

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

presso il sito di:

Scuola "Ugo Guidi"

Via Padre Ignazio da Carrara – fraz. Vittoria Apuana

Campagna indicativa di rilevamento con
Autolaboratorio-CJ845CC
Autolaboratorio-DB329YN

Periodo:
11 giugno 2021 – 31 maggio 2022

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

Gennaio 2023

REPORT

ARIA 



PROVINCIA DI LUCCA – COMUNE DI FORTE DEI MARMI

RELAZIONE CAMPAGNA DI RILEVAMENTO INDICATIVA CON AUTOLABORATORIO TARGATO CJ845CC (stagione estiva 2021) E AUTOLABORATORIO TARGATO DB329YN (stagione autunnale, invernale 2021 e primaverile 2022)

1) Forte dei Marmi – Via Padre Ignazio da Carrara, fraz. Vittoria Apuana
presso Scuola “Ugo Guidi”

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 - urp@arpat.toscana.it - PEC: arpat.protocollo@postacert.toscana.it

Sintesi

La campagna indicativa di monitoraggio della qualità dell'aria, realizzata per mezzo di laboratori mobili tra il giugno 2021 e fine maggio 2022 nel territorio comunale di Forte dei Marmi (LU), presso le pertinenze della Scuola "Ugo Guidi" a Vittoria Apuana 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 NO₂ e CO rispettano ampiamente i limiti previsti dalla normativa vigente per la protezione della salute umana. Gli indicatori ottenuti per il biossido di azoto sono circa la 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 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 superiori a quelli registrati nel sito di riferimento di LU-Viareggio (+19% sul valore medio di PM10 sul periodo dell'intera campagna, +33% 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 51 µg/m³, quindi superiore al VL giornaliero di 50 µg/m³, che è indicato dalla normativa vigente come soglia per il possibile superamento di 35 superamenti del VL giornaliero ammessi per anno civile. Questa conclusione è puramente indicativa perché il dato è molto condizionato dal periodo di monitoraggio all'interno di ciascuna stagione.

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 più elevati nel sito di Forte dei Marmi rispetto al sito di riferimento di LU-Viareggio (+33%), in particolare nel periodo invernale, come accade per il PM10.

SOMMARIO

SINTESI.....	3
.....	4
1. INTRODUZIONE.....	5
2. DESCRIZIONE DEI SITI DI MISURA.....	6
3. PARAMETRI E METODI.....	10
4. LIMITI NORMATIVI.....	12
5. RISULTATI.....	14
5.1 STANDARDIZZAZIONE.....	14
5.2 VALORI DEGLI INDICATORI.....	14
5.2.1 <i>Biossido di azoto (NO₂)</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>	31
CONCLUSIONI.....	39
ALLEGATO A: GRAFICI DEI VALORI MEDI ORARI DI BLOSSIDO DI AZOTO (NO₂) E MONOSSIDO DI CARBONIO (CO).....	41
ALLEGATO B: GIORNO TIPO DEL BLOSSIDO DI AZOTO (ESTATE / INVERNO) E CONFRONTI CON LU-VIAREGGIO SUGLI STESSI PERIODI.....	45
ALLEGATO C: TEST DI CORRELAZIONE DI PEARSON – DEFINIZIONE.....	46

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 meteorologiche sfavorevoli, etc.)

La presente relazione illustra l'attività dei mezzi mobili targati CJ845CC e DB329YN dell'ARPAT relativa alla seconda campagna di misure annuale, con durata dal 9 giugno 2021 al 31 maggio 2022, 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 da un aggiuntivo documento analogo DD 056/2021.

La presente indagine si configura come la seconda 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 centro cittadino a Forte dei Marmi.

Le generalità della postazione sono le seguenti:

1) Scuola Secondaria di I grado "Ugo Guidi", Via Padre Ignazio da Carrara, nella frazione Vittoria Apuana a circa 1.350 metri dal litorale; coordinate Gauss – Boaga: Nord 4869824; Est 1593537.

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)

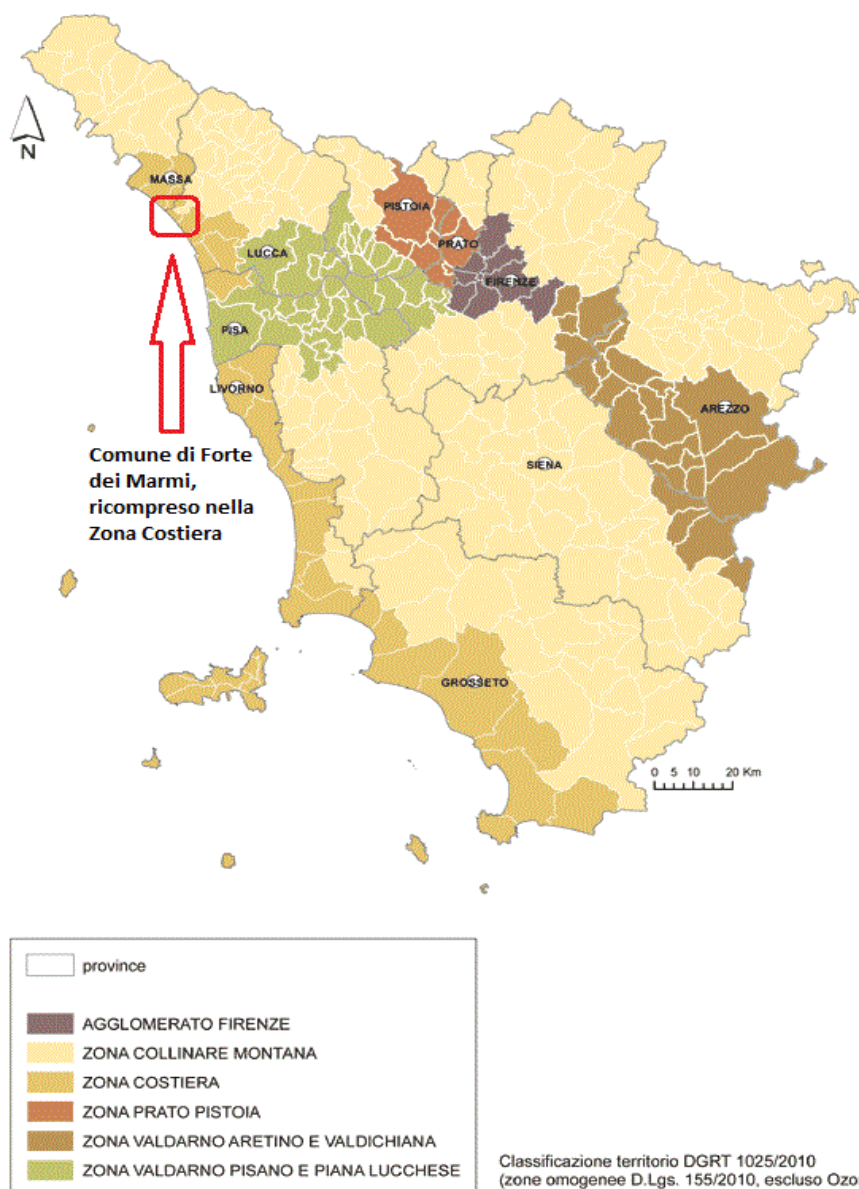


Figura 2.2 Mappa della provincia di Lucca con localizzazione in rosso del territorio comunale di Forte dei Marmi

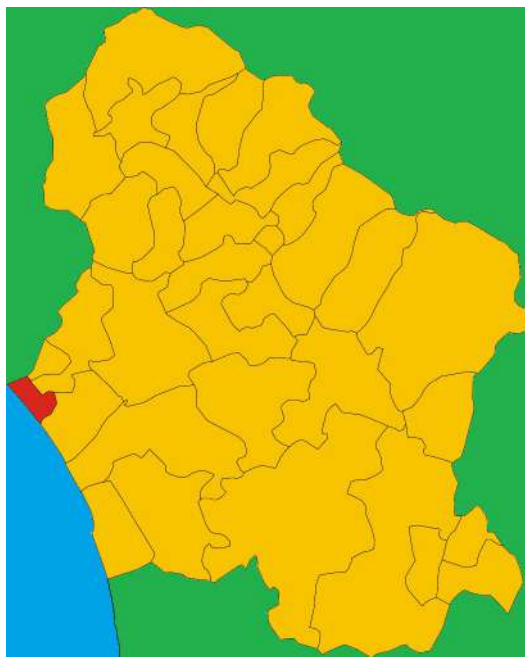


Figura 2.3 Panoramica del sito di monitoraggio nel contesto versiliese ed evidenza del sito fisso regionale di riferimento (LU-Viareggio)

