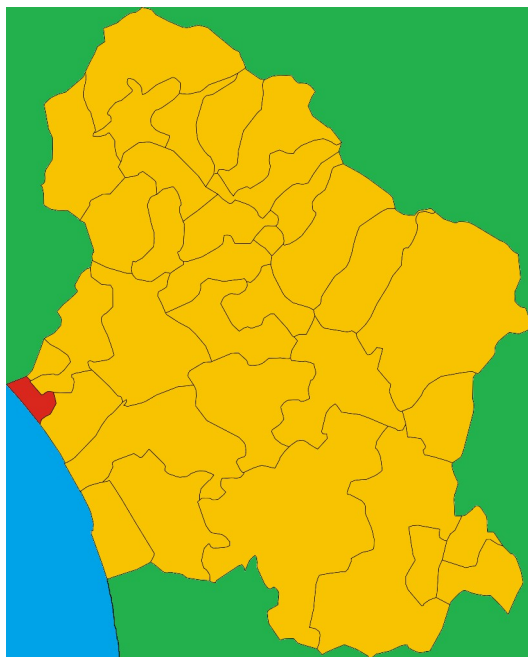
Le generalità della postazione sono le seguenti:

1) Scuola Primaria "Don Milani", Via degli Olmi, nella frazione di Vaiana a circa 2,5 km dal litorale; coordinate Gauss – Boaga: Nord 4868858; Est 1595775. In base all'Allegato 3 del D.Lgs. 155/2010, il sito può essere classificato come una postazione di tipo "periferico – fondo".

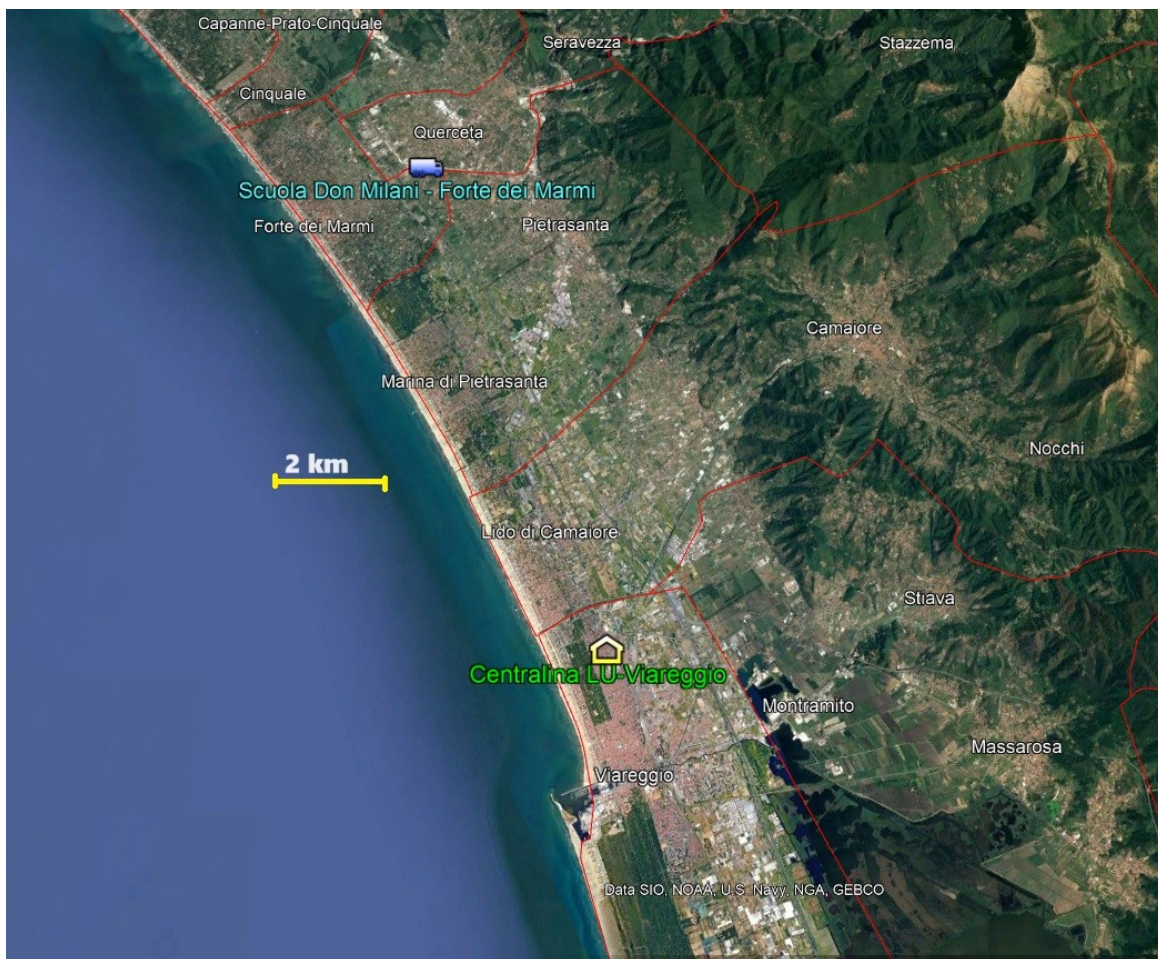
**Figura 2.1** Mappa della zonizzazione della Toscana con individuazione dell'area comunale di indagine e indicazione dell'Area omogenea di interesse (Zona Costiera)



**Figura 2.2** Mappa della provincia di Lucca con localizzazione in rosso del territorio comunale di Forte dei Marmi



**Figura 2.3** Panoramica del sito di monitoraggio nel contesto versiliese ed evidenza del sito fisso regionale di riferimento (LU-Viareggio)



**Figura 2.4** Autolaboratorio DB329YN situato presso le pertinenze della scuola "Don Milani" – primavera 2023 - vista verso Nord-Ovest

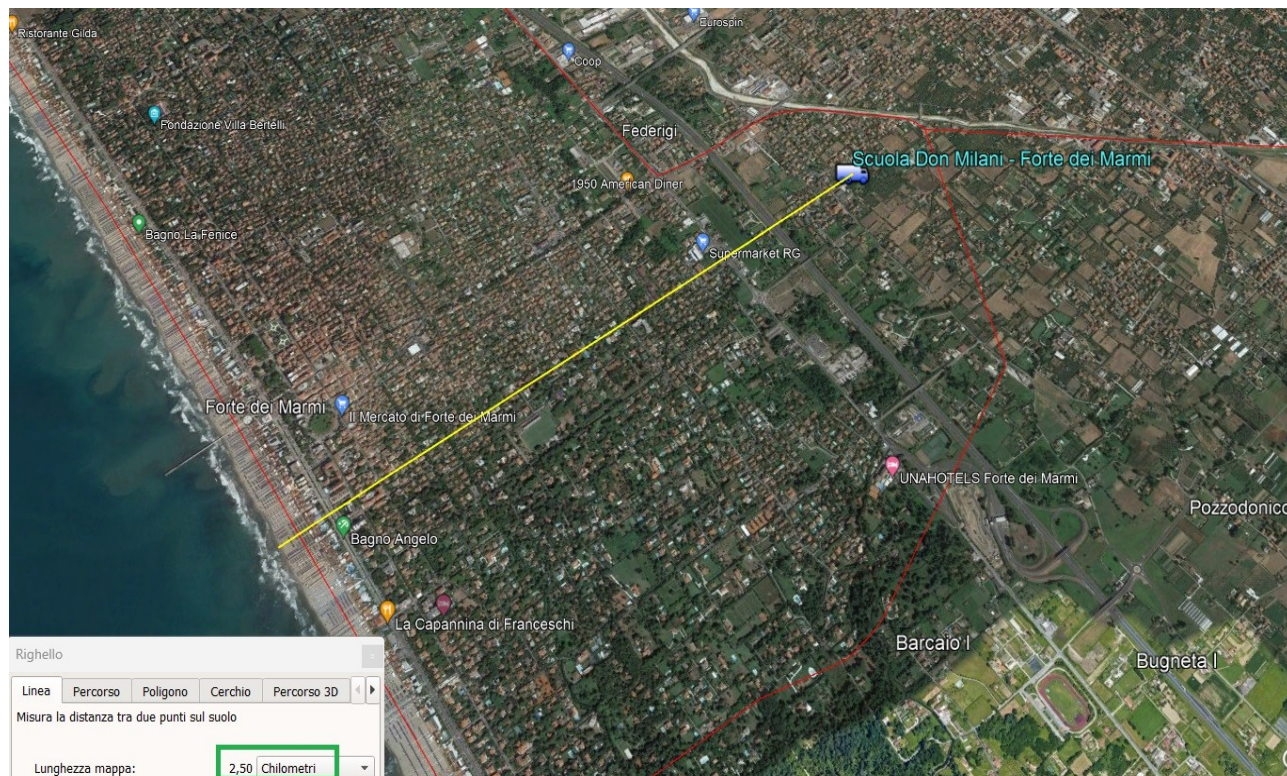


**Figura 2.4.bis** Autolaboratorio GM425JC installato presso le pertinenze della scuola "Don Milani" – autunno 2023 – vista verso Nord-Ovest





**Figura 2.5** Contesto ambientale del sito "Periferico - fondo" della Scuola Don Milani a nella frazione di Vaiana, a circa 2,5 km dalla linea costiera (evidenziata con tratto righello la distanza dal litorale)



**Nota:** in tutte le immagini aeree, Nord verso l'alto. Immagini aeree da Google Earth.

### 3. Parametri e Metodi

Nella tabella 3.1 è fornita una descrizione degli inquinanti monitorati dai mezzi mobili impiegati, in accordo con la convenzione stipulata:

**Tabella 3.1** – Inquinanti monitorati da autolaboratori DB329YN e GM425JC:

| NO <sub>x</sub> | CO | PM10 | PM2,5 |
|-----------------|----|------|-------|
| x               | x  | x    | x     |

NO<sub>x</sub> = ossidi di azoto totali, ovvero monossido di azoto (NO) e biossido di azoto (NO<sub>2</sub>)

CO = monossido di carbonio

PM10 = polveri con diametro aerodinamico inferiore a 10 micrometri (µm)

PM2,5 = polveri con diametro aerodinamico inferiore a 2,5 micrometri (µm)

Di seguito in tabella sono elencati gli strumenti presenti all'interno del mezzo mobile e le relative caratteristiche tecniche:

**Tabella 3.3** – Caratteristiche tecniche degli strumenti installati sul laboratorio mobile DB329YN (primavera - estate 2023):

| Inquinante      | Marca modello            | Principio Metodo   | Limite Rivelabilità | Precisione   |
|-----------------|--------------------------|--|---------------------|--|
| NO <sub>x</sub> | API T200                 | Chemiluminescenza<br>UNI EN 14211:2012   | 0,4 ppb             | 0,5% della lettura                                 |
| CO              | API 300E                 | Assorbimento<br>Radiazione Infrarossa<br>UNI EN 14626:2012   | 0,04 ppm            | 0,5% della lettura o 0,2 ppm<br>(maggiore dei due) |
| PM10/PM2,5      | FAI SWAM<br>Dual Channel | Campionamento<br>gravimetrico e analisi<br>su membrane filtranti<br>UNI EN 12341:2014 e<br>UNI EN 16450:2017 | 1 µg/m <sup>3</sup> | < 1 µg/m <sup>3</sup>                              |

**Tabella 3.4** – Caratteristiche tecniche degli strumenti installati sul laboratorio mobile GM425JC (autunno - inverno 2023-2024):

| Inquinante      | Marca modello  | Principio Metodo  | Limite Rivelabilità | Precisione   |
|-----------------|--|---|---------------------|--|
| NO <sub>x</sub> | API T200   | Chemiluminescenza<br>UNI EN 14211:2012                                      | 0,4 ppb             | 0,5% della lettura                                 |
| CO              | API 300E   | Assorbimento<br>Radiazione Infrarossa<br>UNI EN 14626:2012                  | 0,04 ppm            | 0,5% della lettura o 0,2 ppm<br>(maggiore dei due) |
| PM10/PM2,5      | FAI SWAM<br>Dual Channel<br>(privo di sorgente;<br>modalità<br>campionatore) | Campionamento<br>gravimetrico su<br>membrane filtranti<br>UNI EN 12341:2014 | ---                 | ---  |

## 4. LIMITI NORMATIVI

I valori limite che esprimono gli indicatori di qualità dell'aria sono stati definiti dalla Comunità Europea (Direttiva 2008/50/CE) e sono stati recepiti dallo Stato italiano con il D.Lgs. n° 155 del 13 agosto 2010 e s.m.i.