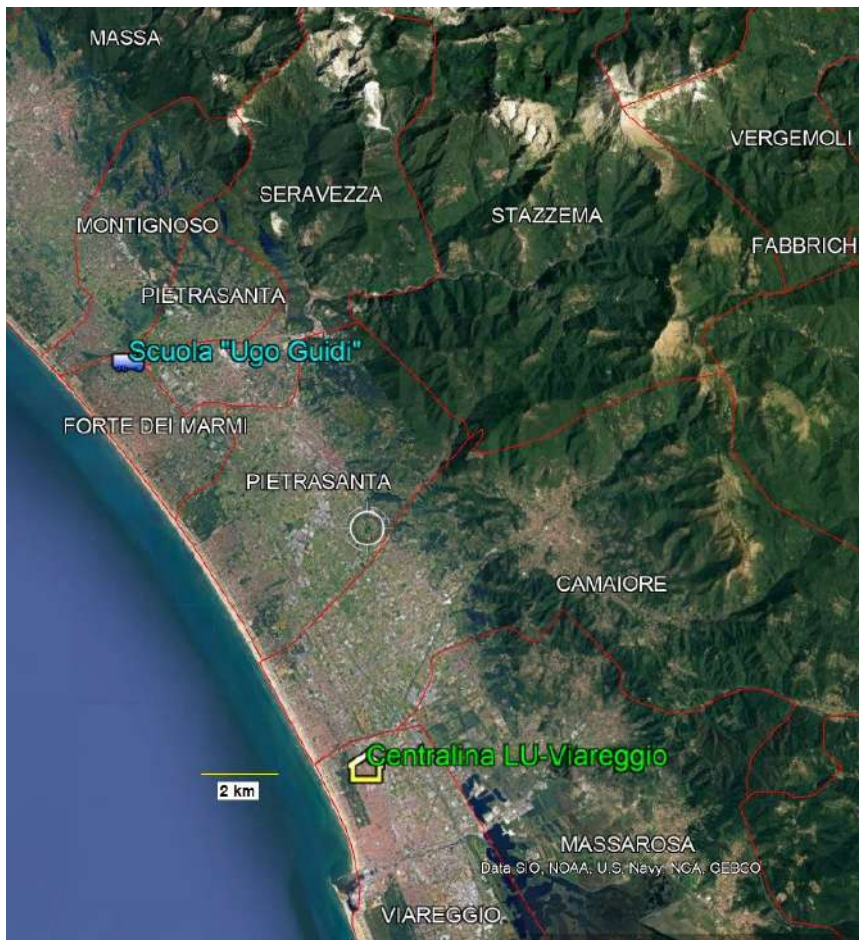


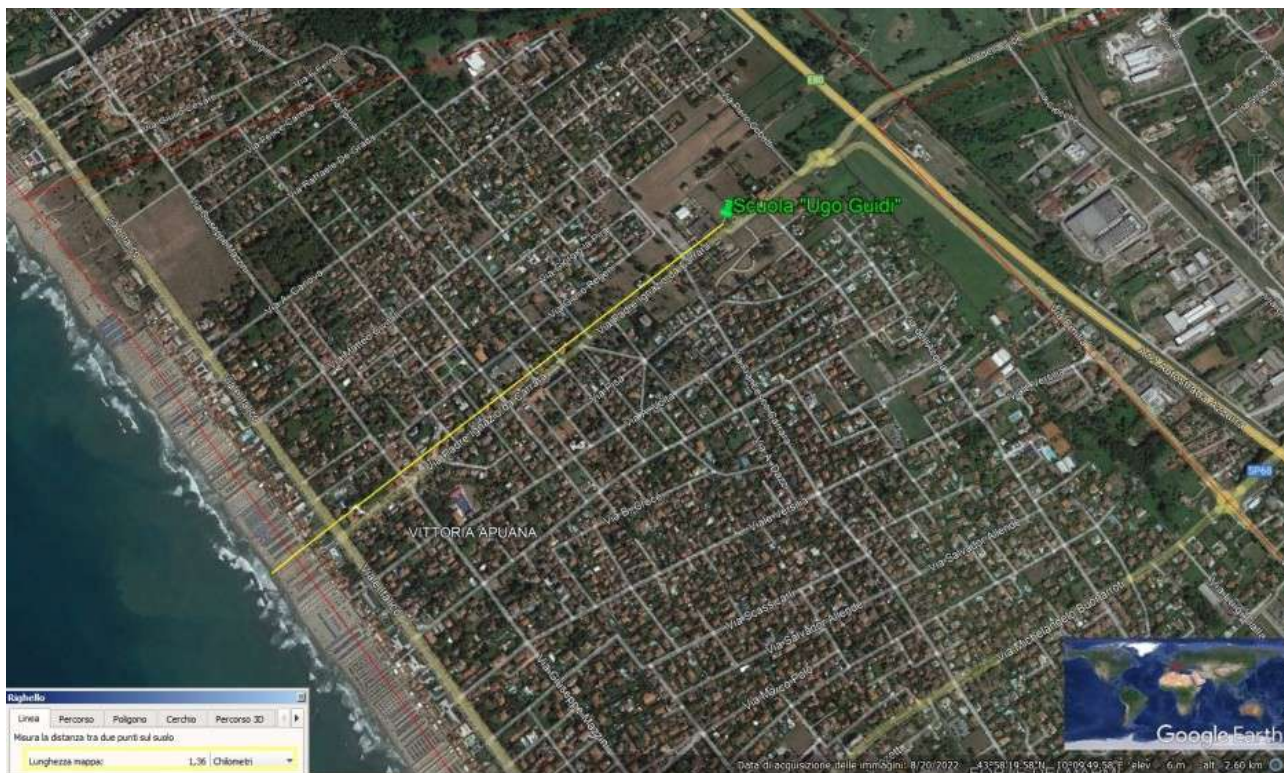
Figura 2.4 Autolaboratorio CJ845CC situato presso le pertinenze della scuola “Ugo Guidi” – estate 2021- vista verso Nord-Nord-Est



Figura 2.4.bis Autolaboratorio DB329YN installato presso le pertinenze della scuola “Ugo Guidi” – autunno 2021 – vista verso Sud



Figura 2.5 Contesto ambientale del sito "Periferico - fondo" dell'istituto comprensivo di cui fa parte la Scuola Ugo Guidi a Vittoria Apuana a circa 1,35 km dal mare (evidenziata con tratto righello giallo 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 CJ845CC e DB329YN:

NO _x	CO	PM10	PM2,5
x	x	x	x

NO_x = ossidi di azoto totali, ovvero monossido di azoto (NO) e biossido di azoto (NO₂)

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 CJ845CC (estate 2021):

Inquinante	Marca modello	Principio Metodo	Limite Rivelabilità	Precisione
NO _x	API T200	Chemiluminescenza UNI EN 14211:2012	0,4 ppb	0,5% della lettura
CO	API 300E	Assorbimento Radiazione Infrarossa UNI EN 14626:2012	0,04 ppm	0,5% della lettura o 0,2 ppm (maggiore dei due)
PM10/PM2,5	FAI Hydra Dual Channel	Campionamento gravimetrico su membrane filtranti UNI UNI EN 12341:2014	---	---

Tabella 3.4 – Caratteristiche tecniche degli strumenti installati sul laboratorio mobile DB329YN
(autunno, inverno 2021, primavera 2022):

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

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)

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

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)

	Periodo di mediazione	Valore limite
Valore limite per la protezione della salute umana	Media massima giornaliera su 8 ore	10 mg/m ³

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)

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

	Periodo di mediazione	Valori limite
Valore limite annuale per la protezione della salute umana	Anno civile	25 µg/m ³ PM2,5

5. RISULTATI

Tra giugno 2021 e maggio 2022, è stata svolta la campagna di misure indicativa presso la Scuola “Ugo Guidi” a Forte dei Marmi, fraz. Vittoria Apuana.

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

Parametri monitorati	ESTATE			AUTUNNO			INVERNO			PRIMAVERA			Totale giorni campionamento	Totale ore teoriche campionamento
	Inizio	Fine	n. giorni	Inizio	Fine	n. giorni	Inizio	Fine	n. giorni	Inizio	Fine	n. giorni		
NO _x	9-giu-21	6-lug-21	28	5-ott-21	30-nov-21	57	1-dic-21	28-dic-21	28	8-apr-22	31-mag-22	54	167	4008
CO	9-giu-21	6-lug-21	28	5-ott-21	30-nov-21	57	1-dic-21	28-dic-21	28	8-apr-22	31-mag-22	54	167	4008
PM10, PM2,5	11-giu-21	30-giu-21	20	5-ott-21	30-nov-21	57	1-dic-21	28-dic-21	28	8-apr-22	31-mag-22	54	159	

5.1 Standardizzazione

Tutti i valori di concentrazione espressi in unità di massa, µg (microgrammi) o mg (milligrammi) per metro cubo d'aria (m³), 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:

- estate: dal 9 giugno al 6 luglio 2021 (particolato atmosferico: 11 – 30 giugno 2021);
- autunno: dal 5 ottobre al 30 novembre 2021;
- inverno: dal 1° al 28 dicembre 2021;
- primavera: dall'8 aprile al 31 maggio 2022;

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_x) 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 12 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 48,5 km sempre in direzione 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 2021 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 (NO₂)

Tabella 5.2.1.a – Dati di NO₂ – indicatori annuali; confronto e variazioni percentuali con LU-Viareggio sugli stessi periodi di misura del sito di Forte dei Marmi:

NO2	Autolaboratorio	LU-Viareggio
Scuola "Ugo Guidi" - Forte dei Marmi		
Media delle medie orarie (µg/m ³) – variazione % rispetto a sito di rif.	22 (+5%)	21
Massima media oraria (µg/m ³)	87 (14/04/2022 ore 21)	89 (27/10/2021 ore 19)
n. ore valide	3737	3673
% ore valide	93%	92%
n. ore con concentrazione maggiore di 200 µg/m ³	0	0

Come si può rilevare dalla Tabella riassuntiva 5.2.1.a, i valori medi orari non superano mai i 100 µg/m³, che è la metà del Valore Limite (di seguito, VL) orario da non superare più di 18 volte in un anno. I valori medi orari sono in linea con quelli del sito di riferimento di LU-Viareggio, i cui valori sono comunque sempre inferiori al valore limite orario di 200 µg/m³. Il massimo valore orario (87 µg/m³) è in linea con quello di LU-Viareggio (89 µg/m³ sia sul periodo e cfr. Tabella 5.2.1.c che sull'anno 2021), seppure il periodo di riferimento per i due valori massimi sia non coincidente (Forte dei Marmi raggiunge il massimo valore orario in primavera, LU-Viareggio in autunno).

L'indicatore media sul periodo è leggermente superiore (+5%) all'indicatore calcolato sugli stessi periodi nel sito fisso di LU-Viareggio. Infatti il valore medio delle medie orarie sui periodi è pari a 22 µg/m³, circa il 5% superiore del valore medio sugli stessi periodi (21 µg/m³) e del 10% superiore alla media annuale riferita al 2021 (20 µg/m³) di LU-Viareggio.

Da notare che questo indicatore è circa il 55% del valore limite previsto dalla normativa (22 µg/m³ contro 40 µg/m³).

Tabella 5.2.1.b – Dati i NO₂ - indicatori stagionali per il sito di misura di Forte dei Marmi:

NO2	ESTATE	AUTUNNO	INVERNO	PRIMAVERA
Scuola "Ugo Guidi" – Forte dei Marmi				
Media delle medie orarie (µg/m ³)	16	21	28	18
Massima media oraria (µg/m ³)	68 (27/06/2021 ore 21)	72 (29/10/2021 ore 18)	78 (13/12/2021 ore 18)	87 (14/04/2022 ore 21)
n. ore valide	642	1250	606	1238
% ore valide	96%	91%	90%	96%
n. ore con concentrazione maggiore di 200 µg/m ³	0	0	0	0

Tabella 5.2.1.c – Dati di NO₂ – indicatori annuali riferiti al 2021 di LU-Viareggio:

NO2 – INDICATORI ANNUALI 2021	LU-Viareggio
Media annuale (µg/m ³)	20
Massima media oraria (µg/m ³)	99 (03/03/2021 ore 21)
n. superamenti del VL giornaliero di 200 µg/m ³	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.

Si nota innanzitutto che in estate il grafico per Forte dei Marmi risulta sempre superiore a quello di LU-Viareggio, con valori che hanno lo stesso identico andamento ma che oscillano tra 7 e 28 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ per il sito di Forte dei Marmi contro valori che stanno nell'intervallo 4 – 26 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ per LU-Viareggio. In inverno, si riscontra l'opposto, con valori tipo che oscillano tra 19 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ e 54 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ per LU-Viareggio, e concentrazioni tipo comprese tra 14 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ e 47 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ per il sito delle scuole "Ugo Guidi".

Nel sito della Scuola "Ugo Guidi", in estate si nota un picco mattutino attorno ai 27,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ alle ore 7, molto simile a quello di Viareggio, 26 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Alle ore 22 - 23 vi sono due massimi locali con valori di concentrazione di poco inferiori a quelli mattutini (circa 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). Per LU-Viareggio il picco serale è alle ore 24 con un valore inferiore (circa 15,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$).

L'andamento tipico con due massimi (picchi a metà mattinata e a metà serata) è evidente nella sola stagione invernale, anche per quanto riguarda la parità dei massimi mattutini (ore 9-10), attorno a 37 - 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (per entrambi i siti), mentre per il picco serale si nota una differenza tra LU-Viareggio che fa registrare un valore massimo attorno ai 54 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ centrato sulle ore 18 - 19; per Forte dei Marmi il massimo si ha sulle ore 18 con concentrazione tipo di circa 47 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (-13%).

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 “Ugo Guidi” e confronto con LI-Carducci sugli stessi periodi di misura

CO	Autolaboratorio	LI-Carducci
Scuola “Ugo Guidi” - Forte dei Marmi		
Media delle medie orarie (mg/m ³)	0,5	0,5
Massima giornaliera trascinata su 8h (mg/m ³)	2,3 (19/12/2021 ore 4)	2,3 (13/12/2021 ore 21)
Massima media oraria (mg/m ³)	2,6 (19/12/2021 ore 1)	4,6 (13/12/2021 ore 18)
n. ore valide	3759	3838
% ore valide	94%	96%
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 “Ugo Guidi”:

CO	ESTATE	AUTUNNO	INVERNO	PRIMAVERA
Scuola “Ugo Guidi” – Forte dei Marmi				
Massima media oraria (mg/m ³)	0,9 (11/06/2021 ore 0)	2,0 (25/11/2021 ore 1)	2,6 (19/12/2021 ore 1)	0,9 (19/05/2022 ore 8)
Massima media mobile su 8h (mg/m ³)	0,6 (11/06/2021 ore 2)	1,6 (25/11/2021 ore 4)	2,3 (19/12/2021 ore 4)	0,7 (15/04/2022 ore 3)
Media oraria (mg/m ³)	0,2	0,5	0,9	0,3
n. ore valide	636	1260	615	1238
% ore valide	95%	92%	92%	96%
n. superamenti media mobile su 8h (VL = 10 mg/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 (2,3 mg/m³ su 10 mg/m³).

Si osserva in Tabella 5.2.2.1 che tutti gli indicatori di Forte dei Marmi sono inferiori o uguali a quelli mostrati sugli stessi periodi di misura da LI-Carducci; sia i valori sul lungo periodo, la media (uguale nei due siti), che il valore medio mobile trascinato su 8 ore, che è l'unico indicatore con effetto normativo (uguale nei due siti), che il valore massimo orario (-43%).

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 estate, massimi in inverno, e comunque elevati anche in autunno e primavera. Sia l'indicatore di valore orario massimo (2,6 mg/m³), sia il valore massimo orario trascinato su 8h (2,3 mg/m³) sono stati raggiunti in inverno nel medesimo giorno 19/12/2021.

A livello puramente indicativo, in Tab. 5.2.2.3 si riporta il confronto, riferito all'anno civile 2021, 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 2021 ricavati dai siti fissi regionali

Stazione	Comune	Tipologia	Zonizzazione	Massimo valore medio orario (mg/m ³)	Massimo valore medio orario mobile trascinato su 8h (mg/m ³)	Media annuale (mg/m ³)
LI-Carducci	Livorno	URBANA TRAFFICO	Zona costiera	4,6	2,3	0,4
PI-Borghetto	Pisa		Zona Valdarno pisano e Piana lucchese	2,7	1,8	0,5
FI-Gramsci	Firenze		Agglomerato fiorentino	3,8	2,9	0,7
AR-Repubblica	Arezzo		Valdarno aretino e Val di Chiana	2,1	1,6	0,4
PO-Ferrucci	Prato		Zona Prato Pistoia	3,2	2,4	0,5
SI-Bracci	Siena		Zona collinare e montana	1,6	1	0,3

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 1/4 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
Scuola "Ugo Guidi" - Forte dei Marmi		
Media delle medie giornaliere ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) – variazione % rispetto a sito di rif.	31 (+ 19%)	26
Massima media giornaliera ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	98 (15/12/2021)	72 (15/12/2021)
n. giorni validi	158	142
% giorni validi	99%	89%
90,4° percentile (da confrontare con VL giornaliero)	51	41
n. giorni con concentrazione maggiore di $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$	16	11*

* 2 superamenti determinati da episodi di avvezione di aerosol marino + crostale in data 08 e 09/04/2021, non per Forte dei Marmi

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

PM10	ESTATE	AUTUNNO	INVERNO	PRIMAVERA
Scuola "Ugo Guidi" – Forte dei Marmi				
Media delle medie giornaliere ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	24	29	49	21
Massima media giornaliera ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	45 (21/06/2021)	55 (24/11/2021)	98 (15/12/2021)	41 (08 e 09/04/2021)
n. giorni validi	20	57	27	54
% giorni validi	100%	100%	96%	100%
n. giorni con concentrazione maggiore di $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$	0	3	13	0
media di LU-Viareggio sullo stesso periodo	23	24	37	21
Differenza % con LU-Viareggio sullo stesso periodo	4%	21%	32%	0%

Tabella 5.2.3.c – Dati di PM10 – indicatori annuali riferiti al 2021 di LU-Viareggio

PM10 – INDICATORI ANNUALI 2021	LU-Viareggio
Media annuale ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	24
Massima media giornaliera ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	76 (27/02/2021)
n. superamenti del VL giornaliero di $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$	11* (14)
90,4° percentile ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) calcolato sull'anno civile	41

* al netto dei contributi di avvezioni di sabbia del deserto dal Nord-Africa

Il valore medio sul periodo della campagna annuale nel sito di Forte dei Marmi è 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 supera di $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ il 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 arrivare ad ipotizzare un superamento 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. 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 2021 ha ampiamente rispettato anche il valore limite relativo al numero di superamenti giornalieri (Tabella 5.2.3.c).

Un elemento che definisce una relativa “robustezza” dell’indicatore 90,4° percentile per LU-Viareggio è il fatto che tale indicatore calcolato sull’anno civile 2021 coincide con il valore calcolato sui periodi della campagna indicativa di FdM ($41 \mu\text{g}/\text{m}^3$ in entrambi i casi).

Tale indicatore di periodo per il sito della Scuola “Ugo Guidi” ($51 \mu\text{g}/\text{m}^3$) risulta superiore del 25% all’indicatore calcolato su LU-Viareggio ($41 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

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 uguale al valore medio di LU-Viareggio sullo stesso periodo in primavera 2022.

Tutti gli altri valori medi stagionali di PM10 sono superiori a quelli registrati a LU-Viareggio nei medesimi periodi, anche se scorrendo dall’estate all’inverno 2021 si nota un progressivo incremento dello scarto percentuale sulla differenza; vale a dire che nel caso dell’estate 2021 la differenza percentuale tra i due siti per questo indicatore (+4% rispetto a indicatore su medesimo periodo registrato a LU-Viareggio) è assai inferiore che nell’inverno 2021 (+32% rispetto a LU-Viareggio). In autunno 2021 l’indicatore valore medio PM10 sul periodo a Forte dei Marmi è maggiore del 21% rispetto a quello calcolato per 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.

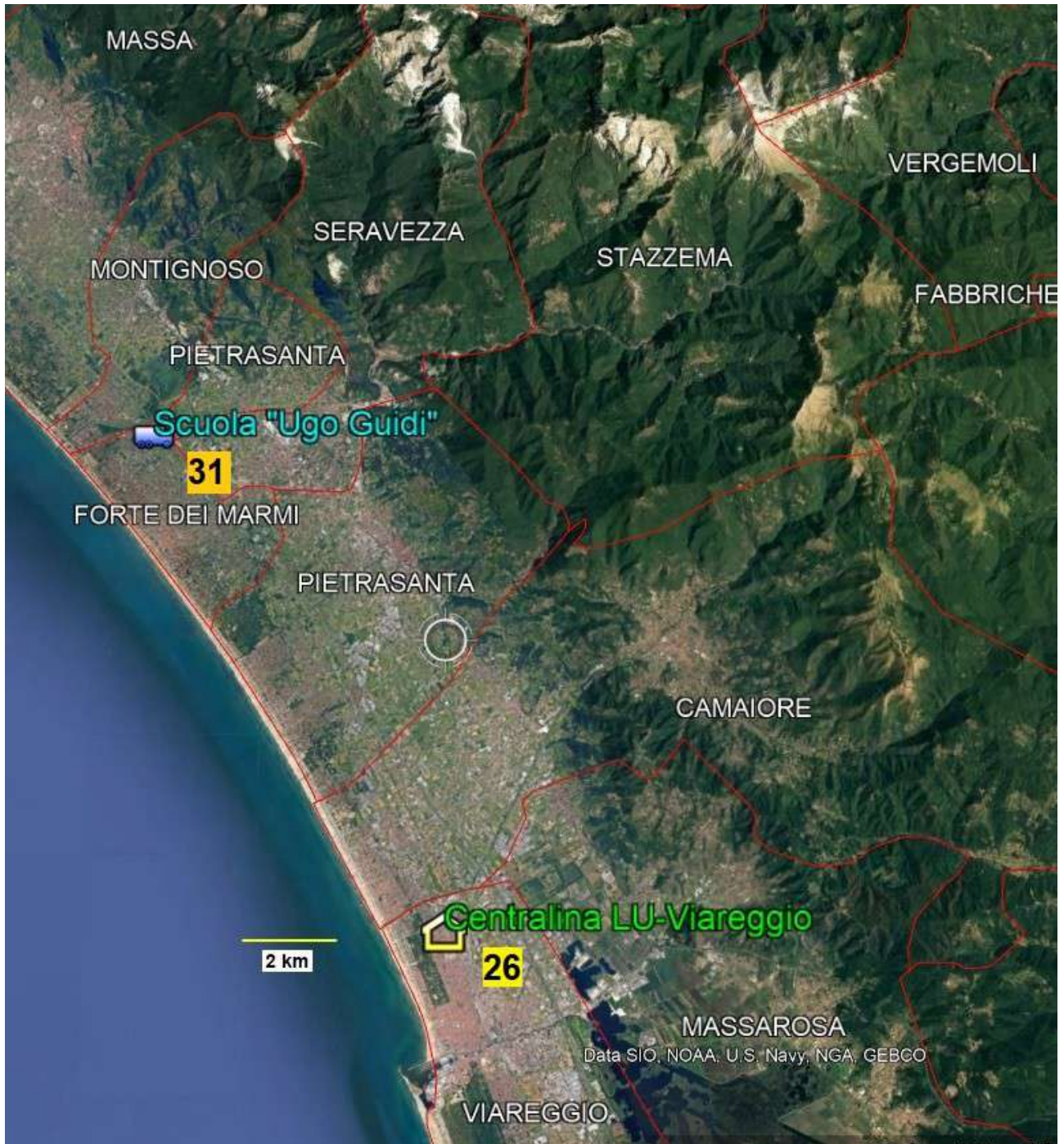


Figura 5.2.3.b – Mappa con i valori relativi al 90,4° percentile, espressi in $\mu\text{g}/\text{m}^3$, nel sito di misura di FdM. Per LU-Viareggio è stato considerato l'indicatore 90,4° percentile sugli stessi periodi di misura che coincide con il valore calcolato su tutti i dati di PM10 riferiti all'anno civile 2021.

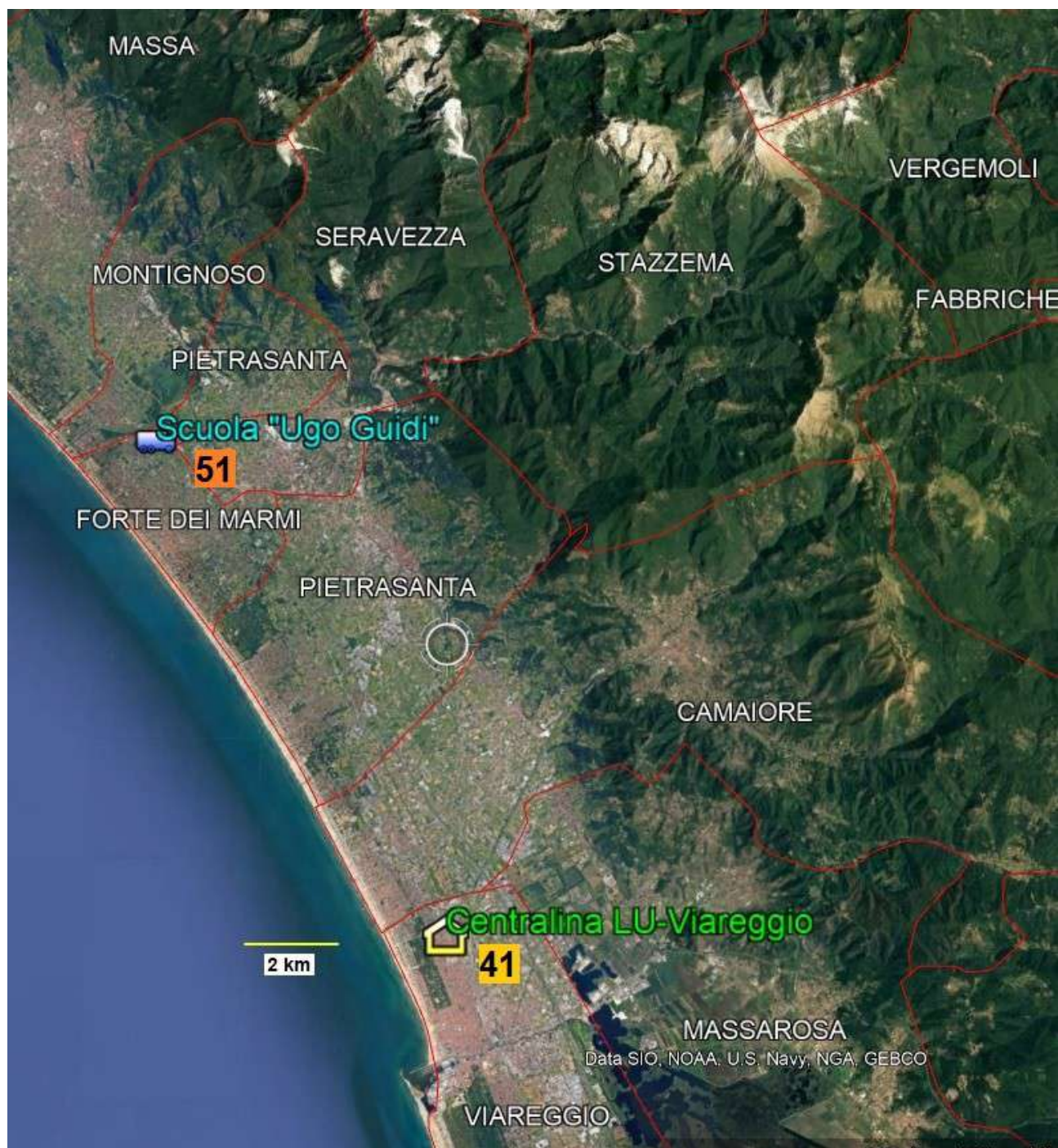


Figura 5.2.3.c – Mappa con i valori della massima media giornaliera di PM10 registrata nel periodo della campagna annuale.