**Tabella 4.1** BLOSSIDO DI AZOTO – normativa e limiti  
(paragrafo 1 allegato XI D.Lgs. 155/2010 e paragrafo 1 allegato XII D.Lgs. 155/2010 – punto B Allegato XI, punto A Allegato XII ed Allegato XIII Direttiva 2008/50/CE)

|  | <b>Periodo di mediazione</b>                            | <b>Valore limite</b>   |
|--|---|--|
| Valore limite orario per la protezione della salute umana. | <b>1 ora</b>  | 200 µg/m <sup>3</sup> NO <sub>2</sub> da non superare più di 18 volte per l'anno civile. |
| Valore limite annuale per la protezione della salute umana | <b>Anno civile</b>                                      | 40 µg/m <sup>3</sup> NO <sub>2</sub>   |
| Soglia di allarme  | <b>Anno civile<br/>Superamento di 3 ore consecutive</b> | 400 µg/m <sup>3</sup> NO <sub>2</sub>  |

**Tabella 4.2** MONOSSIDO DI CARBONIO – normativa e limiti  
(paragrafo 1 allegato XI D.Lgs 155/2010 - punto B Allegato XI Direttiva 2008/50/CE )

|  | <b>Periodo di mediazione</b>              | <b>Valore limite</b> |
|--|---|----------------------|
| Valore limite per la protezione della salute umana | <b>Media massima giornaliera su 8 ore</b> | 10 mg/m <sup>3</sup> |

**Tabella 4.3** MATERIALE PARTICOLATO PM10 – normativa e limiti  
(paragrafo 1 allegato XI D.Lgs. 155/2010 - punto B Allegato XI Direttiva 2008/50/CE)

|  | <b>Periodo di mediazione</b> | <b>Valori limite</b>  |
|--|------------------------------|---|
| Valore limite di 24 ore per la protezione della salute umana | <b>24 ore</b>                | 50 µg/m <sup>3</sup> PM10 da non superare più di 35 volte per anno civile |
| Valore limite annuale per la protezione della salute umana   | <b>Anno civile</b>           | 40 µg/m <sup>3</sup> PM10   |

**Tabella 4.4** MATERIALE PARTICOLATO PM2,5 – normativa e limiti  
(paragrafo 1 allegato XI D.Lgs. 155/2010 - punto D Allegato XIV Direttiva 2008/50/CE)

|  | <b>Periodo di mediazione</b> | <b>Valori limite</b>       |
|--|------------------------------|----------------------------|
| Valore limite annuale per la protezione della salute umana | <b>Anno civile</b>           | 25 µg/m <sup>3</sup> PM2,5 |

## 5. RISULTATI

Tra la fine di marzo del 2023 e inizio del 2024, è stata svolta la campagna di misure indicativa presso la Scuola “Don Milani” a Forte dei Marmi, fraz. Vaiana.

Gli intervalli di misura degli inquinanti in ciascuna stagione sono riassunti nella seguente tabella:

| Parametri monitorati | PRIMAVERA |           |           | ESTATE    |           |           | AUTUNNO   |          |           | INVERNO   |           |           | Totale giorni campionamento | Totale ore teoriche campionamento |
|----------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------------------------|-----------------------------------|
|                      | Inizio    | Fine      | n. giorni | Inizio    | Fine      | n. giorni | Inizio    | Fine     | n. giorni | Inizio    | Fine      | n. giorni |                             |                                   |
| NO <sub>x</sub>      | 31-mar-23 | 16-mag-23 | 47        | 23-ago-23 | 11-set-23 | 20        | 17-nov-23 | 6-dic-23 | 20        | 7-dic-23  | 7-gen-24  | 32        | 119                         | 2856                              |
| CO                   | 3-apr-23  | 16-mag-23 | 44        | 23-ago-23 | 11-set-23 | 20        | 17-nov-23 | 6-dic-23 | 20        | 7-dic-23  | 7-gen-24  | 32        | 116                         | 2784                              |
| PM10, PM2,5          | 31-mar-23 | 16-mag-23 | 47        | 23-ago-23 | 11-set-23 | 20        | 17-nov-23 | 6-dic-23 | 20        | 12-dic-23 | 31-dic-23 | 20        | 107                         |                                   |

### 5.1 Standardizzazione

Tutti i valori di concentrazione espressi in unità di massa, µg (microgrammi) o mg (milligrammi) per metro cubo d'aria (m<sup>3</sup>), sono riferiti ad una pressione di 101,3 kPa ed alla temperatura di 20 °C (293 K), ad esclusione del materiale particolato PM10 e PM2,5, il cui volume di campionamento si riferisce alle condizioni ambiente in termini di temperatura e di pressione atmosferica alla data delle misurazioni.

I dati orari di tutti gli inquinanti gassosi sono riferiti all'ora solare.

### 5.2 Valori degli indicatori

Di seguito sono presi in considerazione i singoli inquinanti per ognuno dei quali sono riportati gli indici sintetici relativi al periodo di monitoraggio, nonché i corrispondenti limiti di riferimento previsti dalla normativa vigente in materia di Qualità dell'Aria (D.Lgs. 155/2010 e ss.mm.ii.).

I dati acquisiti nel corso delle campagne condotte con i mezzi mobili permettono di effettuare una trattazione in termini statistici, secondo quanto previsto dalla normativa per la qualità dell'aria, pertanto forniscono un quadro, limitato temporalmente, della situazione di inquinamento atmosferico relativa al sito in esame. I periodi indagati, per ciascuna indagine, hanno una durata di almeno venti giorni per ogni stagione.

Come si evince anche dalla tabella sopra riportate, per quanto riguarda i periodi di interesse sono state considerate le stagioni meteorologiche, più precisamente:

- primavera: dal 31 marzo al 16 maggio 2023;
- estate: dal 23 agosto all'11 settembre 2023
- autunno: dal 17 novembre al 6 dicembre 2023;
- inverno: dal 7 dicembre 2023 al 7 gennaio 2024 (particolato atmosferico: 12 – 31 dicembre);

Il confronto con i limiti normativi è a tutti gli effetti valido ai sensi del D.Lgs. 155/2010.

I valori relativi a PM10, PM2,5 e ossidi di azoto (NO<sub>x</sub>) sono stati confrontati con le misure ottenute sugli stessi periodi presso la stazione di Rete Regionale denominata LU-Viareggio, che si trova a Sud – Sud - Est (SSE) rispetto alla postazione in esame a circa 10 km di distanza.

Per quanto riguarda il monossido di carbonio (CO), è stata presa in considerazione, rispetto alle altre, la centralina regionale che contempla il monitoraggio di questo inquinante e che rientra nella Zona costiera come Forte dei Marmi: è stata individuata la stazione di tipo “urbana – traffico” di Livorno – Viale Carducci, distante 47 km in direzione Sud – Sud - Est (SSE). Il confronto è puramente indicativo, dato che i volumi di traffico che interessano il sito regionale labronico sono più significativi rispetto a quelli attinenti al sito in esame e meno influenzati dalla stagionalità tipica della riviera versiliese. Sono stati inoltre riportati sinteticamente, a livello conoscitivo, gli indicatori sull’anno di riferimento 2023 per tutte le stazioni di rete sul territorio regionale che prevedono la misura del CO.

*Il segno ( - ) presente in alcune tabelle riassuntive indica l’assenza di un limite di riferimento relativo alla normativa vigente.*

## 5.2.1 Biossido di azoto (NO<sub>2</sub>)

Tabella 5.2.1.a – Dati di NO<sub>2</sub> – indicatori annuali; confronto e variazioni percentuali con LU-Viareggio sugli stessi periodi di misura del sito di Forte dei Marmi:

| NO2  | Autolaboratorio         | LU-Viareggio           |
|--|-------------------------|------------------------|
| <b>Scuola "Don Milani" - Forte dei Marmi</b>   |                         |                        |
| Media delle medie orarie (µg/m <sup>3</sup> ) – variazione % rispetto a sito di rif. | <b>14</b> (-33%)        | <b>21</b>              |
| Massima media oraria (µg/m <sup>3</sup> )  | 189 (18/12/2023 ore 14) | 83 (24/11/2023 ore 20) |
| n. ore valide  | 2741                    | 2630                   |
| % ore valide   | 96%                     | 92%                    |
| n. ore con concentrazione maggiore di 200 µg/m <sup>3</sup>                          | 0                       | 0                      |

Come si può rilevare dalla Tabella riassuntiva 5.2.1.a, i valori medi orari non superano mai i 200 µg/m<sup>3</sup>, che è il Valore Limite (di seguito, VL) orario da non superare più di 18 volte in un anno. Mentre i valori medi sul periodo possono rappresentare il sito di monitoraggio per quanto attiene a questo inquinante, i valori orari massimi misurati a Forte dei Marmi in autunno e inverno in particolare non sono in linea con quelli del sito di riferimento di LU-Viareggio a causa della prossimità di una sorgente emissiva di NO<sub>x</sub>. Di fatto, vi è una evidente alterazione delle misure di picco di una parte dei periodi autunnale-invernale dovuta con altissima probabilità all'impianto termico a servizio della scuola Don Milani, che viene utilizzato per il riscaldamento delle classi e dei locali del plesso scolastico. Non sono rilevabili effetti analoghi sui valori massimi orari durante le stagioni primaverile ed estiva dovuti ad eventuale basso e/o discontinuo regime di funzionamento dello stesso impianto.

Va subito chiarito che l'indicatore valore medio sul periodo non sarebbe cambiato in modo sostanziale se questa sorgente fosse stata spenta per tutto il periodo della campagna di misura (è stata fatta una simulazione togliendo dai calcoli i valori massimi orari di NO<sub>2</sub> superiori a 50 µg/m<sup>3</sup>; compatibili con la produzione emissiva della caldaia, ed è stato ottenuto come risultato un valore medio sui periodi di misura pari a 11 µg/m<sup>3</sup> anziché 14 µg/m<sup>3</sup>).

Un altro elemento da tenere in considerazione è la forma della curva del Giorno-Tipo per il biossido di azoto e la sostanziale differenza con quella "classica a due gobbe" mostrata dall'inquinante in questione misurato a LU-Viareggio.

Il valore medio delle medie orarie sui periodi è pari a 14 µg/m<sup>3</sup>, circa il 33% inferiore al valore medio sugli stessi periodi (21 µg/m<sup>3</sup>) e del 22% inferiore alla media annuale riferita al 2023 (18 µg/m<sup>3</sup>) di LU-Viareggio.

Da notare che il valore di questo indicatore è inferiore del 65% al valore limite previsto dalla normativa (14 µg/m<sup>3</sup> contro 40 µg/m<sup>3</sup>).



Tabella 5.2.1.b – Dati i NO<sub>2</sub> - indicatori stagionali per il sito di misura di Forte dei Marmi:

| NO2   | PRIMAVERA             | ESTATE                | AUTUNNO                 | INVERNO                 |
|---|-----------------------|-----------------------|-------------------------|-------------------------|
| <b>Scuola "Don Milani" – Forte dei Marmi</b>                |                       |                       |                         |                         |
| Media delle medie orarie (µg/m <sup>3</sup> )               | <b>8</b>              | <b>8</b>              | <b>18</b>               | <b>21</b>               |
| Massima media oraria (µg/m <sup>3</sup> )                   | 59 (04/04/2023 ore 8) | 48 (08/09/2023 ore 9) | 141 (24/11/2023 ore 16) | 189 (18/12/2023 ore 14) |
| n. ore valide   | 1081                  | 464                   | 460                     | 736                     |
| % ore valide  | 96%                   | 97%                   | 96%                     | 96%                     |
| n. ore con concentrazione maggiore di 200 µg/m <sup>3</sup> | 0                     | 0                     | 0                       | 0                       |

Tabella 5.2.1.c – Dati di NO<sub>2</sub> – indicatori annuali riferiti al 2023 di LU-Viareggio:

| NO2 – INDICATORI ANNUALI 2023                              | LU-Viareggio            |
|--|-------------------------|
| Media annuale (µg/m <sup>3</sup> )                         | <b>18</b>               |
| Massima media oraria (µg/m <sup>3</sup> )                  | 110 (12/02/2023 ore 20) |
| n. superamenti del VL giornaliero di 200 µg/m <sup>3</sup> | 0                       |

Come si evince dalla Tabella 5.2.1.b, il valore massimo sia orario e sia medio sul periodo sono stati raggiunti in inverno.

In Allegato B alla presente relazione vengono riportati i giorni-tipo di questo inquinante nel sito di monitoraggio in confronto con il giorno-tipo registrato a LU-Viareggio sui medesimi periodi di misura. Si analizzano in particolare le stagioni che hanno più rilevanza: l'inverno, che fa registrare i valori mediamente più alti, e l'estate, che è caratterizzata dai valori normalmente più bassi, vista la stagionalità dell'inquinante.

INVERNO – SITO DI FORTE DEI MARMI – VAIANA: una riprova dell'influenza già accennata sopra su valori massimi orari del biossido di azoto da parte dell'impianto di riscaldamento a servizio della Scuola Don Milani in questa stagione (oltre a quella autunnale) risiede nel grafico B.2 del giorno tipo invernale: si nota una grossa discrepanza dell'andamento dei due grafici; LU-Viareggio fa registrare l'andamento "classico" con i due massimi localizzati alla mattina e alla sera, mentre il sito di Forte dei Marmi – Scuola Don Milani mostra un grafico "a gradino" incentrato sulla fascia oraria 12 – 16 che ricade nell'orario scolastico e di operatività in generale del plesso scolastico, con tempi di ascesa e discesa della curva dai livelli massimi compatibili con i tempi di adattamento e accumulo / dispersione nell'aria dell'inquinante in questione per effetto di accensione e spegnimento dell'impianto stesso.

INVERNO – LU-VIAREGGIO: l'andamento tipico con due massimi (picchi a metà mattinata e a metà serata) è evidente nella sola stagione invernale solo per LU-Viareggio, come detto, con massimi mattutini (ore 9-10), attorno a 33 µg/m<sup>3</sup>, mentre per il picco serale la stazione di riferimento fa registrare un valore massimo di 43 µg/m<sup>3</sup> centrato sulle ore 19; per Forte dei Marmi il massimo si ha nel periodo 12 – 16 con concentrazione tipo di circa 43-45 µg/m<sup>3</sup> dovuta, come detto, alla sorgente emissiva dell'impianto termico a servizio della scuola.

ESTATE: ENTRAMBI I SITI: nel sito della Scuola "Don Milani", in estate si nota un picco mattutino attorno ai 13 µg/m<sup>3</sup> alle ore 8 – 9, molto inferiore a quello di Viareggio, 36 µg/m<sup>3</sup>, che si registra

alle ore 8. Alle ore 19 - 20 vi sono due massimi locali con valori di concentrazione di poco superiori a quelli mattutini ( $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Per LU-Viareggio il picco serale è alle ore 21 – 22 con un valore superiore ( $26 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Non è rilevabile in questa stagione l'influenza di un seppur minimo regime di funzionamento dell'impianto termico.

### 5.2.2 Monossido di carbonio (CO)

Il monossido di carbonio ha una connotazione prettamente sito-specifica, in quanto derivante in prevalenza da fonte di traffico veicolare, i cui volumi sono variabili con il sito di misura.

Tabella 5.2.2.1 – Dati di CO misurati a Forte dei Marmi – Scuola “Don Milani” e confronto con LI-Carducci sugli stessi periodi di misura

| CO  | Autolaboratorio               | LI-Carducci                    |
|---|-------------------------------|--------------------------------|
| <b>Scuola “Don Milani” - Forte dei Marmi</b>                    |                               |                                |
| Media delle medie orarie ( $\text{mg}/\text{m}^3$ )             | <b>0,3</b>                    | <b>0,5</b>                     |
| Massima giornaliera trascinata su 8h ( $\text{mg}/\text{m}^3$ ) | <b>1,5</b> (07/01/2024 ore 2) | <b>2,3</b> (18/12/2023 ore 22) |
| Massima media oraria ( $\text{mg}/\text{m}^3$ )                 | <b>1,9</b> (07/01/2024 ore 0) | <b>3,6</b> (19/12/2023 ore 18) |
| n. ore valide   | 2660                          | 2726                           |
| % ore valide  | 96%                           | 98%                            |
| n. superamenti VL media mobile 8h                               | 0                             | 0                              |

Tabella 5.2.2.2 – Dati di CO - indicatori stagionali per il sito di misura della Scuola “Don Milani”:

| CO   | PRIMAVERA                     | ESTATE                         | AUTUNNO                       | INVERNO                       |
|--|-------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| <b>Scuola “Don Milani” – Forte dei Marmi</b>                         |                               |                                |                               |                               |
| Massima media oraria ( $\text{mg}/\text{m}^3$ )                      | 0,6 (06/05/2023 ore 9)        | 0,5 (02/09/2023 ore 8)         | 1,1 (04/12/2023 ore 22)       | 1,9 (07/01/2024 ore 0)        |
| Massima media mobile su 8h ( $\text{mg}/\text{m}^3$ )                | <b>0,3</b> (16/04/2023 ore 1) | <b>0,4</b> (07/09/2023 ore 21) | <b>0,9</b> (07/12/2023 ore 0) | <b>1,5</b> (07/01/2024 ore 1) |
| Media oraria ( $\text{mg}/\text{m}^3$ )                              | 0,2                           | 0,2                            | 0,3                           | 0,7                           |
| n. ore valide  | 1001                          | 458                            | 464                           | 737                           |
| % ore valide   | 95%                           | 95%                            | 97%                           | 96%                           |
| n. superamenti media mobile su 8h (VL = $10 \text{ mg}/\text{m}^3$ ) | 0                             | 0                              | 0                             | 0                             |

Il valore di massima media mobile trascinata di 8h del monossido di carbonio a Forte dei Marmi rispetta ampiamente i limiti normativi ( $1,9 \text{ mg}/\text{m}^3$  su  $10 \text{ mg}/\text{m}^3$ ).

Si osserva in Tabella 5.2.2.1 che tutti gli indicatori di Forte dei Marmi sono inferiori a quelli calcolati sugli stessi periodi di misura a LI-Carducci; sia i valori sul lungo periodo, la media (inferiore del 40% rispetto a Livorno), che il valore medio mobile trascinato su 8 ore, che è l'unico indicatore con effetto normativo (inferiore del 35% a FdM), che il valore massimo orario (-47%).

La Tabella 5.2.2.2 degli indicatori stagionali riporta, come era previsto, l'andamento degli indicatori per questo inquinante, che risultano più bassi in primavera / estate, massimi in inverno, e comunque elevati anche in autunno. Sia l'indicatore di valore orario massimo ( $1,9 \text{ mg}/\text{m}^3$ ), sia il valore massimo orario trascinato su 8h ( $1,5 \text{ mg}/\text{m}^3$ ) sono stati raggiunti in inverno nel medesimo giorno 07/01/2024.

A livello puramente indicativo, in Tab. 5.2.2.3 si riporta il confronto, riferito all'anno civile 2023, con

tutti i siti fissi regionali (tutti di tipologia “urbano – traffico”) che includono l’analisi e le misure di monossido di carbonio e che possono risultare interessanti ai fini di un confronto diretto, in special modo sull’indicatore del massimo valore medio mobile su 8 ore. Come si può dedurre da un confronto con tutte le postazioni fisse, Forte dei Marmi si colloca nella fascia di stazioni con valori degli indicatori medio-bassi, a conferma del fatto che il sito non presenta fonti prevalenti di traffico veicolare, anche nelle immediate vicinanze, che possano destare preoccupazione.

Tabella 5.2.2.3 – Indicatori riferiti all’anno 2023 ricavati dai siti fissi regionali

| Stazione           | Comune         | Tipologia          | Zonizzazione                          | Massimo valore medio orario (mg/m <sup>3</sup> ) | Massimo valore medio orario mobile trascinato su 8h (mg/m <sup>3</sup> ) | Media annuale (mg/m <sup>3</sup> ) |
|--------------------|----------------|--------------------|---------------------------------------|--|--|------------------------------------|
| <b>LI-Carducci</b> | <b>Livorno</b> | URBANA<br>TRAFFICO | <b>Zona costiera</b>                  | <b>3,6</b>                                       | <b>2,3</b>   | <b>0,5</b>                         |
| PI-Borghetto       | Pisa           |                    | Zona Valdarno pisano e Piana lucchese | 2,8  | 1,7  | 0,5                                |
| FI-Gramsci         | Firenze        |                    | Agglomerato fiorentino                | 4,8  | 3,3  | 0,7                                |
| AR-Repubblica      | Arezzo         |                    | Valdarno aretino e Val di Chiana      | 2,0  | 1,6  | 0,5                                |
| PO-Ferrucci        | Prato          |                    | Zona Prato Pistoia                    | 3,1  | 3,0  | 0,3                                |
| SI-Bracci          | Siena          |                    | Zona collinare e montana              | 1,6  | 1,1  | 0,4                                |

In Allegato A vengono riportati i grafici dei valori medi orari mobili su 8h registrati a Forte dei Marmi in ogni stagione (A.5 – A.8); si evince che l’andamento delle oscillazioni è più marcato e regolare nelle stagioni invernale e primaverile, con valori massimi comunque sempre inferiori a 1/5 del VL normativo.

### 5.2.3 Polveri PM10

Le polveri PM10 sono state campionate secondo il metodo ufficiale gravimetrico (vedi norma tecnica UNI EN 12341:2014) in un intervallo di tempo di venti giorni a stagione. I valori degli indicatori sono riportati nelle seguenti tabelle riassuntive.

Tabella 5.2.3.a – Dati di PM10 – indicatori annuali; confronto con LU-Viareggio sugli stessi periodi di misura

| PM10  | Autolaboratorio  | LU-Viareggio    |
|---|------------------|-----------------|
| <b>Scuola "Don Milani" - Forte dei Marmi</b>  |                  |                 |
| Media delle medie giornaliere ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) – variazione % rispetto a sito di rif. | <b>21 (-18%)</b> | <b>26</b>       |
| Massima media giornaliera ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )  | 48 (01/12/2023)  | 68 (19/12/2023) |
| n. giorni validi  | 106              | 107             |
| % giorni validi   | 99%              | 100%            |
| 90,4° percentile (da confrontare con VL giornaliero)  | <b>39</b>        | <b>47</b>       |
| n. giorni con concentrazione maggiore di $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$                              | 0                | 6               |

Tabella 5.2.3.b – Dati di PM10 - indicatori stagionali per ciascun sito di misura

| PM10   | PRIMAVERA       | ESTATE          | AUTUNNO         | INVERNO         |
|--|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| <b>Scuola "Don Milani" – Forte dei Marmi</b>                         |                 |                 |                 |                 |
| Media delle medie giornaliere ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )           | <b>14</b>       | <b>16</b>       | <b>26</b>       | <b>28</b>       |
| Massima media giornaliera ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )               | 30 (09/05/2023) | 24 (27/08/2023) | 48 (01/12/2023) | 45 (21/12/2023) |
| n. giorni validi   | 47              | 20              | 20              | 19              |
| % giorni validi  | 100%            | 100%            | 100%            | 95%             |
| n. giorni con concentrazione maggiore di $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ | 0               | 0               | 0               | 0               |
| media di LU-Viareggio sullo stesso periodo                           | 15              | 19              | 27              | 41              |
| Differenza % con LU-Viareggio sullo stesso periodo                   | <b>-12%</b>     | <b>-14%</b>     | <b>-3%</b>      | <b>-32%</b>     |

Tabella 5.2.3.c – Dati di PM10 – indicatori annuali riferiti al 2023 di LU-Viareggio

| PM10 – INDICATORI ANNUALI 2023   | LU-Viareggio    |
|--|-----------------|
| Media annuale ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )                               | <b>24</b>       |
| Massima media giornaliera ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )                   | 71 (12/02/2023) |
| n. superamenti del VL giornaliero di $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$         | 17              |
| 90,4° percentile ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) calcolato sull'anno civile | 42              |

Il valore medio sul periodo della campagna annuale nel sito di Forte dei Marmi è ampiamente inferiore al VL prescritto dalla normativa, pari a  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$  come media annuale. Anche per la stazione di LU-Viareggio si ha rispetto del suddetto valore limite (VL).

Il valore relativo al 90,4° percentile sulla serie dei dati di PM10 a disposizione per il sito di Forte dei Marmi risulta inferiore di  $11 \mu\text{g}/\text{m}^3$  rispetto al valore limite sulla media giornaliera di  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . In base alle indicazioni della normativa e alla numerosità dei dati a disposizione e della loro distribuzione sull'anno solare si può ipotizzare un rispetto del limite dei 35 superamenti ammessi per anno civile, benché in generale le campagne indicative non forniscano risultati definitivi a supporto di questa affermazione. Infatti il dato è molto condizionato dal periodo di campionamento e dalla durata delle singole sessioni stagionali. La Tabella 5.2.3.a riporta il numero di superamenti

del VL giornaliero a confronto con il sito di riferimento di LU-Viareggio, che nel 2023 ha ampiamente rispettato anche il valore limite relativo al numero di superamenti giornalieri (Tabella 5.2.3.c).

Per avere un valore il più attendibile possibile del 90,4° percentile, essendo il PM10 un inquinante stagionale, si sono considerati periodi stagionali bilanciati sul numero dei giorni, visto che esso dipende anche dalla numerosità dell'insieme di dati a disposizione.

Un elemento che definisce quanto possa essere non deterministico il calcolo del 90,4° percentile è il fatto che per la stazione di riferimento di LU-Viareggio tale indicatore calcolato sull'anno civile 2023 non coincide ed è abbastanza diverso dal valore calcolato sui periodi della campagna indicativa di FdM (47  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  contro 42  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  calcolato sull'anno civile 2023).

Tale indicatore di periodo per il sito della Scuola "Don Milani" (39  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) risulta inferiore del 17% all'indicatore calcolato su LU-Viareggio (47  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ).

Le figure 5.2.3 riportano su mappa i dati riportati nelle tabelle 5.2.3.a e b.

La figura 5.2.3.b riporta i valori relativi al 90,4° percentile relativi alla postazione di FdM e alla stazione di LU-Viareggio.

Sui valori stagionali di Tabella 5.2.3.b, il sito in esame mostra un solo valore quasi uguale al valore medio di LU-Viareggio sullo stesso periodo in autunno (solo il -3% di FdM rispetto a analoga media di LU-Viareggio).

Tutti gli altri valori medi stagionali di PM10 sono inferiori a quelli registrati a LU-Viareggio nei medesimi periodi, anche se scorrendo dalla primavera 2023 all'inverno 2023-2024 si nota un progressivo incremento dello scarto percentuale sulla differenza, con eccezione fatta per l'autunno, come detto; nel caso della primavera e dell'estate 2023 la differenza percentuale tra i due siti per questo indicatore (-12/-14% rispetto a indicatore su medesimo periodo registrato a LU-Viareggio) è assai inferiore nell'inverno 2023-2024 (-32% rispetto a LU-Viareggio).

Figura 5.2.3.a – Mappa con i valori delle concentrazioni medie annuali di PM10 nel sito di Forte dei Marmi rispetto a LU-Viareggio. Valori medi calcolati sugli stessi periodi di misura.



Figura 5.2.3.b – Mappa con i valori relativi al 90,4°percentile, espressi in  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , nel sito di misura di FdM. Per LU-Viareggio è stato considerato l'indicatore 90,4° percentile sugli stessi periodi di misura.



Figura 5.2.3.c – Mappa con i valori della massima media giornaliera di PM10 registrata nel periodo della campagna annuale; accanto è riportata la data in cui si è registrato quel valore.