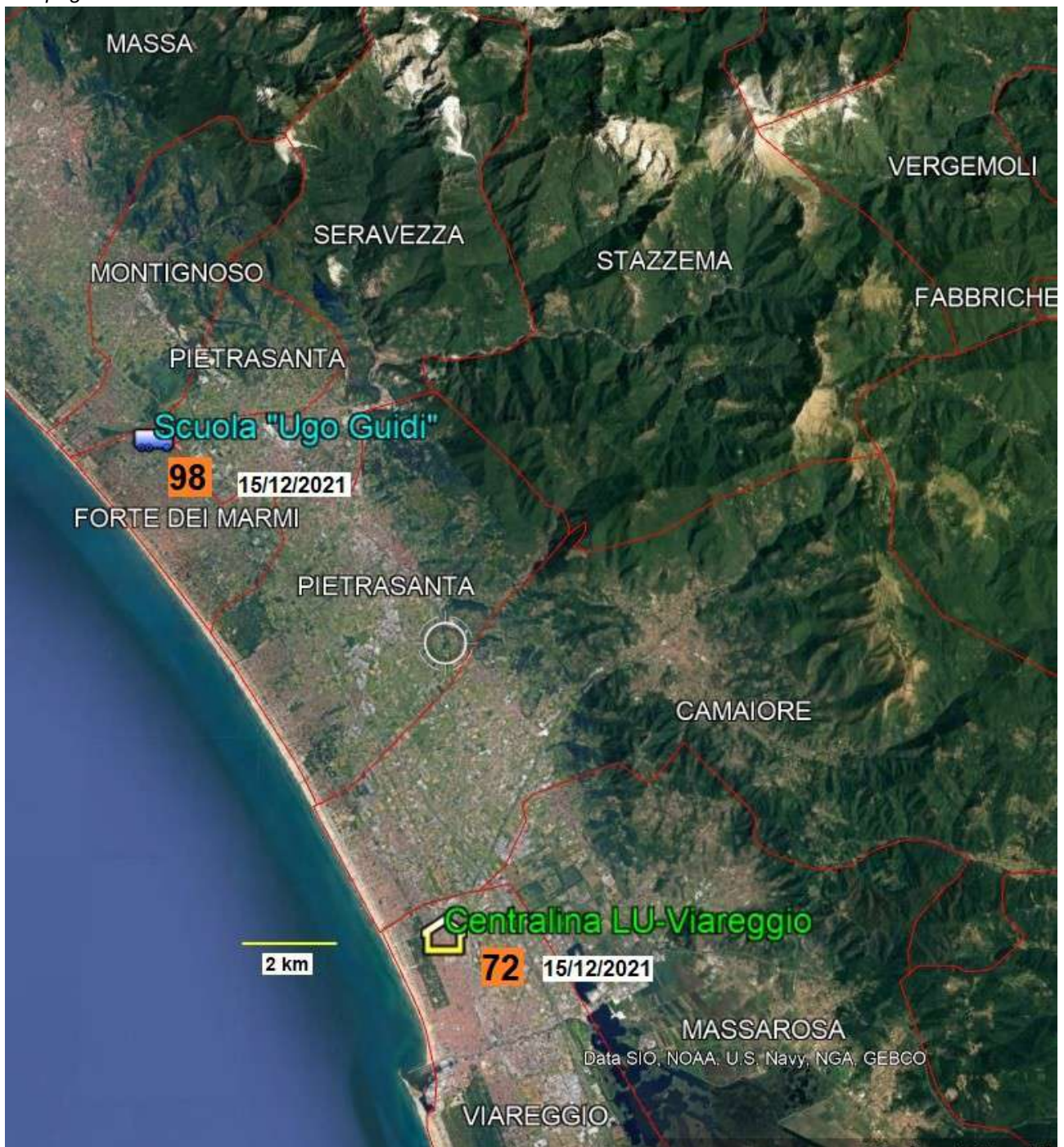
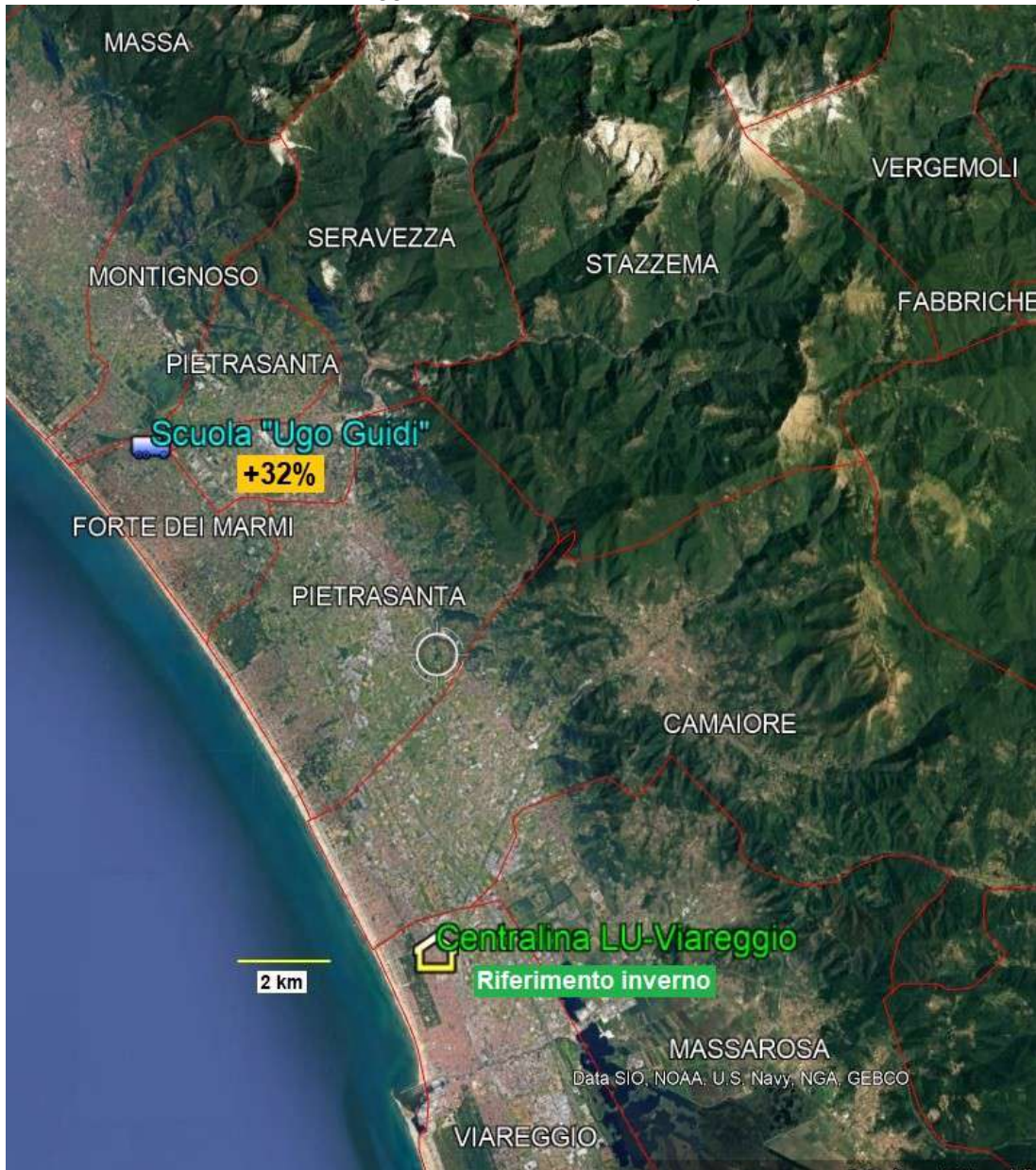
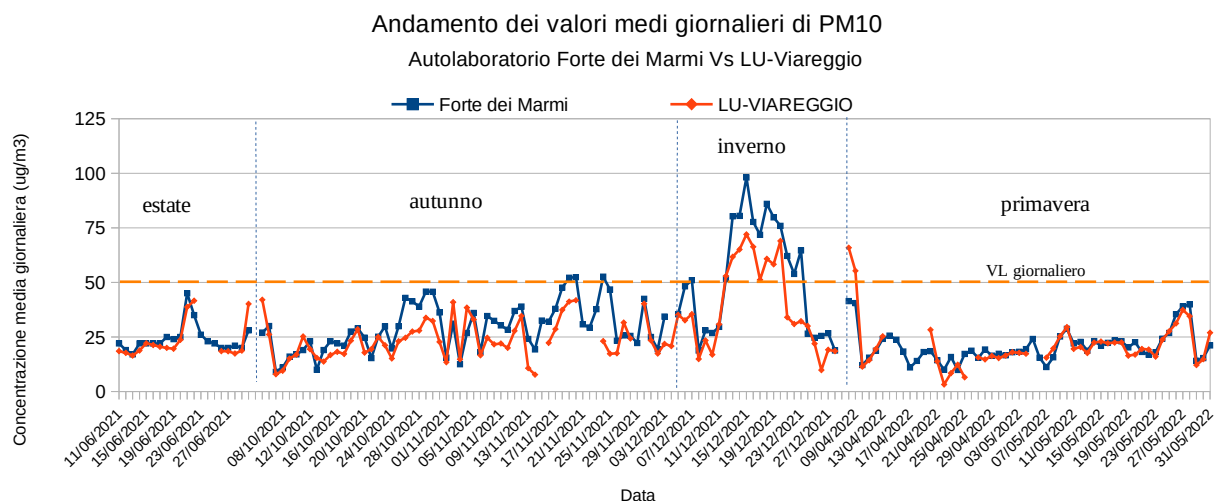


Figura 5.2.3.c – PM10 INVERNO - Scostamenti percentuali dei valori medi di PM10 registrati, rispetto ai valori medi del sito di riferimento LU-Viareggio, calcolati sul medesimo periodo invernale.



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 superiori a Forte dei Marmi rispetto a LU-Viareggio, in particolar modo nel periodo autunnale e invernale. In inverno vi è una netta preponderanza di valori massimi (alcuni superiori al VL giornaliero) nel sito di Forte dei Marmi rispetto a Viareggio.

In autunno, ma soprattutto in inverno, si notano discrepanze importanti tra i livelli di concentrazione media giornaliera di PM10 su Forte dei Marmi e LU-Viareggio. Considerando che in quei giorni il rapporto PM2,5 / PM10 risulta superiore al 75% è ipotizzabile un contributo rilevante alla concentrazione di particolato da parte dei composti derivanti dalla combustione di biomassa (abbruciamenti e caminetti). Data la sistematicità che si riscontra in inverno rispetto ai superamenti del VL e alla alta percentuale di frazione PM2,5 / PM10, è ipotizzabile che la parte di riscaldamento domestico a biomassa sia rilevante.

Per quanto riguarda due dei superamenti del VL giornaliero per il PM10 a LU-Viareggio all'inizio della stagione primaverile (8 e 9 aprile 2022) vi sono con buona probabilità eventi occorsi in quelle date da imputare ad avvezione di aerosol marino e crostale verso l'entroterra. Tale ipotesi è supportata dal fatto che negli stessi giorni la frazione percentuale PM2,5 / PM10, è molto contenuta (inferiore o uguale al 20-21% a fronte di un valore medio sull'anno di circa il 65%). Il fenomeno è visibile nel Grafico 5.2.4.b. Per Forte dei Marmi in quei giorni invece non si sono registrati superamenti del VL (valori di concentrazione di PM10 pari a $41\mu\text{g}/\text{m}^3$).