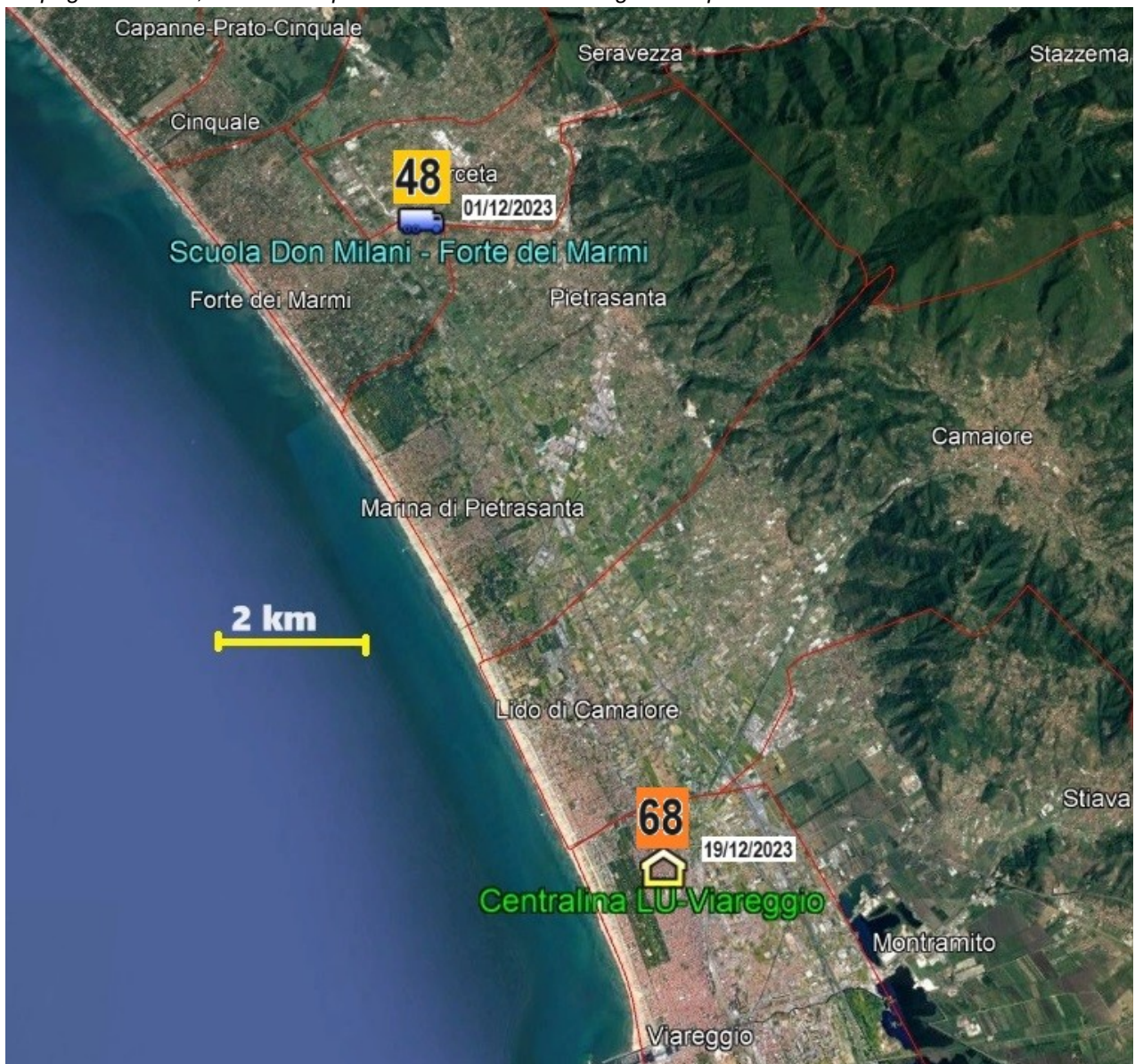


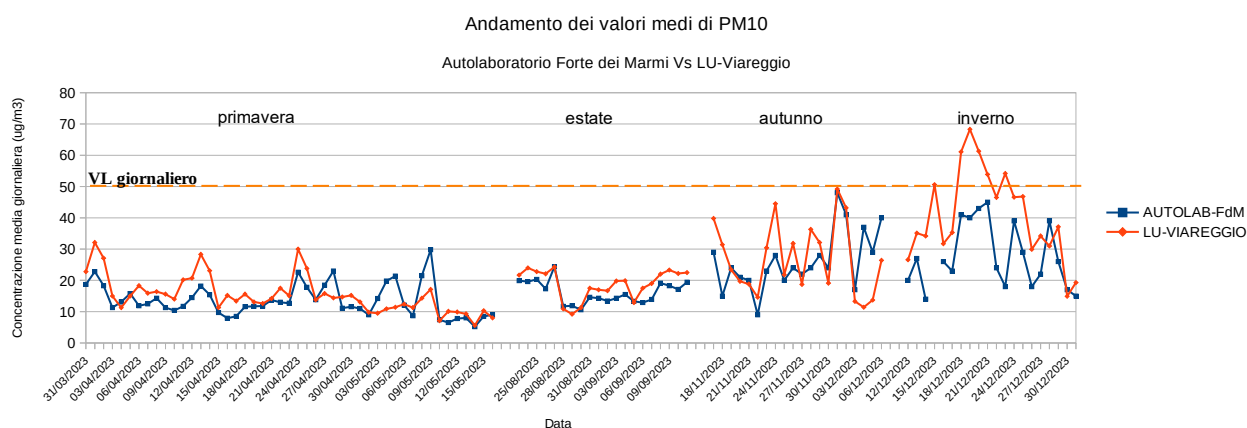


Figura 5.2.3.c – PM10 INVERNO - Scostamenti percentuali dei valori medi di PM10 registrati, rispetto ai valori medi del sito di riferimento LU-Viareggio, calcolati sul medesimo periodo invernale.



Si riporta di seguito il grafico degli andamenti giornalieri di PM10 nel sito di misura di Forte dei Marmi rispetto alla stazione di riferimento di LU-Viareggio.

Grafico 5.2.3.a. confronto dell'andamento dei valori medi giornalieri di PM10 – FdM Vs. LU-Viareggio



I grafici evidenziano un andamento giornaliero in cui i valori di PM10 sono in genere inferiori a Forte dei Marmi rispetto a LU-Viareggio, in particolar modo nel periodo estivo, invernale e in parte quello autunnale. In inverno vi è una evidente preponderanza di valori massimi (alcuni superiori al VL giornaliero) nel sito di riferimento di Viareggio .

Si notano alcuni giorni con discrepanze tra i livelli di concentrazione media giornaliera di PM10 su Forte dei Marmi e LU-Viareggio, con i valori di Forte dei Marmi quasi sempre inferiori, a parte la penultima settimana di primavera indagata e l'ultima parte dell'autunno. Considerando che in discreta parte dell'autunno e dell'inverno il rapporto PM2,5 / PM10 risulta superiore al 75% è ipotizzabile un contributo alla concentrazione di particolato da parte dei composti derivanti dalla combustione ad esempio di biomassa (abbruciamenti di stoppie e utilizzo dei caminetti tradizionali). Data la sistematicità che si riscontra in inverno rispetto ai superamenti del VL di LU-Viareggio e alla alta percentuale di frazione PM2,5 / PM10, è ipotizzabile che siano presenti frazioni fini derivanti da combustioni, es la parte di riscaldamento domestico a biomassa, rilevanti in entrambi i siti. Riguardo alla percentuale frazione PM2,5 / PM10 in autunno il sito di Forte dei Marmi – Scuola Don Milani ha fatto registrare valori quasi sempre maggiori dei rispettivi di LU-Viareggio, nonostante non abbia mai avuto superamenti del Valore Limite giornaliero del PM10.

Nei giorni 1° e 2 dicembre è presumibile una avvezione di aerosol marino e contributo crostale, benché sia FdM che Viareggio non abbiano fatto registrare superamenti in quei due giorni (si rilevano infatti valori compresi tra 40 e 50 µg/m³); in tali giorni il rapporto %PM2,5 su PM10 scende su valori nella fascia 20-30% anziché 70-90% come nei rimanenti giorni dello stesso periodo (si veda sotto il Grafico 5.2.4.b).

Tabella 5.2.3.d valori medi giornalieri PM10 nei periodi indagati – Forte dei Marmi Vs LU-Viareggio

| Data       | Forte dei Marmi<br>PM10 (µg/m³) | LU-Viareggio<br>PM10 (µg/m³) |
|------------|---------------------------------|------------------------------|
| 31/03/2023 | 19                              | 23                           |
| 01/04/2023 | 23                              | 32                           |
| 02/04/2023 | 18                              | 27                           |
| 03/04/2023 | 11                              | 15                           |
| 04/04/2023 | 13                              | 11                           |
| 05/04/2023 | 16                              | 15                           |
| 06/04/2023 | 12                              | 18                           |
| 07/04/2023 | 13                              | 16                           |
| 08/04/2023 | 14                              | 16                           |
| 09/04/2023 | 11                              | 16                           |
| 10/04/2023 | 10                              | 14                           |
| 11/04/2023 | 12                              | 20                           |
| 12/04/2023 | 15                              | 21                           |
| 13/04/2023 | 18                              | 28                           |
| 14/04/2023 | 15                              | 23                           |
| 15/04/2023 | 10                              | 11                           |
| 16/04/2023 | 8                               | 15                           |
| 17/04/2023 | 9                               | 13                           |
| 18/04/2023 | 12                              | 16                           |
| 19/04/2023 | 12                              | 13                           |
| 20/04/2023 | 12                              | 13                           |
| 21/04/2023 | 14                              | 14                           |
| 22/04/2023 | 13                              | 18                           |
| 23/04/2023 | 13                              | 15                           |
| 24/04/2023 | 23                              | 30                           |
| 25/04/2023 | 18                              | 24                           |
| 26/04/2023 | 14                              | 14                           |
| 27/04/2023 | 19                              | 16                           |
| 28/04/2023 | 23                              | 14                           |
| 29/04/2023 | 11                              | 15                           |
| 30/04/2023 | 12                              | 15                           |
| 01/05/2023 | 11                              | 13                           |
| 02/05/2023 | 9                               | 10                           |
| 03/05/2023 | 14                              | 10                           |
| 04/05/2023 | 20                              | 11                           |
| 05/05/2023 | 21                              | 11                           |
| 06/05/2023 | 12                              | 12                           |
| 07/05/2023 | 9                               | 11                           |
| 08/05/2023 | 22                              | 14                           |
| 09/05/2023 | 30                              | 17                           |
| 10/05/2023 | 7                               | 7                            |
| 11/05/2023 | 7                               | 10                           |
| 12/05/2023 | 8                               | 10                           |
| 13/05/2023 | 8                               | 9                            |
| 14/05/2023 | 5                               | 6                            |
| 15/05/2023 | 9                               | 10                           |
| 16/05/2023 | 9                               | 8                            |
| 23/08/2023 | 20                              | 22                           |
| 24/08/2023 | 20                              | 24                           |
| 25/08/2023 | 20                              | 23                           |
| 26/08/2023 | 17                              | 22                           |
| 27/08/2023 | 24                              | 24                           |
| 28/08/2023 | 12                              | 11                           |
| 29/08/2023 | 12                              | 9                            |
| 30/08/2023 | 11                              | 11                           |
| 31/08/2023 | 15                              | 18                           |
| 01/09/2023 | 14                              | 17                           |
| 02/09/2023 | 13                              | 17                           |
| 03/09/2023 | 14                              | 20                           |
| 04/09/2023 | 16                              | 20                           |
| 05/09/2023 | 13                              | 13                           |
| 06/09/2023 | 13                              | 18                           |
| 07/09/2023 | 14                              | 19                           |
| 08/09/2023 | 19                              | 22                           |
| 09/09/2023 | 18                              | 23                           |
| 10/09/2023 | 17                              | 22                           |
| 11/09/2023 | 19                              | 23                           |

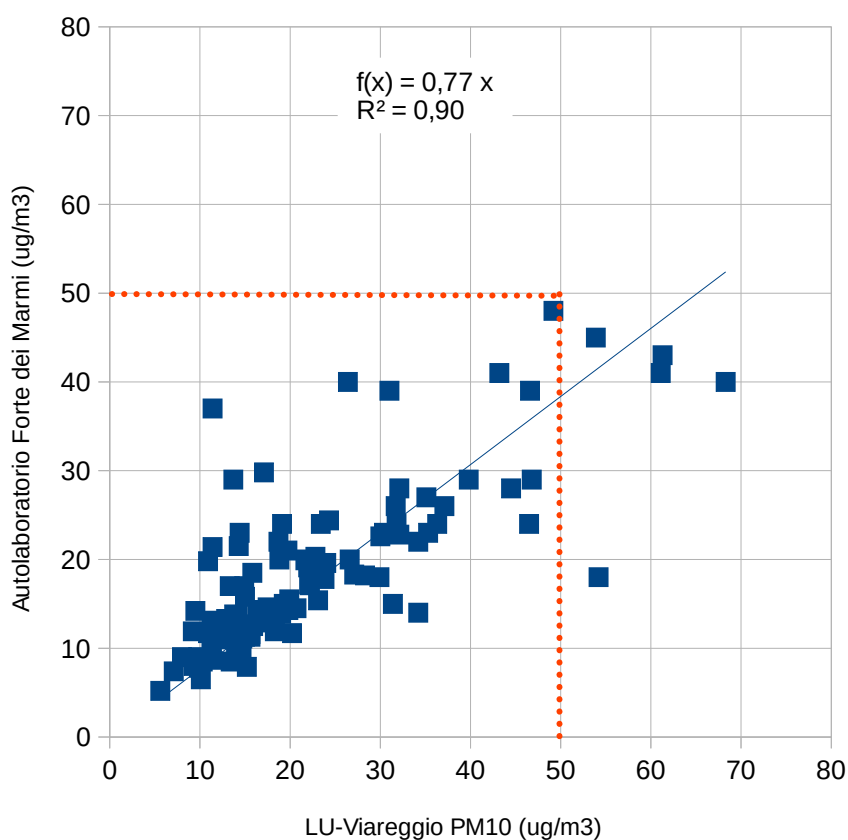
| Data       | Forte dei Marmi<br>PM10 (µg/m³) | LU-Viareggio<br>PM10 (µg/m³) |
|------------|---------------------------------|------------------------------|
| 17/11/2023 | 29                              | 40                           |
| 18/11/2023 | 15                              | 31                           |
| 19/11/2023 | 24                              | 23                           |
| 20/11/2023 | 21                              | 20                           |
| 21/11/2023 | 20                              | 19                           |
| 22/11/2023 | 9                               | 15                           |
| 23/11/2023 | 23                              | 30                           |
| 24/11/2023 | 28                              | 45                           |
| 25/11/2023 | 20                              | 22                           |
| 26/11/2023 | 24                              | 32                           |
| 27/11/2023 | 22                              | 19                           |
| 28/11/2023 | 24                              | 36                           |
| 29/11/2023 | 28                              | 32                           |
| 30/11/2023 | 24                              | 19                           |
| 01/12/2023 | 48                              | 49                           |
| 02/12/2023 | 41                              | 43                           |
| 03/12/2023 | 17                              | 13                           |
| 04/12/2023 | 37                              | 11                           |
| 05/12/2023 | 29                              | 14                           |
| 06/12/2023 | 40                              | 26                           |
| 12/12/2023 | 20                              | 27                           |
| 13/12/2023 | 27                              | 35                           |
| 14/12/2023 | 14                              | 34                           |
| 15/12/2023 |                                 | 51                           |
| 16/12/2023 | 26                              | 32                           |
| 17/12/2023 | 23                              | 35                           |
| 18/12/2023 | 41                              | 61                           |
| 19/12/2023 | 40                              | 68                           |
| 20/12/2023 | 43                              | 61                           |
| 21/12/2023 | 45                              | 54                           |
| 22/12/2023 | 24                              | 47                           |
| 23/12/2023 | 18                              | 54                           |
| 24/12/2023 | 39                              | 47                           |
| 25/12/2023 | 29                              | 47                           |
| 26/12/2023 | 18                              | 30                           |
| 27/12/2023 | 22                              | 34                           |
| 28/12/2023 | 39                              | 31                           |
| 29/12/2023 | 26                              | 37                           |
| 30/12/2023 | 17                              | 15                           |
| 31/12/2023 | 15                              | 19                           |

**Correlazione tra valori delle medie giornaliere di PM10 misurate con metodo gravimetrico nei siti del mezzo mobile a Forte dei Marmi e i valori delle medie giornaliere PM10 misurate a LU-Viareggio sugli stessi intervalli temporali**

*Grafico 5.2.3.b – Regressione tra valori misurati al sito di Forte dei Marmi contro LU-Viareggio*

### Regressione Lineare dei valori medi giornalieri di PM10

Forte dei Marmi - Scuola Don Milani Vs LU-Viareggio



**COEFFICIENTE DI CORRELAZIONE DI PEARSON: 0,75**

**COEFFICIENTE DI CORRELAZIONE DI LIN: 0,67**

**COEFFICIENTE DI CORRELAZIONE DIFFERENZA MENO MEDIA: 0,46**

Come si può evidenziare dal Grafico 5.2.3.b di dispersione sopra riportati, vi è una correlazione **forte** (coefficiente di correlazione di Pearson superiore a 0,70) tra i dati del sito fisso preso a riferimento (LU-Viareggio) e le misure ottenute nel sito di FdM.

Per quanto riguarda il sito della Scuola "Don Milani", in rapporto ai dati di PM10 registrati nel sito di Viareggio nei medesimi giorni, si evince che il coefficiente angolare  $m$  della retta di regressione è determinatamente minore di 1 ( $m = 0,75$ ) e il coefficiente di correlazione  $R^2$  è di 0,90, il che conferma, insieme con il coefficiente di Pearson, che esiste una correlazione abbastanza forte tra i dati e che mediamente i valori di concentrazione di Forte dei Marmi sono inferiori del 23% in confronto ai corrispettivi valori medi di LU-Viareggio.

Si rileva anche una concordanza però non marcata tra le due distribuzioni (valori di PM10 a FdM contro valori di PM10 a LU-Viareggio), la quale viene evidenziata con il coefficiente di Lin, pari a 0,67, valore intermedio sinonimo di contesti non troppo simili e di una moderata riproducibilità dei dati.

Le due postazioni a confronto mostrano effettivamente una ampiezza di oscillazione dei valori di PM10 dissimile e il sito in oggetto non risulta proprio in fase con LU-Viareggio, come suggerito dal valore di correlazione "differenza meno media" pari a 0,46. Il valore "diff - media" infatti risulta appena sotto la soglia di 0,50, che è considerata il termine al di sopra del quale si parla di vero e proprio sfasamento di due distribuzioni di dati. Questo coefficiente, dei tre trattati, è il più influenzato dalla numerosità dei dati che si hanno a disposizione, ragion per cui anche le considerazioni tratte possono essere solo indicative. In questa sessione indicativa di misure a Forte dei Marmi, infatti la numerosità della serie in esame è attorno al 30% sull'arco dei 365 giorni solari a disposizione.

## 5.2.4 Polveri PM2,5

Anche le polveri PM2,5 sono state campionate secondo il metodo ufficiale gravimetrico (vedi norma tecnica UNI EN 12341:2014), in modo analogo a quanto detto sopra nel Par. 5.2.3 per il PM10. Sono di seguito riportate le tabelle riassuntive su base annuale per sito di misura con confronto con il sito fisso di LU-Viareggio, in cui è attivo il monitoraggio sia del PM10 che del PM2,5, oltre alla tabella riassuntiva riferita all'anno 2023 per il sito di riferimento citato:

Tabella 5.2.4.a – Dati di PM2,5 – indicatori annuali; confronto con LU-Viareggio sugli stessi periodi

| PM2,5   | Autolaboratorio   | LU-Viareggio    |
|---|-------------------|-----------------|
| <b>Scuola "Don Milani" - Forte dei Marmi</b>  |                   |                 |
| Media delle medie giornaliere ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) – variazioni % rispetto a siti di rif. | <b>12 (-13 %)</b> | <b>14</b>       |
| Massima media giornaliera ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )  | 34 (20/12/2023)   | 53 (19/12/2023) |
| n. giorni validi  | 106               | 107             |
| % giorni validi   | 99%               | 100%            |

Tabella 5.2.4.b – Dati di PM2,5 – indicatori annuali 2023 di LU-Viareggio

| PM2,5 – INDICATORI ANNUALI 2023                        | LU-Viareggio    |
|--|-----------------|
| Media annuale ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )             | <b>13</b>       |
| Massima media giornaliera ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) | 56 (12/02/2023) |

La Tabella 5.2.4.c riassume i dati riferiti ai due siti oggetto delle presenti indagini per gli indicatori riguardanti il PM2,5 su base stagionale:

Tabella 5.2.4.c – Dati di PM2,5 – indicatori stagionali Forte dei Marmi e confronto con LU-Viareggio

| PM2,5  | PRIMAVERA            | ESTATE          | AUTUNNO              | INVERNO         |
|--|----------------------|-----------------|----------------------|-----------------|
| <b>Scuola "Don Milani" - Forte dei Marmi</b>               |                      |                 |                      |                 |
| Media delle medie giornaliere ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) | <b>7</b>             | <b>8</b>        | <b>17</b>            | <b>18</b>       |
| Massima media giornaliera ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )     | 13 (08 e 09/05/2023) | 14 (27/08/2023) | 30 (04 e 06/12/2023) | 34 (20/12/2023) |
| n. giorni validi   | 47                   | 20              | 20                   | 19              |
| % giorni validi  | 100%                 | 100%            | 100%                 | 95%             |
| media di LU-Viareggio sullo stesso periodo                 | 7                    | 10              | 14                   | 24              |
| Differenza % con LU-Viareggio sullo stesso periodo         | <b>-12%</b>          | <b>-21%</b>     | <b>16%</b>           | <b>-28%</b>     |

Figura 5.2.4.a – Mappa con i valori delle concentrazioni medie di PM2,5 sulla campagna di misura annuale.



Figura 5.2.4.b – Mappa con i valori massimi e data delle concentrazioni giornaliere di PM<sub>2,5</sub> registrate



Nella postazione di Forte dei Marmi e nella stazione fissa di LU-Viareggio il valore limite annuale di  $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$  è rispettato; i valori medi nei due siti sono abbastanza simili: il valore riportato dal sito di FdM è inferiore al valore registrato nel sito di riferimento del 13% ( $12$  contro  $14 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ). La Tabella 5.2.4.a evidenzia che, seppur nel rispetto dei limiti, il valore medio di periodo più elevato si riscontra nel sito di riferimento regionale.

Anche il valore medio sull'anno civile 2023 di LU-Viareggio rispetta ampiamente il valore limite normativo ( $13 \mu\text{g}/\text{m}^3$  su  $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ).

Analogamente a quanto detto per il PM<sub>10</sub>, si rileva sul panorama indicativo annuale la preminenza dei valori dei dati giornalieri a FdM su quelli dei corrispondenti giorni di LU-Viareggio limitatamente alla penultima settimana di primavera indagata e nell'ultima fase dell'autunno.



Sempre in discreta concordanza con quanto rilevato per il PM10, lo scarto percentuale dei valori medi stagionali del PM2,5 tra Forte dei Marmi e LU-Viareggio decrementa progressivamente dalla primavera all'inverno, passando gradualmente da -12% a -28%, con eccezione per la stagione autunnale in cui la tendenza si inverte e il divario percentuale cambia segno (valore medio PM2,5 a Forte dei Marmi autunnale superiore del 16% rispetto al valore medio autunnale registrato a LU-Viareggio).

Per completezza si riportano di seguito nella Tabella 5.2.4.d i valori delle percentuali di frazione di PM<sub>2,5</sub> rispetto al PM<sub>10</sub> nelle due postazioni a confronto con quelli registrati nel sito fisso di riferimento per la zona Costiera: LU-Viareggio. La tabella analizza i valori per stagione nelle postazioni considerate per il PM<sub>2,5</sub>.

*Tabella 5.2.4.d – Dati di frazione % PM<sub>2,5</sub>/PM<sub>10</sub> – percentuali medie per stagione (sugli stessi periodi di misura)*

| <b>MEDIA DELLE FRAZIONI PER STAGIONE</b>                          |                           |    |
|---|---------------------------|----|
| <i>FRAZIONI % PM<sub>2,5</sub>/PM<sub>10</sub> SULLE STAGIONI</i> |                           |    |
| PRIMAVERA   | FdM – Scuola “Don Milani” | 50 |
|   | LU-Viareggio              | 52 |
| ESTATE  | FdM – Scuola “Don Milani” | 49 |
|   | LU-Viareggio              | 54 |
| AUTUNNO   | FdM – Scuola “Don Milani” | 66 |
|   | LU-Viareggio              | 55 |
| INVERNO   | FdM – Scuola “Don Milani” | 61 |
|   | LU-Viareggio              | 60 |

A livello di campagna globale il valore medio della frazione percentuale PM<sub>2,5</sub> su PM<sub>10</sub> nella campagna di misure a Forte dei Marmi si attesta su un valore pari a 55%, stesso valore medio che si calcola per LU-Viareggio. Più sotto è riportato il già citato Grafico 5.2.4.b in cui è mostrato l'andamento di questo rapporto stagione per stagione.

Dalla Tabella 5.2.4.d riepilogativa per stagione si evidenzia che i valori di frazione percentuale sono abbastanza dissimili tra i due siti nella stagione autunnale, con il valore di Forte dei Marmi che supera di 11 punti percentuali il corrispettivo di Viareggio, mentre in inverno tendono a coincidere. Autunno e inverno tipicamente sono le stagioni in cui i valori di particolato atmosferico sono più importanti ed elevati. In primavera ed estate la frazione percentuale PM<sub>2,5</sub> su PM<sub>10</sub> è più alta a Viareggio (54% di Viareggio contro il 49% a FdM). In primavera, LU-Viareggio mostra una frazione percentuale di poco maggiore rispetto a Forte dei Marmi (52% a Viareggio contro il 50% di FdM).

In linea generale, si rilevano in entrambi i siti di monitoraggio diversi giorni in cui la frazione percentuale PM<sub>2,5</sub> / PM<sub>10</sub> estiva, autunnale e primaverile assume valori piuttosto bassi (intorno al 20-30%). Sembra ipotizzabile che vi siano stati più episodi riguardanti l'avvezione di aerosol marino e crostale che hanno contribuito ad abbassare in modo marcato il valore medio della frazione percentuale nelle varie stagioni dell'anno. Ciò è comunque coerente con il fatto che entrambe le postazioni sono di fatto vicine al litorale.

Si rileva globalmente, a livello di area costiera, che l'intervallo di valori di frazione percentuale corrisponde ai valori tipici dei siti “fondo urbano”.