Tabella 5.2.3.d valori medi giornalieri PM10 nei periodi indagati – Forte dei Marmi Vs LU-Viareggio (in questa pagina: stagioni estiva e autunnale 2021)

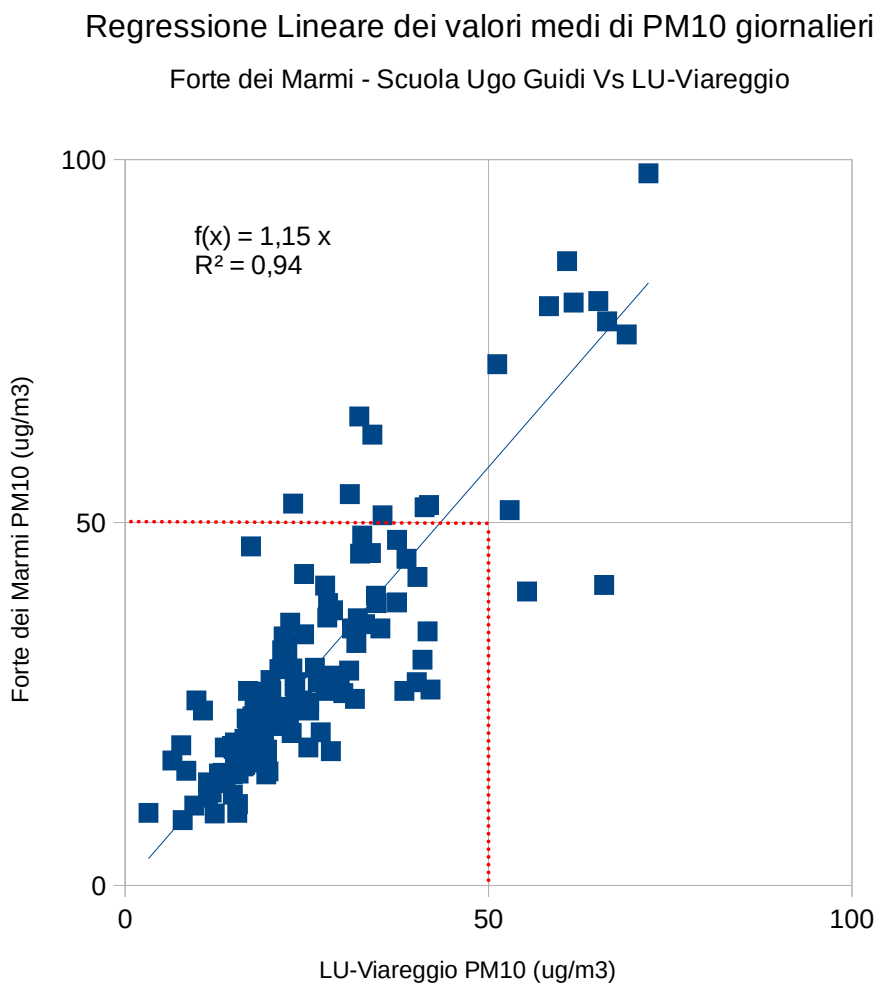
Data	Forte dei Marmi	LU-Viareggio
	PM10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	PM10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
11/06/2021	22	19
12/06/2021	19	18
13/06/2021	17	17
14/06/2021	22	19
15/06/2021	22	22
16/06/2021	22	21
17/06/2021	22	21
18/06/2021	25	20
19/06/2021	24	20
20/06/2021	25	24
21/06/2021	45	39
22/06/2021	35	42
23/06/2021	26	
24/06/2021	23	
25/06/2021	22	
26/06/2021	20	19
27/06/2021	20	18
28/06/2021	21	17
29/06/2021	20	19
30/06/2021	28	40
05/10/2021	27	42
06/10/2021	30	26
07/10/2021	9	8
08/10/2021	11	10
09/10/2021	16	15
10/10/2021	17	17
11/10/2021	19	25
12/10/2021	23	19
13/10/2021	10	15
14/10/2021	19	14
15/10/2021	23	17
16/10/2021	22	18
17/10/2021	21	17
18/10/2021	28	23
19/10/2021	29	29
20/10/2021	25	18
21/10/2021	15	19
22/10/2021	25	25
23/10/2021	30	21
24/10/2021	20	15
25/10/2021	30	23
26/10/2021	43	25
27/10/2021	41	28
28/10/2021	39	28
29/10/2021	46	34
30/10/2021	46	32
31/10/2021	36	23
01/11/2021	16	13
02/11/2021	31	41
03/11/2021	13	15
04/11/2021	27	38
05/11/2021	36	33
06/11/2021	18	17
07/11/2021	35	25
08/11/2021	32	22
09/11/2021	30	22
10/11/2021	28	20
11/11/2021	37	28
12/11/2021	39	35
13/11/2021	24	11
14/11/2021	19	8
15/11/2021	33	
16/11/2021	32	22
17/11/2021	38	29
18/11/2021	48	37
19/11/2021	52	41
20/11/2021	52	42
21/11/2021	31	
22/11/2021	29	
23/11/2021	38	
24/11/2021	53	23
25/11/2021	47	17
26/11/2021	23	18
27/11/2021	26	32
28/11/2021	26	24
29/11/2021	22	
30/11/2021	43	40

SEGUE Tabella 5.2.3.d – (di seguito: inverno 2021, primavera 2022)

Data	Forte dei Marmi	LU-Viareggio
	PM10 (µg/m³)	PM10 (µg/m³)
01/12/2021	25	23
02/12/2021	19	17
03/12/2021	34	22
04/12/2021		21
05/12/2021	35	35
06/12/2021	48	33
07/12/2021	51	35
08/12/2021	19	15
09/12/2021	28	23
10/12/2021	27	17
11/12/2021	30	31
12/12/2021	52	53
13/12/2021	80	62
14/12/2021	81	65
15/12/2021	98	72
16/12/2021	78	66
17/12/2021	72	51
18/12/2021	86	61
19/12/2021	80	58
20/12/2021	76	69
21/12/2021	62	34
22/12/2021	54	31
23/12/2021	65	32
24/12/2021	27	30
25/12/2021	25	22
26/12/2021	26	10
27/12/2021	27	19
28/12/2021	19	19
08/04/2022	41	66
09/04/2022	41	55
10/04/2022	12	11
11/04/2022	16	14
12/04/2022	19	20
13/04/2022	24	25
14/04/2022	26	
15/04/2022	24	
16/04/2022	18	
17/04/2022	11	
18/04/2022	14	
19/04/2022	18	
20/04/2022	19	28
21/04/2022	14	14
22/04/2022	10	3
23/04/2022	16	8
24/04/2022	10	12
25/04/2022	17	7
26/04/2022	19	
27/04/2022	15	16
28/04/2022	19	15
29/04/2022	16	16
30/04/2022	17	15
01/05/2022	17	17
02/05/2022	18	18
03/05/2022	18	18
04/05/2022	19	17
05/05/2022	24	
06/05/2022	16	
07/05/2022	11	16
08/05/2022	16	20
09/05/2022	25	25
10/05/2022	29	30
11/05/2022	22	20
12/05/2022	23	20
13/05/2022	19	18
14/05/2022	23	22
15/05/2022	21	23
16/05/2022	22	22
17/05/2022	23	22
18/05/2022	23	23
19/05/2022	20	16
20/05/2022	23	17
21/05/2022	18	20
22/05/2022	17	19
23/05/2022	18	16
24/05/2022	24	24
25/05/2022	27	28
26/05/2022	35	31
27/05/2022	39	37
28/05/2022	40	35
29/05/2022	14	12
30/05/2022	15	15
31/05/2022	21	27

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



COEFFICIENTE DI CORRELAZIONE DI PEARSON: 0,90

COEFFICIENTE DI CORRELAZIONE DI LIN: 0,86

COEFFICIENTE DI CORRELAZIONE DIFFERENZA MENO MEDIA: 0,41

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 "Ugo Guidi", 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 maggiore di 1 ($m = 1,15$) e il coefficiente di correlazione R^2 è di 0,94, 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 superiori del 15% in confronto ai corrispettivi valori medi di LU-Viareggio.

Si rileva anche una discreta concordanza 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 0,86, quindi contesti assai simili e una discreta riproducibilità dei dati.

Le due postazioni a confronto mostrano effettivamente una ampiezza di oscillazione dei valori di PM10 abbastanza dissimile e non proprio in fase con LU-Viareggio, come suggerito dal valore di correlazione "differenza meno media" pari a 0,41. Il valore "diff - media" infatti risulta leggermente 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. È vero anche che specialmente questo coefficiente, dei tre trattati, è influenzato dalla numerosità dei dati che si hanno a disposizione, ragion per cui anche le considerazioni tratte possono essere solo indicative. In questo caso infatti la numerosità della serie in esame è di poco superiore al 40% 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 2021 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
Scuola "Ugo Guidi" - Forte dei Marmi		
Media delle medie giornaliere ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) – variazioni % rispetto a siti di rif.	20 (+33 %)	15
Massima media giornaliera ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	81 (15/12/2021)	53 (15/12/2021)
n. giorni validi	158	139
% giorni validi	99%	87%

Tabella 5.2.4.b – Dati di PM2,5 – indicatori annuali 2021 di LU-Viareggio

PM2,5 – INDICATORI ANNUALI 2021	LU-Viareggio
Media annuale ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	14
Massima media giornaliera ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	53 (15/12/2021)

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	ESTATE	AUTUNNO	INVERNO	PRIMAVERA
Scuola "Ugo Guidi" – Forte dei Marmi				
Media delle medie giornaliere ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	12	19	38	10
Massima media giornaliera ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	16 (21/06/2021)	43 (20/11/2021)	81 (15/12/2021)	17 (28/05/2022)
n. giorni validi	20	57	27	54
% giorni validi	100%	100%	96%	100%
media di LU-Viareggio sullo stesso periodo	11	13	25	10
Differenza % con LU-Viareggio sullo stesso periodo	9%	46%	52%	0%

Figura 5.2.4.a – Mappa con i valori delle concentrazioni medie di PM_{2,5} sulla campagna di misura annuale.

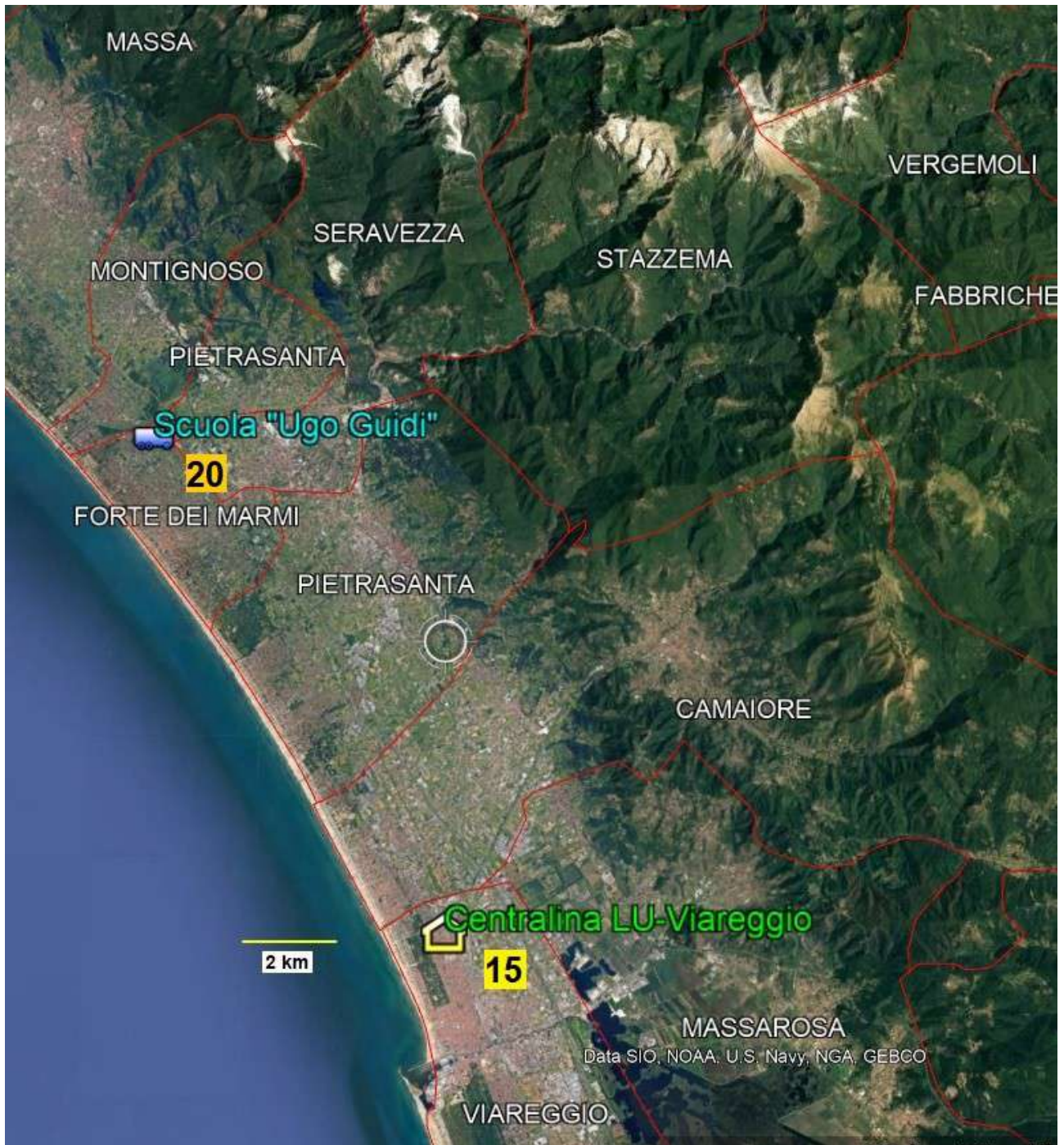
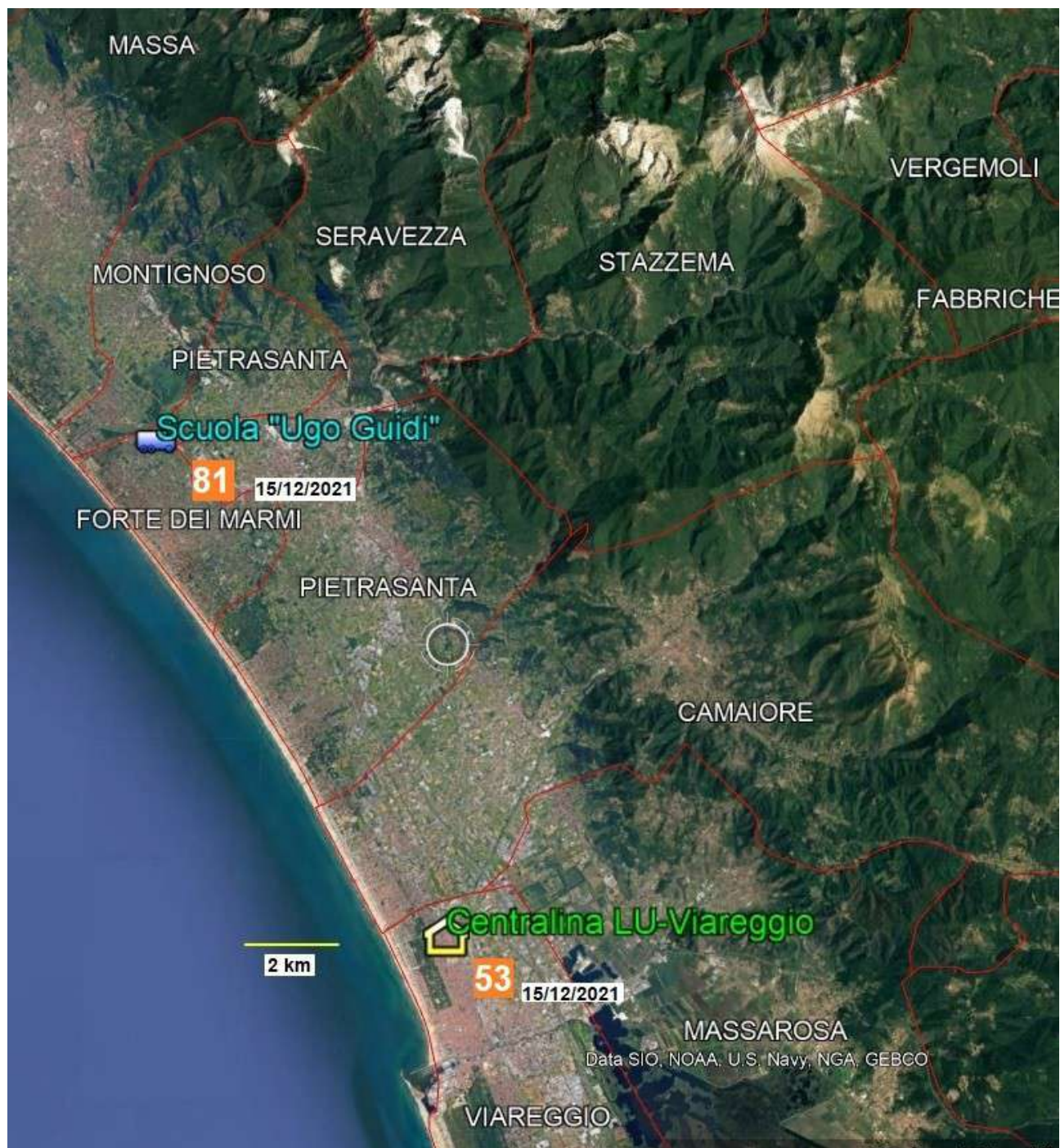


Figura 5.2.4.b – Mappa con i valori massimi e data delle concentrazioni giornaliere di PM_{2,5} registrate



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 dissimili: il valore riportato dal sito di FdM supera il valore registrato al sito di riferimento del 33% ($20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ contro $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$). La Tabella 5.2.4.a evidenzia che, seppur nel rispetto dei limiti, il valore medio di periodo più elevato si riscontra nella postazione oggetto di indagine.

Anche il valore medio sull'anno civile 2021 di LU-Viareggio rispetta ampiamente il valore limite

normativo ($14 \mu\text{g}/\text{m}^3$ su $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

Analogamente a quanto detto per il PM10, si rileva macroscopicamente sul panorama indicativo annuale, la preminenza dei valori dei dati giornalieri autunnali e soprattutto di quelli invernali del sito di FdM, su quelli dei corrispondenti giorni di LU-Viareggio.

Sempre in concordanza con quanto rilevato per il PM10, lo scarto percentuale dei valori medi stagionali del PM2,5 tra Forte dei Marmi e LU-Viareggio incrementa progressivamente dall'estate all'inverno 2021, passando da +9% a +52%, per poi assestarsi sul medesimo livello nella primavera 2022.

Per completezza si riportano di seguito nella Tabella 5.2.4.d i valori delle percentuali di frazione di PM_{2,5} rispetto al PM₁₀ 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_{2,5}.

Tabella 5.2.4.d – Dati di frazione % PM_{2,5}/PM₁₀ – percentuali medie per stagione (sugli stessi periodi di misura)

MEDIA DELLE FRAZIONI PER STAGIONE		
<i>FRAZIONI % PM_{2,5}/PM₁₀ SULLE STAGIONI</i>		
ESTATE	FdM – Scuola “Ugo Guidi”	54
	LU-Viareggio	52
AUTUNNO	FdM – Scuola “Ugo Guidi”	62
	LU-Viareggio	57
INVERNO	FdM – Scuola “Ugo Guidi”	73
	LU-Viareggio	66
PRIMAVERA	FdM – Scuola “Ugo Guidi”	47
	LU-Viareggio	50

A livello di campagna globale il valore medio della frazione percentuale PM_{2,5} su PM₁₀ nella campagna di misure a Forte dei Marmi si attesta su un valore del 59%. Sugli stessi periodi di misura, LU-Viareggio restituisce un valore di frazione analoga pari al 56%. Più sotto è riportato il 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 nelle stagioni autunnale e inverno, con i valori di Forte dei Marmi che superano dell'8 - 10% i corrispettivi di Viareggio, stagioni in cui tipicamente i valori di particolato atmosferico sono più importanti ed elevati. Anche in estate la frazione percentuale PM_{2,5} su PM₁₀ è più alta, seppure leggermente, rispetto a Viareggio (54% di FdM contro il 52% di Viareggio). In primavera LU-Viareggio mostra una frazione percentuale di poco maggiore rispetto a Forte dei Marmi (50% a Viareggio contro il 47% di FdM).

In linea generale, si rilevano in entrambi i siti di monitoraggio diversi giorni in cui la frazione percentuale PM_{2,5} / PM₁₀ estiva, autunnale e primaverile assume valori piuttosto bassi (intorno al 25%). 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 nella stagione autunnale (fenomeni simili che hanno dato luogo anche al superamento del VL giornaliero di PM₁₀ a Viareggio in data 8 e 9 aprile 2022). Ciò è comunque coerente con il fatto che entrambe le postazioni sono di fatto prossime 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

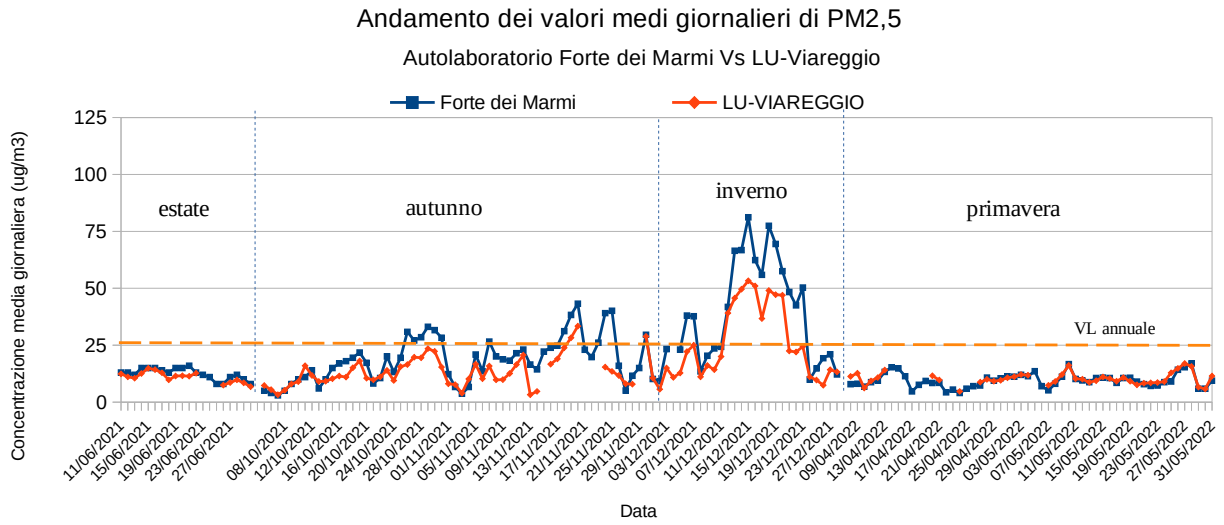


Grafico 5.2.4.b. confronto dell'andamento della frazione percentuale % PM2,5/PM10 nelle quattro stagioni, dall'estate del 2021 alla primavera 2022

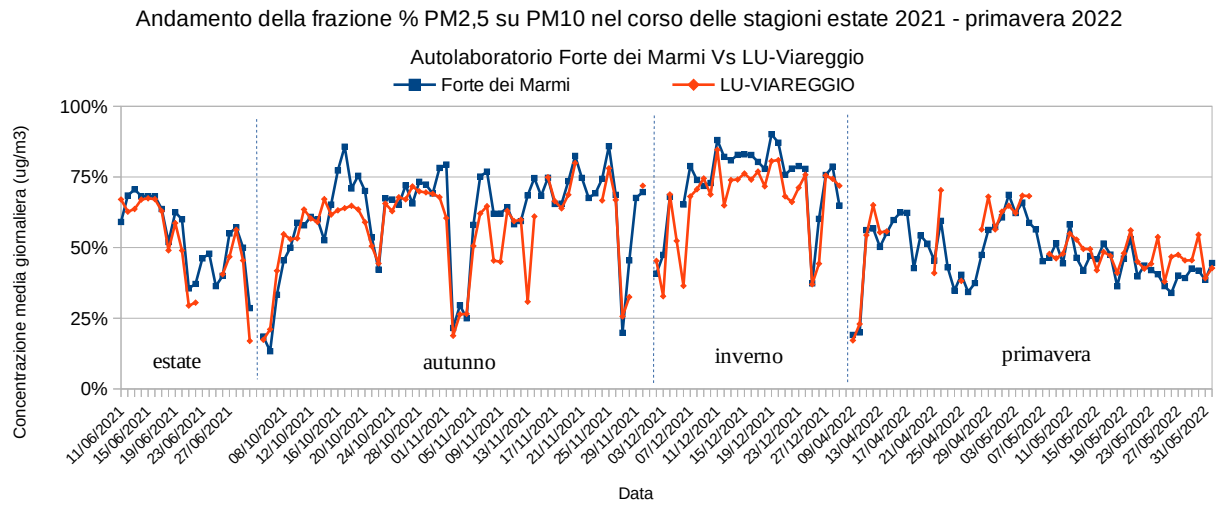


Tabella 5.2.4.g valori medi giornalieri PM2,5 nei periodi indagati – Forte dei Marmi - Scuola “Ugo Guidi” Vs. LU-Viareggio (in questa pagina: stagioni estiva e autunnale 2021)