Grafico 5.2.4.a. confronto dell'andamento dei valori medi giornalieri di PM2,5 – FdM Vs. LU-Viareggio

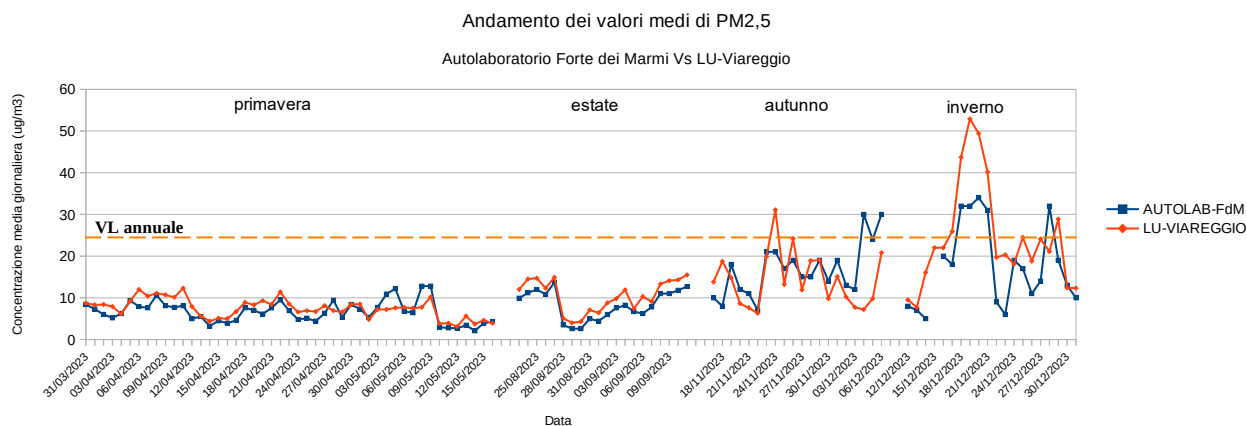


Grafico 5.2.4.b. confronto dell'andamento della frazione percentuale % PM2,5/PM10 nelle quattro stagioni, dalla primavera del 2023 all'inverno 2023 – 2024

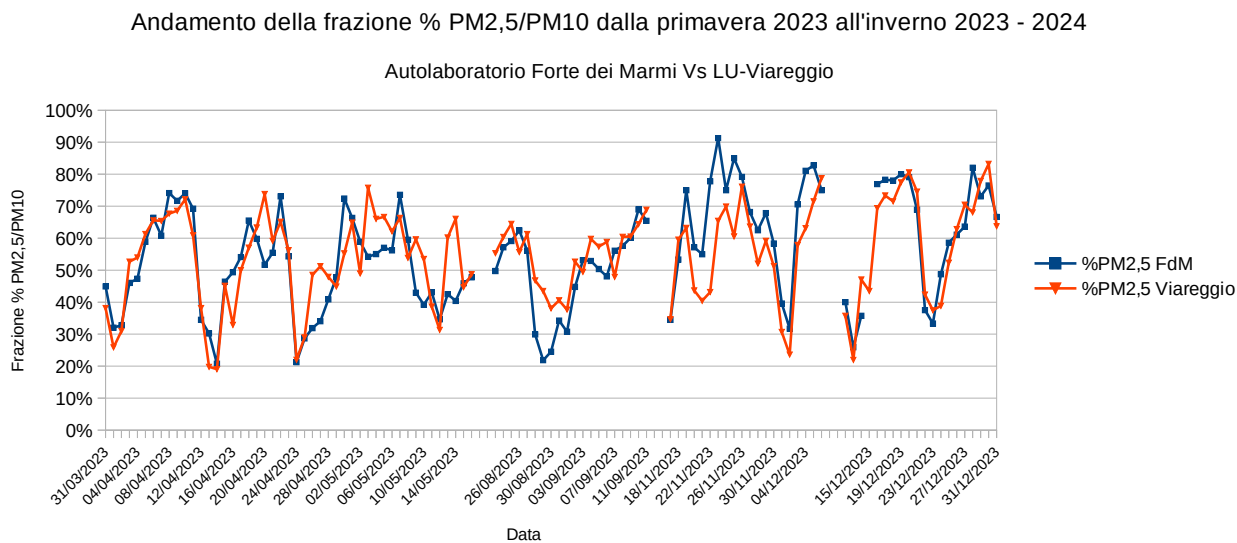


Tabella 5.2.4.g valori medi giornalieri PM2,5 nei periodi indagati – Forte dei Marmi - Scuola “Don Milani” Vs. LU-Viareggio

| Data       | Forte dei Marmi<br>PM2,5 (µg/m³) | LU-Viareggio<br>PM2,5 (µg/m³) |
|------------|----------------------------------|-------------------------------|
| 31/03/2023 | 8                                | 9                             |
| 01/04/2023 | 7                                | 8                             |
| 02/04/2023 | 6                                | 8                             |
| 03/04/2023 | 5                                | 8                             |
| 04/04/2023 | 6                                | 6                             |
| 05/04/2023 | 9                                | 9                             |
| 06/04/2023 | 8                                | 12                            |
| 07/04/2023 | 8                                | 10                            |
| 08/04/2023 | 11                               | 11                            |
| 09/04/2023 | 8                                | 11                            |
| 10/04/2023 | 8                                | 10                            |
| 11/04/2023 | 8                                | 12                            |
| 12/04/2023 | 5                                | 8                             |
| 13/04/2023 | 6                                | 6                             |
| 14/04/2023 | 3                                | 4                             |
| 15/04/2023 | 5                                | 5                             |
| 16/04/2023 | 4                                | 5                             |
| 17/04/2023 | 5                                | 7                             |
| 18/04/2023 | 8                                | 9                             |
| 19/04/2023 | 7                                | 8                             |
| 20/04/2023 | 6                                | 9                             |
| 21/04/2023 | 8                                | 8                             |
| 22/04/2023 | 10                               | 11                            |
| 23/04/2023 | 7                                | 9                             |
| 24/04/2023 | 5                                | 7                             |
| 25/04/2023 | 5                                | 7                             |
| 26/04/2023 | 4                                | 7                             |
| 27/04/2023 | 6                                | 8                             |
| 28/04/2023 | 9                                | 7                             |
| 29/04/2023 | 5                                | 7                             |
| 30/04/2023 | 8                                | 8                             |
| 01/05/2023 | 7                                | 9                             |
| 02/05/2023 | 5                                | 5                             |
| 03/05/2023 | 8                                | 7                             |
| 04/05/2023 | 11                               | 7                             |
| 05/05/2023 | 12                               | 8                             |
| 06/05/2023 | 7                                | 8                             |
| 07/05/2023 | 6                                | 8                             |
| 08/05/2023 | 13                               | 8                             |
| 09/05/2023 | 13                               | 10                            |
| 10/05/2023 | 3                                | 4                             |
| 11/05/2023 | 3                                | 4                             |
| 12/05/2023 | 3                                | 3                             |
| 13/05/2023 | 3                                | 6                             |
| 14/05/2023 | 2                                | 4                             |
| 15/05/2023 | 4                                | 5                             |
| 16/05/2023 | 4                                | 4                             |
| 23/08/2023 | 10                               | 12                            |
| 24/08/2023 | 11                               | 15                            |
| 25/08/2023 | 12                               | 15                            |
| 26/08/2023 | 11                               | 12                            |
| 27/08/2023 | 14                               | 15                            |
| 28/08/2023 | 4                                | 5                             |
| 29/08/2023 | 3                                | 4                             |
| 30/08/2023 | 3                                | 4                             |
| 31/08/2023 | 5                                | 7                             |
| 01/09/2023 | 4                                | 6                             |
| 02/09/2023 | 6                                | 9                             |
| 03/09/2023 | 8                                | 10                            |
| 04/09/2023 | 8                                | 12                            |
| 05/09/2023 | 7                                | 7                             |
| 06/09/2023 | 6                                | 10                            |
| 07/09/2023 | 8                                | 9                             |
| 08/09/2023 | 11                               | 13                            |
| 09/09/2023 | 11                               | 14                            |
| 10/09/2023 | 12                               | 14                            |
| 11/09/2023 | 13                               | 16                            |

| Data       | Forte dei Marmi<br>PM2,5 (µg/m³) | LU-Viareggio<br>PM2,5 (µg/m³) |
|------------|----------------------------------|-------------------------------|
| 17/11/2023 | 10                               | 14                            |
| 18/11/2023 | 8                                | 19                            |
| 19/11/2023 | 18                               | 15                            |
| 20/11/2023 | 12                               | 9                             |
| 21/11/2023 | 11                               | 8                             |
| 22/11/2023 | 7                                | 6                             |
| 23/11/2023 | 21                               | 20                            |
| 24/11/2023 | 21                               | 31                            |
| 25/11/2023 | 17                               | 13                            |
| 26/11/2023 | 19                               | 24                            |
| 27/11/2023 | 15                               | 12                            |
| 28/11/2023 | 15                               | 19                            |
| 29/11/2023 | 19                               | 19                            |
| 30/11/2023 | 14                               | 10                            |
| 01/12/2023 | 19                               | 15                            |
| 02/12/2023 | 13                               | 10                            |
| 03/12/2023 | 12                               | 8                             |
| 04/12/2023 | 30                               | 7                             |
| 05/12/2023 | 24                               | 10                            |
| 06/12/2023 | 30                               | 21                            |
| 12/12/2023 | 8                                | 10                            |
| 13/12/2023 | 7                                | 8                             |
| 14/12/2023 | 5                                | 16                            |
| 15/12/2023 |                                  | 22                            |
| 16/12/2023 | 20                               | 22                            |
| 17/12/2023 | 18                               | 26                            |
| 18/12/2023 | 32                               | 44                            |
| 19/12/2023 | 32                               | 53                            |
| 20/12/2023 | 34                               | 49                            |
| 21/12/2023 | 31                               | 40                            |
| 22/12/2023 | 9                                | 20                            |
| 23/12/2023 | 6                                | 20                            |
| 24/12/2023 | 19                               | 18                            |
| 25/12/2023 | 17                               | 25                            |
| 26/12/2023 | 11                               | 19                            |
| 27/12/2023 | 14                               | 24                            |
| 28/12/2023 | 32                               | 21                            |
| 29/12/2023 | 19                               | 29                            |
| 30/12/2023 | 13                               | 12                            |
| 31/12/2023 | 10                               | 12                            |

## Conclusioni

La terza campagna indicativa di monitoraggio della qualità dell'aria, realizzata tramite l'ausilio di mezzi mobili di ARPAT nel territorio comunale di Forte dei Marmi (LU), ha fornito un quadro ambientale completo che, per quanto attiene agli inquinanti gassosi, NO<sub>2</sub> e CO, misurati nel sito "periferico - fondo" della Scuola "Don Milani", evidenzia valori degli indicatori che rispettano ampiamente i limiti previsti dalla normativa vigente in materia di qualità dell'aria (D.Lgs. 155/2010 e ss.mm.ii.) per la protezione della salute umana.

Per quanto riguarda il PM10 a Forte dei Marmi, il valore limite relativo alla media annuale è rispettato; l'indicatore relativo alla media annuale rilevato risulta pari a 21 µg/m<sup>3</sup>, inferiore del 18% rispetto al valore medio di PM10, sugli stessi periodi, registrato dalla stazione di rete regionale LU-Viareggio presa a riferimento (26 µg/m<sup>3</sup>; sull'anno 2023 il valore medio è stato di 24 µg/m<sup>3</sup>).

Per quanto riguarda il numero di superamenti del VL giornaliero del PM10 in un anno a LU-Viareggio, il valore limite di 35 è stato ampiamente rispettato nell'anno civile 2023 (sono stati infatti rilevati 17 superamenti). Non sono stati riscontrati superamenti del VL nel sito di Forte dei Marmi.

Per quanto riguarda il sito oggetto della presente campagna indicativa annuale, il valore riferito al 90,4° percentile è risultato pari a 39 µg/m<sup>3</sup> quindi inferiore al VL giornaliero di 50 µg/m<sup>3</sup>. Negli stessi periodi delle campagne in esame, la centralina di riferimento di Viareggio ha fatto registrare un valore relativo al 90,4° percentile calcolato di 47 µg/m<sup>3</sup>. In base alla numerosità dei dati analizzati e alla loro distribuzione sull'anno solare, e in base al fatto che su tutto l'anno civile 2023 LU-Viareggio ha fatto registrare 17 superamenti del VL sui 35 ammessi, per un corrispondente valore del 90,4° percentile pari a 44, si può ipotizzare in via indicativa che il limite normativo dei 35 superamenti del VL giornaliero PM10 per anno civile sia rispettato. Tuttavia questo dato dipende dalla distribuzione dei campionamenti nei singoli periodi pertanto le conclusioni sono indicative.

Per quanto attiene al PM2,5 valgono conclusioni analoghe a quelle tratte per il PM10: non è stato superato il VL annuale previsto dalla normativa. Il sito di Forte dei Marmi ha fatto registrare un valore medio di 12 µg/m<sup>3</sup>, inferiore alla metà del VL annuale (pari a 25 µg/m<sup>3</sup>) e inferiore del 13% rispetto al valore medio sugli stessi periodi registrato alla centralina di LU-Viareggio (14 µg/m<sup>3</sup>). In autunno, l'indicatore media di periodo alla Scuola Don Milani è risultato superiore del 16% rispetto al medesimo indicatore per LU-Viareggio, in inverno rimane inferiore del 28% rispetto all'analogo indicatore della centralina di riferimento regionale. In primavera ed estate, seppure meno marcata che in inverno, si rileva la preminenza degli indicatori di periodo registrati a LU-Viareggio.