Data	Forte dei Marmi PM2,5 (µg/m³)	LU-Viareggio PM2,5 (µg/m³)
11/06/2021	13	12
12/06/2021	13	11
13/06/2021	12	11
14/06/2021	15	13
15/06/2021	15	15
16/06/2021	15	14
17/06/2021	14	13
18/06/2021	13	10
19/06/2021	15	12
20/06/2021	15	12
21/06/2021	16	11
22/06/2021	13	13
23/06/2021	12	
24/06/2021	11	
25/06/2021	8	
26/06/2021	8	8
27/06/2021	11	9
28/06/2021	12	10
29/06/2021	10	9
30/06/2021	8	7
05/10/2021	5	7
06/10/2021	4	6
07/10/2021	3	3
08/10/2021	5	5
09/10/2021	8	8
10/10/2021	10	9
11/10/2021	11	16
12/10/2021	14	12
13/10/2021	6	9
14/10/2021	10	9
15/10/2021	15	10
16/10/2021	17	12
17/10/2021	18	11
18/10/2021	20	15
19/10/2021	22	18
20/10/2021	17	11
21/10/2021	8	10
22/10/2021	11	11
23/10/2021	20	14
24/10/2021	13	10
25/10/2021	20	16
26/10/2021	31	17
27/10/2021	27	20
28/10/2021	29	20
29/10/2021	33	24
30/10/2021	32	22
31/10/2021	28	15
01/11/2021	12	8
02/11/2021	7	8
03/11/2021	4	4
04/11/2021	7	10
05/11/2021	21	17
06/11/2021	14	10
07/11/2021	27	16
08/11/2021	20	10
09/11/2021	19	10
10/11/2021	18	13
11/11/2021	22	17
12/11/2021	23	21
13/11/2021	17	3
14/11/2021	14	5
15/11/2021	22	
16/11/2021	24	17
17/11/2021	25	19
18/11/2021	31	24
19/11/2021	38	28
20/11/2021	43	33
21/11/2021	23	
22/11/2021	20	
23/11/2021	26	
24/11/2021	39	15
25/11/2021	40	14
26/11/2021	16	12
27/11/2021	5	8
28/11/2021	12	8
29/11/2021	15	
30/11/2021	30	29

SEGUE Tabella 5.2.4.g – (di seguito: inverno 2021 e primavera 2022)

Data	Forte dei Marmi	LU-Viareggio
	PM2,5 (µg/m³)	PM2,5 (µg/m³)
01/12/2021	10	11
02/12/2021	9	6
03/12/2021	23	15
04/12/2021		11
05/12/2021	23	13
06/12/2021	38	22
07/12/2021	38	25
08/12/2021	14	11
09/12/2021	20	16
10/12/2021	24	14
11/12/2021	24	20
12/12/2021	42	39
13/12/2021	67	46
14/12/2021	67	50
15/12/2021	81	53
16/12/2021	62	51
17/12/2021	56	37
18/12/2021	78	49
19/12/2021	70	47
20/12/2021	58	47
21/12/2021	48	23
22/12/2021	43	22
23/12/2021	50	24
24/12/2021	10	11
25/12/2021	15	10
26/12/2021	19	7
27/12/2021	21	14
28/12/2021	12	13
08/04/2022	8	11
09/04/2022	8	13
10/04/2022	7	6
11/04/2022	9	9
12/04/2022	9	11
13/04/2022	13	14
14/04/2022	15	
15/04/2022	15	
16/04/2022	11	
17/04/2022	5	
18/04/2022	8	
19/04/2022	9	
20/04/2022	8	12
21/04/2022	9	10
22/04/2022	4	
23/04/2022	6	
24/04/2022	4	5
25/04/2022	6	
26/04/2022	7	
27/04/2022	7	9
28/04/2022	11	10
29/04/2022	9	9
30/04/2022	11	10
01/05/2022	11	11
02/05/2022	11	11
03/05/2022	12	12
04/05/2022	11	12
05/05/2022	14	
06/05/2022	7	
07/05/2022	5	7
08/05/2022	8	9
09/05/2022	11	12
10/05/2022	17	16
11/05/2022	10	10
12/05/2022	10	10
13/05/2022	9	9
14/05/2022	11	9
15/05/2022	11	11
16/05/2022	11	10
17/05/2022	9	9
18/05/2022	11	11
19/05/2022	11	9
20/05/2022	9	8
21/05/2022	8	8
22/05/2022	7	9
23/05/2022	7	9
24/05/2022	9	9
25/05/2022	9	13
26/05/2022	14	15
27/05/2022	15	17
28/05/2022	17	16
29/05/2022	6	7
30/05/2022	6	6
31/05/2022	9	12

Conclusioni

La seconda 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, NO₂ e CO, misurati nel sito "periferico - fondo" della Scuola "Ugo Guidi", evidenzia valori degli indicatori che rispettano ampiamente i limiti previsti dalla normativa vigente in materia di qualità dell'aria (D.Lgs. 155/2010) 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 31 µg/m³, superiore del 19% rispetto al valore medio di PM10, sugli stessi periodi, registrato dalla stazione di rete regionale LU-Viareggio presa a riferimento (26 µg/m³, sull'anno 2021 valore medio 24 µg/m³).

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 2021 (sono stati infatti rilevati 14 superamenti, al lordo di contributi di avvezione di polveri sahariane).

Per quanto riguarda il sito oggetto della presente campagna indicativa annuale, il valore riferito al 90,4° percentile è risultato pari a 51 µg/m³ quindi maggiore del VL giornaliero di 50 µg/m³. Negli stessi periodi delle campagne in esame e sull'intero anno civile 2021, la centralina di riferimento di Viareggio ha fatto registrare un valore relativo al 90,4° percentile calcolato di 41 µg/m³. In base alla numerosità dei dati analizzati e alla loro distribuzione sull'anno solare, si può ipotizzare in via indicativa che il limite normativo dei 35 superamenti del VL giornaliero PM10 per anno civile possa essere oltrepassato, tuttavia questo dato dipende dalla distribuzione dei campionamenti nei singoli periodi pertanto le conclusioni sono solo 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 20 µg/m³, superiore del 33% rispetto al valore medio sugli stessi periodi registrato alla centralina di LU-Viareggio (15 µg/m³). Sui periodi più significativi, quelli autunnale e invernale, l'indicatore media di periodo a FdM è superiore rispettivamente del 46% e del 52% rispetto al medesimo indicatore per LU-Viareggio. In primavera ed estate si nota invece una sostanziale uniformazione, così come accade per il PM10.

Va osservato che rispetto alla prima indagine, riguardante la Scuola "Giorgini" in centro a Forte dei Marmi, il sito periferico della Scuola "Ugo Guidi" ha fornito risultati dei medesimi indicatori di periodo che si discostano maggiormente dal riferimento di LU-Viareggio, per quanto riguarda il PM10 e PM2,5.

Seppure in misura minore, è stato inoltre osservato, sempre in rapporto alla precedente campagna indicativa, un discreto incremento degli indicatori propri del biossido di azoto (NO₂) e del CO in rapporto ai rispettivi siti di riferimento regionali (LU-Viareggio e LI-Carducci).

ALLEGATO A: grafici dei valori medi orari di biossido di azoto (NO₂) e monossido di carbonio (CO)

Grafico A.1 – Andamento dei valori medi orari di NO₂ – stagione estiva

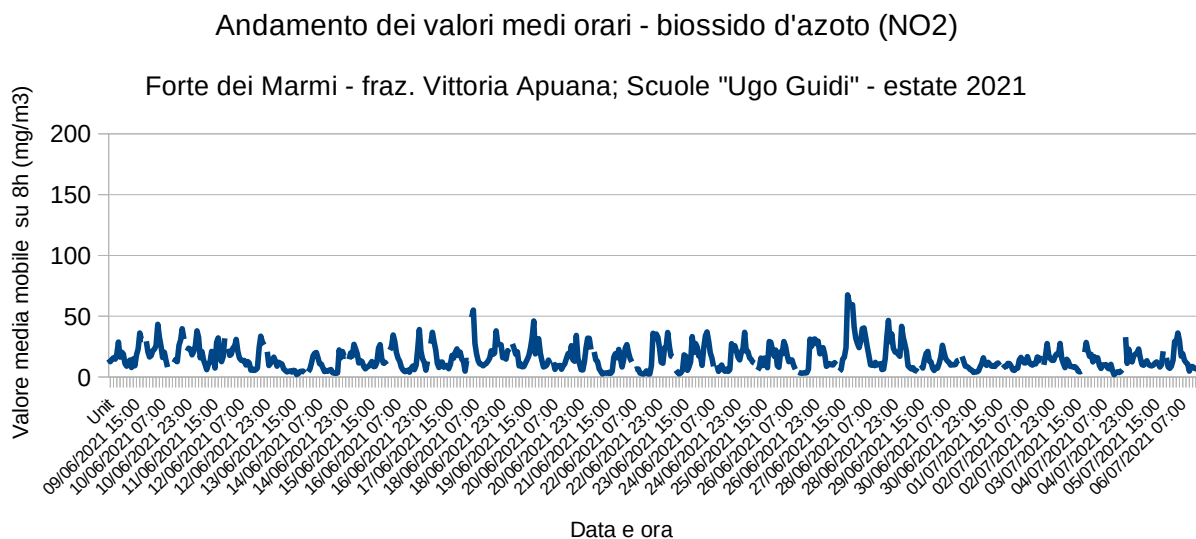
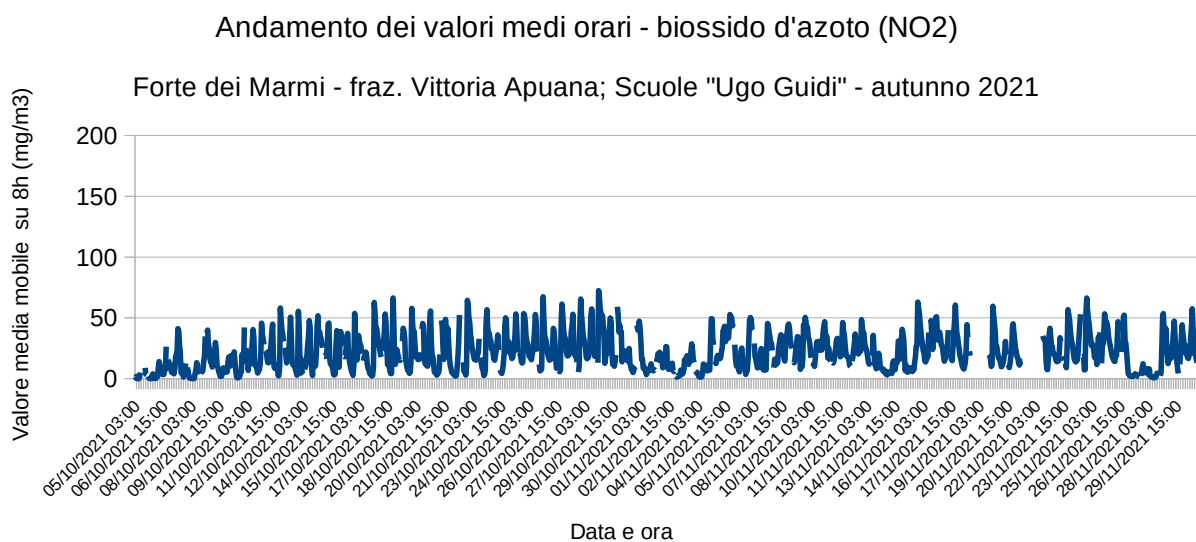