Va osservato che rispetto alla seconda indagine, riguardante analogo sito periferico presso la Scuola "Ugo Guidi" a Vittoria Apuana, il sito della Scuola "Don Milani" ha fornito risultati dei

medesimi indicatori di periodo che nella maggior parte dei casi risultano inferiori ai corrispondenti indicatori del sito di riferimento LU-Viareggio, per quanto riguarda il PM10 e PM2,5.

È stato inoltre osservato, sempre in rapporto alla precedente campagna indicativa, un evidente decremento degli indicatori propri del biossido di azoto NO<sub>2</sub> e del monossido di carbonio CO in rapporto ai rispettivi siti di riferimento regionali (LU-Viareggio e LI-Carducci).

Per il biossido di azoto (NO<sub>2</sub>) va infine segnalata l'evidente influenza della prossimità dell'impianto termico a servizio del plesso scolastico, almeno per quanto attiene ai valori medi orari più elevati del periodo autunno-inverno. Per i valori medi di periodo non vi sono cambiamenti di valutazione sulla rappresentatività del sito di misura dovuti alla presenza della sorgente emissiva in funzione.

## **ALLEGATO A: grafici dei valori medi orari di biossido di azoto (NO<sub>2</sub>) e monossido di carbonio (CO)**

Grafico A.1 – Andamento dei valori medi orari di NO<sub>2</sub> – stagione primaverile

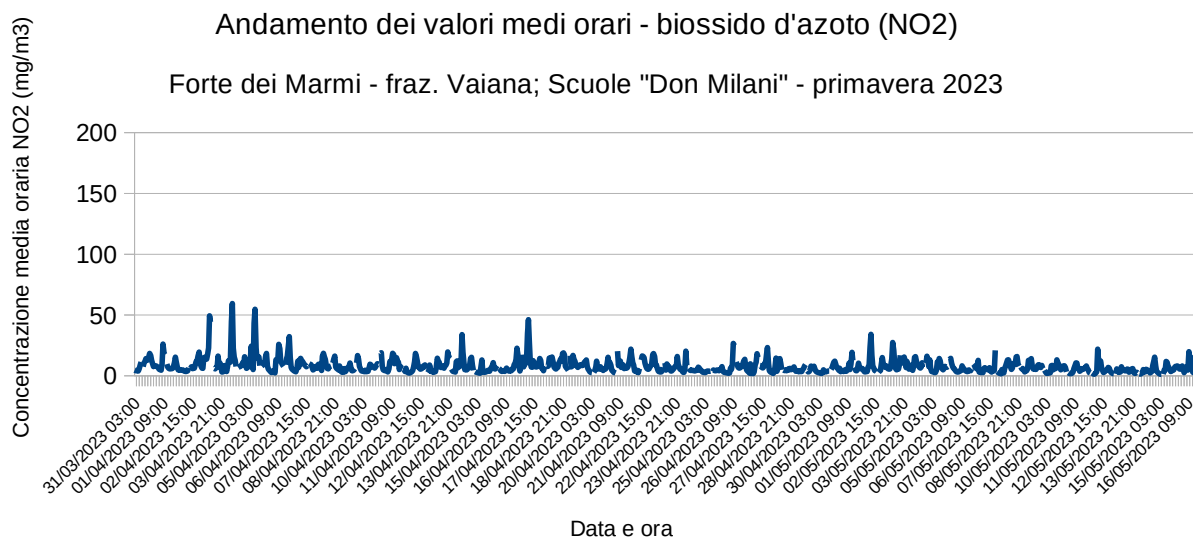
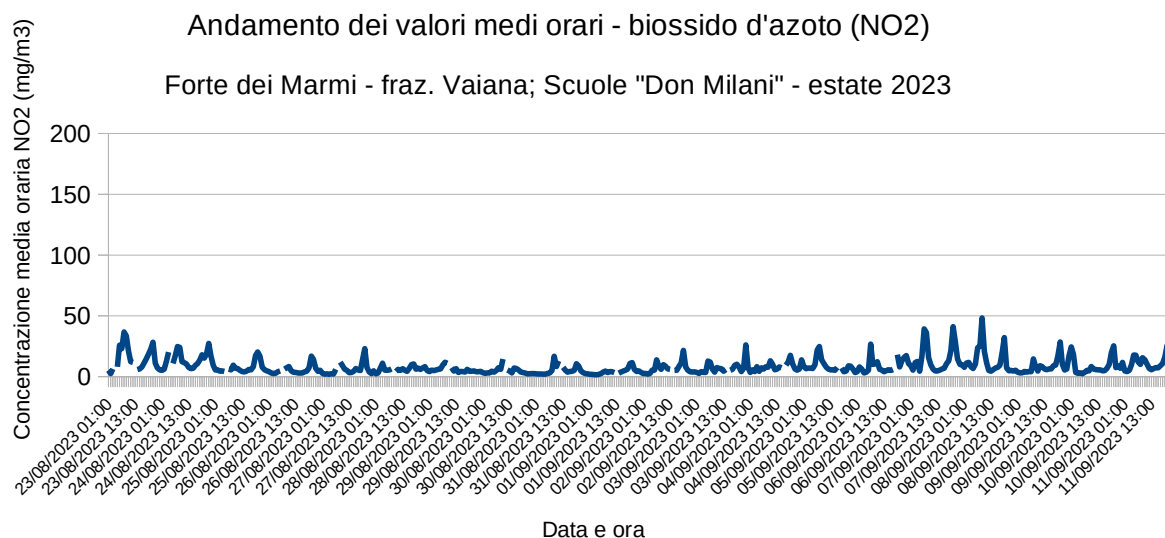


Grafico A.2 – Andamento dei valori medi orari di NO<sub>2</sub> – stagione estiva



NOTA: il valore in ordinata massimo del grafico equivale al limite normativo

Grafico A.3 – Andamento dei valori medi orari di NO<sub>2</sub> – stagione autunnale

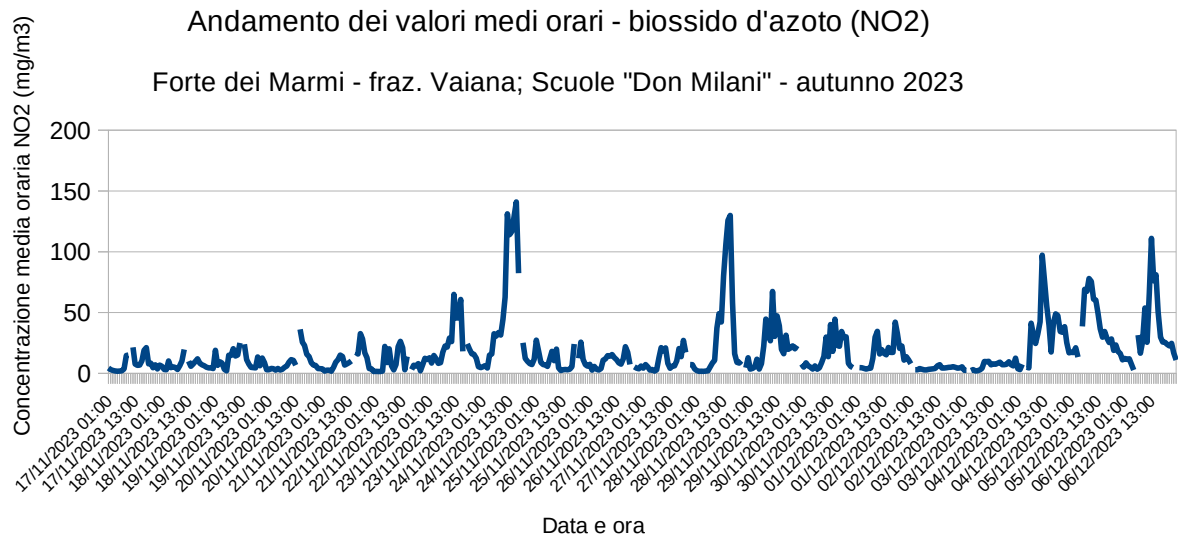
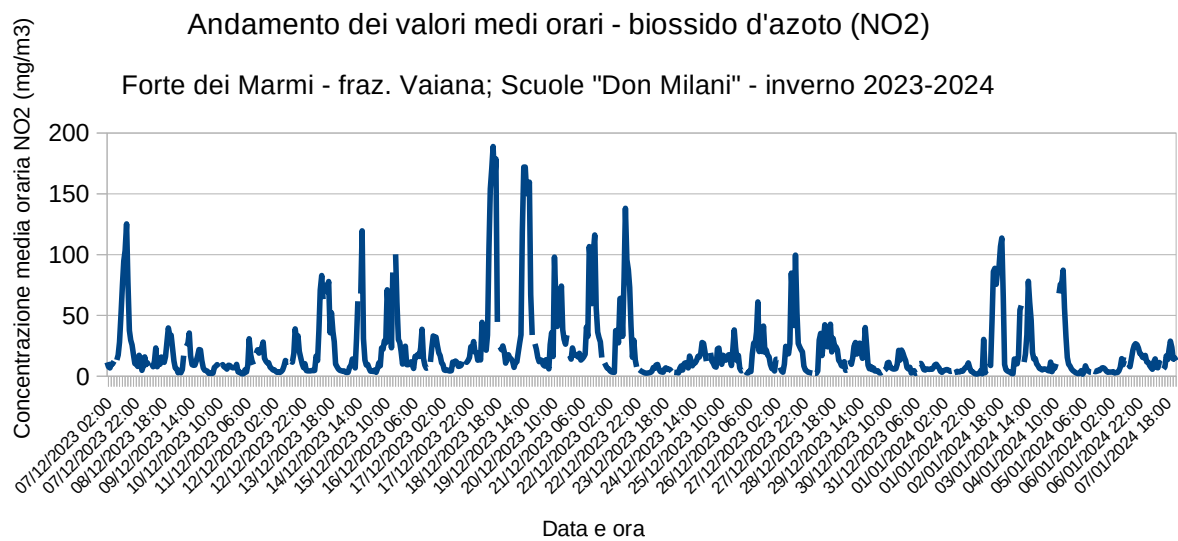


Grafico A.4 – Andamento dei valori medi orari di NO<sub>2</sub> – stagione invernale



NOTA: il valore in ordinata massimo del grafico equivale al limite normativo



Grafico A.5 – Andamento dei valori orari mobili su 8h di CO – primavera

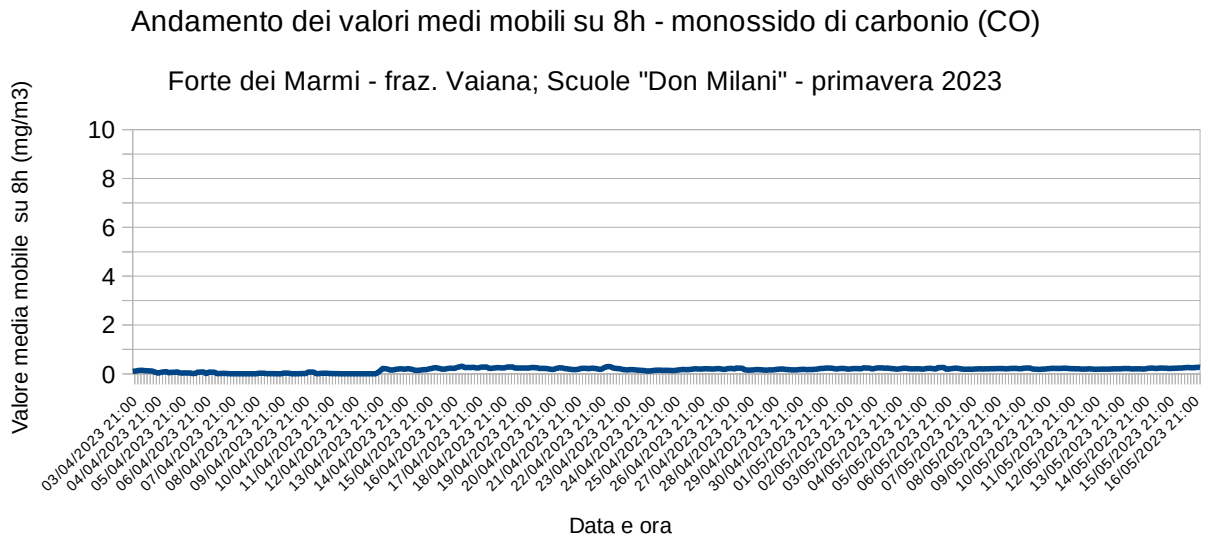
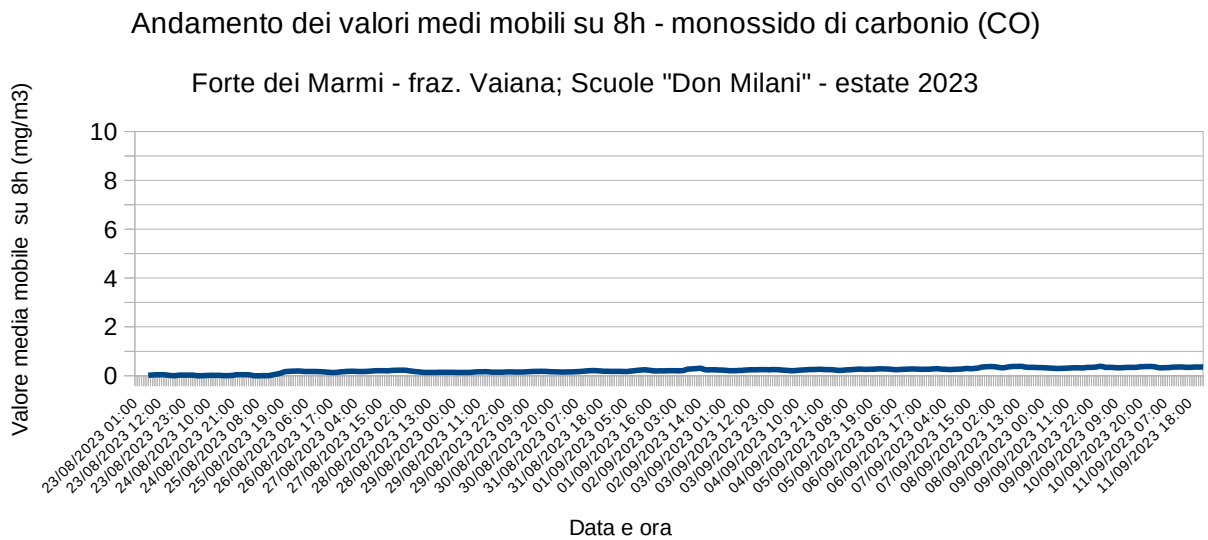


Grafico A.6 – Andamento dei valori orari mobili su 8h di CO – estate



NOTA: il valore in ordinata massimo del grafico equivale al limite normativo

Grafico A.7 – Andamento dei valori orari mobili su 8h di CO – autunno

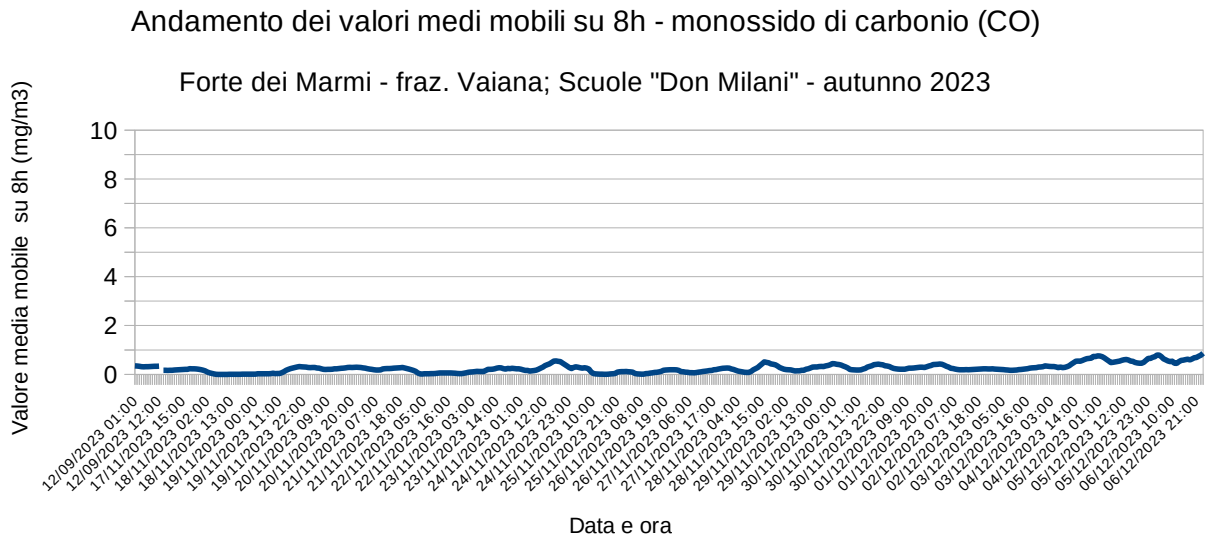
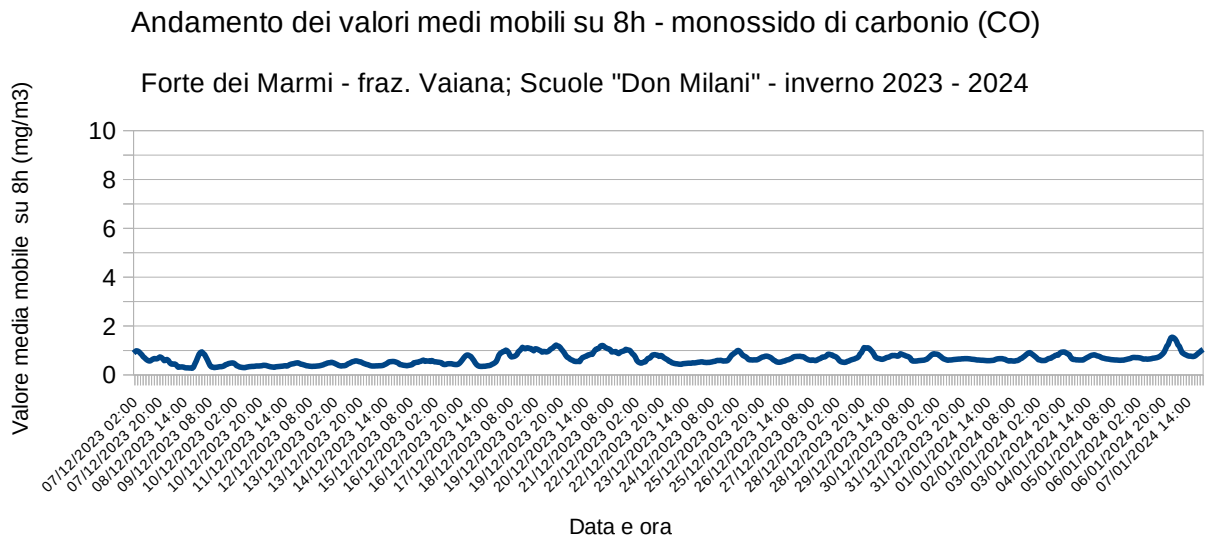


Grafico A.8 – Andamento dei valori orari mobili su 8h di CO – inverno



NOTA: il valore in ordinata massimo del grafico equivale al limite normativo

## **ALLEGATO B: Giorno tipo del biossido di azoto (estate / inverno) e confronti con LU-Viareggio sugli stessi periodi**

Grafico B.1 – Giorno tipo di NO<sub>2</sub> a Forte dei Marmi – Scuola “Don Milani” – stagione estiva 2023

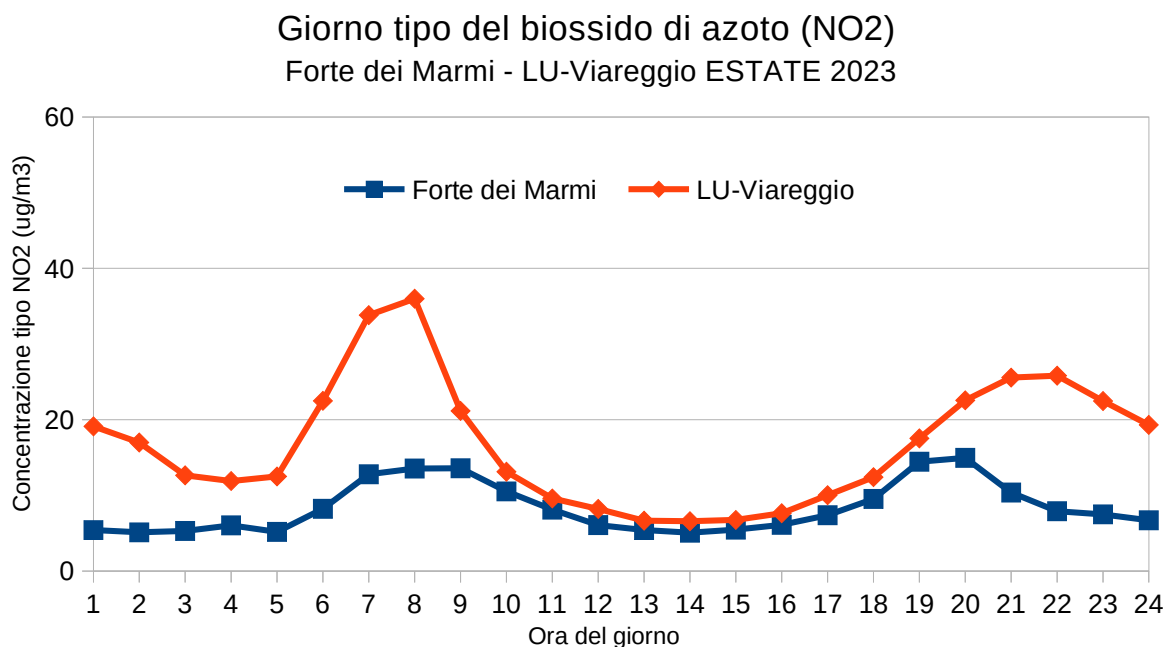
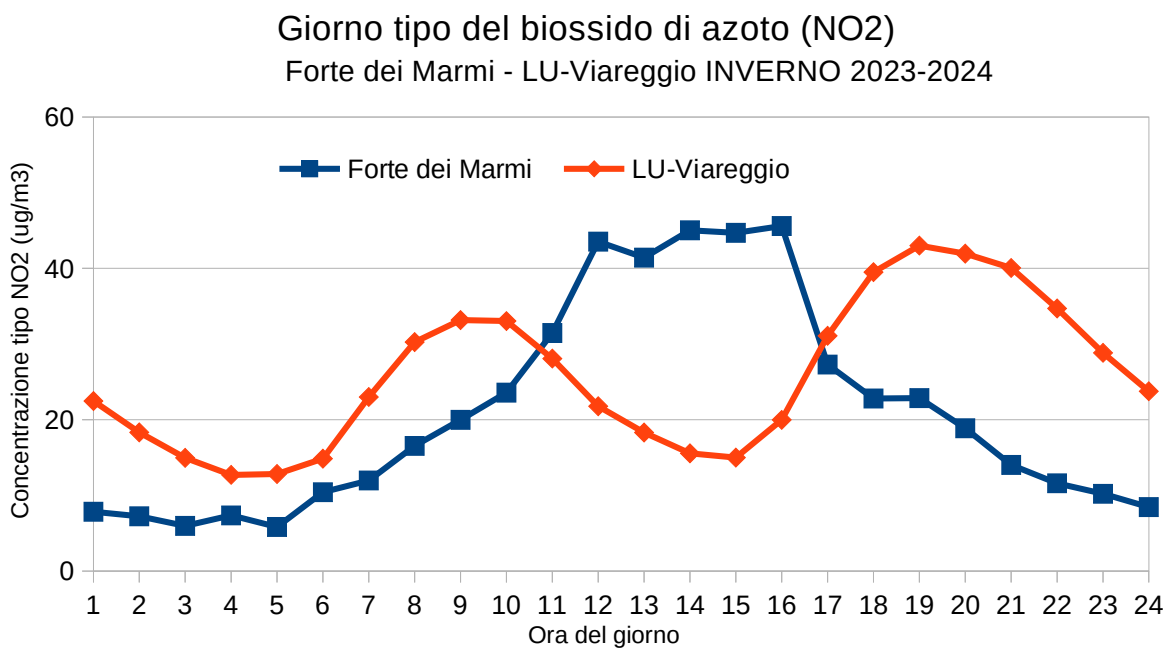


Grafico B.2 – Giorno tipo di NO<sub>2</sub> a Forte dei Marmi – Scuola “Don Milani” – stagione invernale 2023-2024



## **ALLEGATO C: Test di correlazione di Pearson – definizione**

In teoria degli errori, l'indice di correlazione di Pearson, anche detto coefficiente di correlazione di Pearson (o di Bravais-Pearson) tra due variabili aleatorie è un coefficiente che esprime la linearità tra la loro covarianza e il prodotto delle rispettive deviazioni standard.

Date due variabili statistiche X e Y, l'indice di correlazione di Pearson è definito come la loro covarianza divisa per il prodotto delle deviazioni standard delle due variabili:

$$\rho_{xy} = \frac{\sigma_{xy}}{\sigma_x \sigma_y}$$

dove

$\sigma_{xy}$  è la covarianza tra X e Y

$\sigma_x, \sigma_y$  sono le due deviazioni standard

Il coefficiente assume sempre valori compresi tra -1 e 1:

$$-1 \leq \rho_{xy} \leq 1$$

Se:

$$\rho_{xy} > 0$$

le variabili x e y si dicono *direttamente correlate*, oppure *correlate positivamente*

$$\rho_{xy} = 0$$

le variabili x e y si dicono incorrelate

$$\rho_{xy} < 0$$

le variabili x e y si dicono *inversamente correlate*, oppure *correlate negativamente*

Per la correlazione diretta si distingue inoltre:

$$0 < \rho_{xy} < 0,3$$

*correlazione debole*

$$0,3 < \rho_{xy} < 0,7$$

*correlazione moderata*

$$\rho_{xy} > 0,7$$

*correlazione forte*

L'indice di correlazione vale 0 se le due variabili sono indipendenti. Non vale la conclusione opposta: in altri termini, la non correlazione è condizione *necessaria* ma non *sufficiente* per l'indipendenza. L'ipotesi di assenza di autocorrelazione è più restrittiva ed implica quella di indipendenza fra due variabili.

L'indice di correlazione vale + 1 in presenza di correlazione lineare positiva ( $y = a + b x$ , dove  $b > 0$ ), mentre vale -1 in presenza di correlazione lineare negativa (p.es.:  $y = a + b x$ , con  $b < 0$ ).