Grafico A.2 – Andamento dei valori medi orari di NO₂ – stagione autunnale



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

Grafico A.3 – Andamento dei valori medi orari di NO₂ – stagione invernale

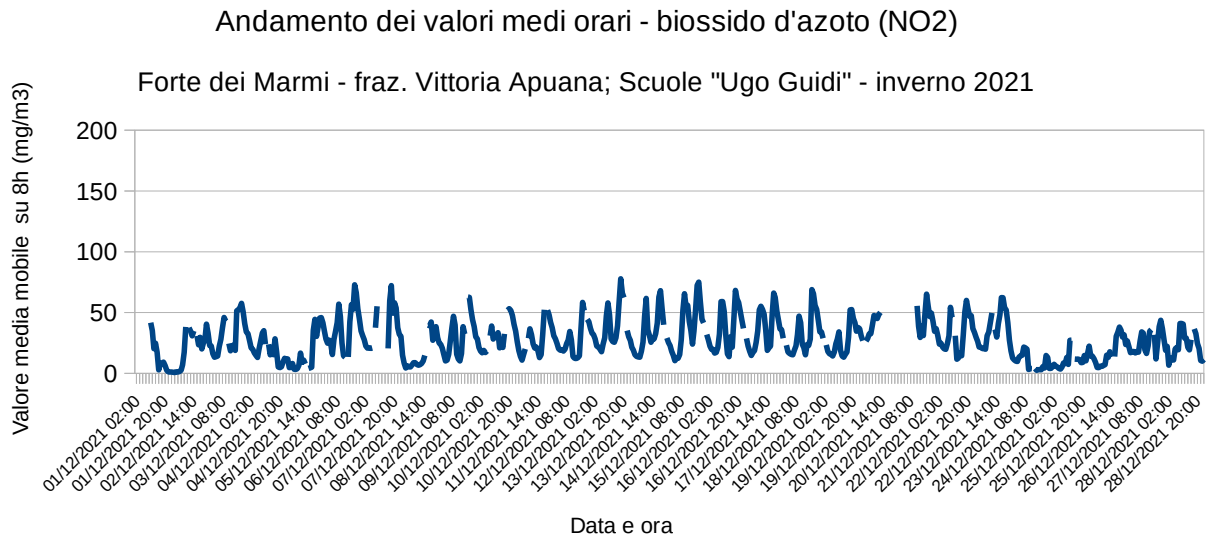
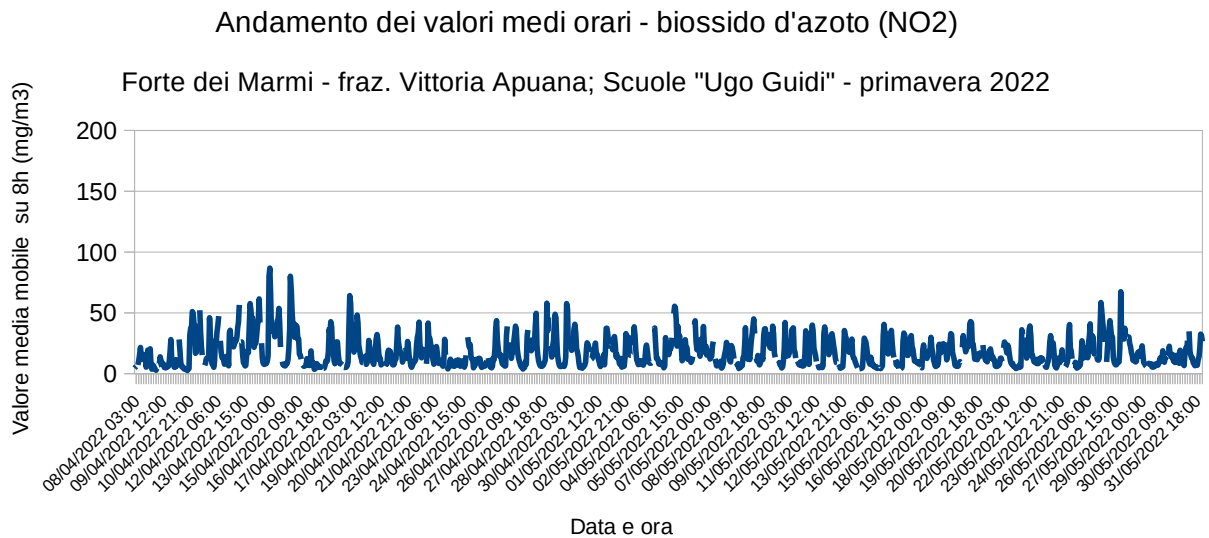


Grafico A.4 – Andamento dei valori medi orari di NO₂ – stagione primaverile



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

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

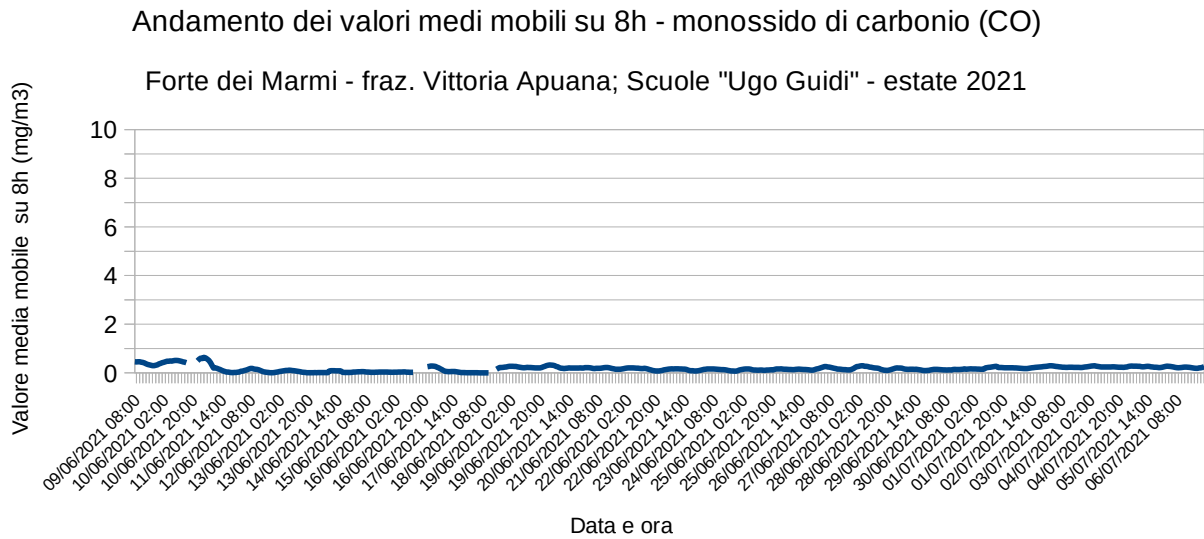
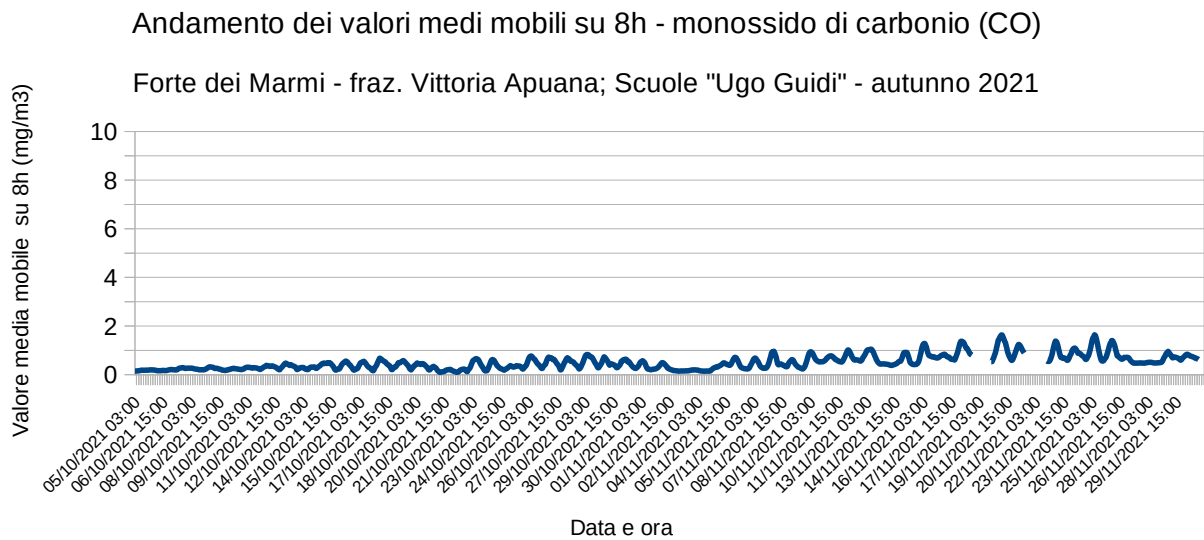


Grafico A.6 – Andamento dei valori orari mobili su 8h di CO – autunno



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

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

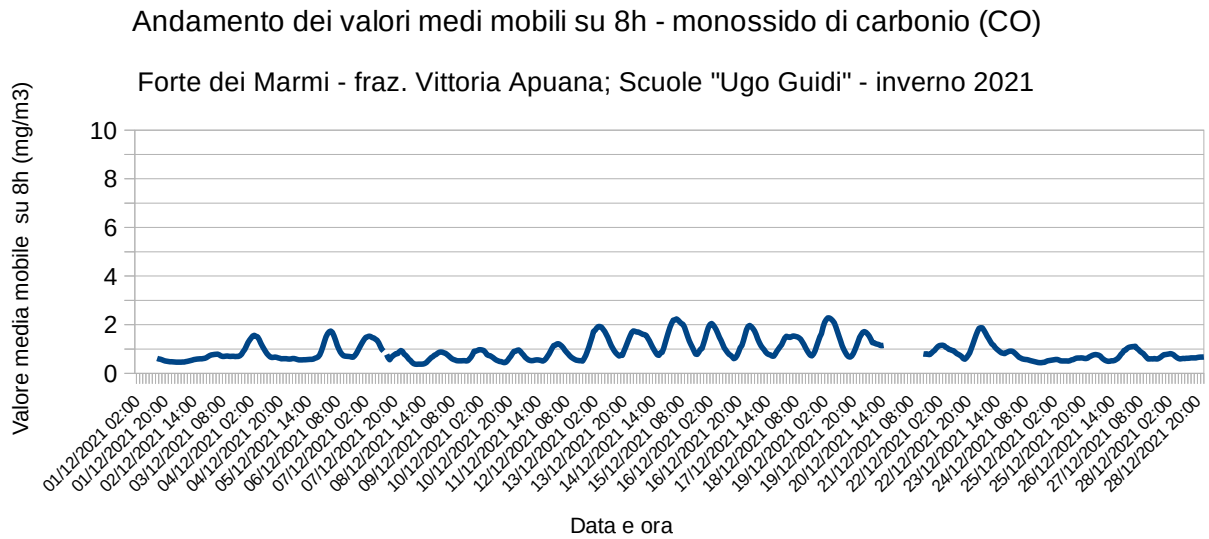
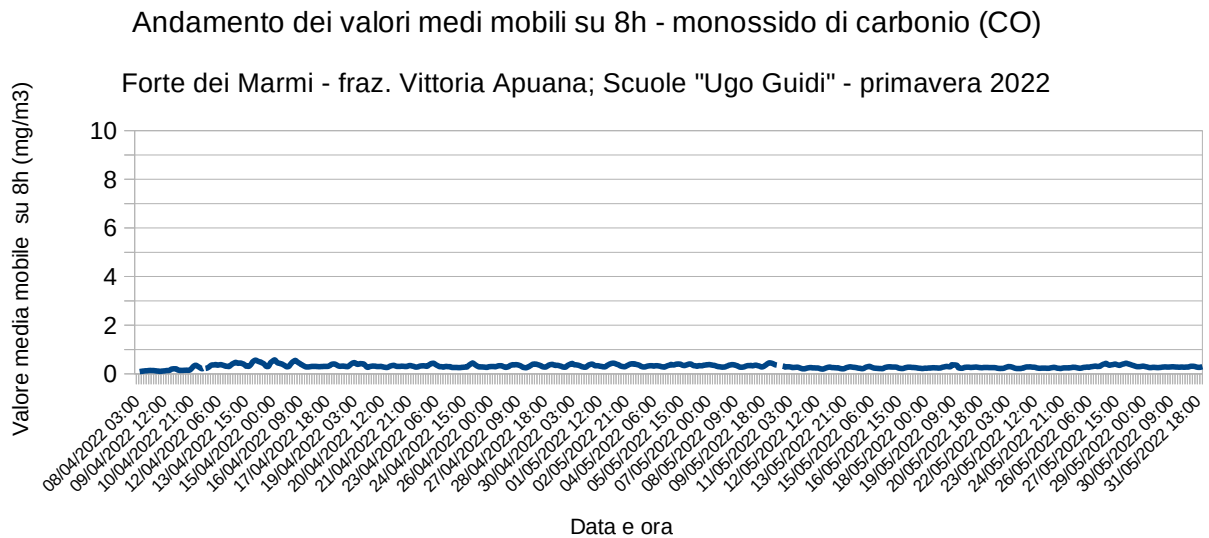


Grafico A.8 – Andamento dei valori orari mobili su 8h di CO – primavera



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 NO₂ a Forte dei Marmi – Scuola “Ugo Guidi” – stagione estiva 2021

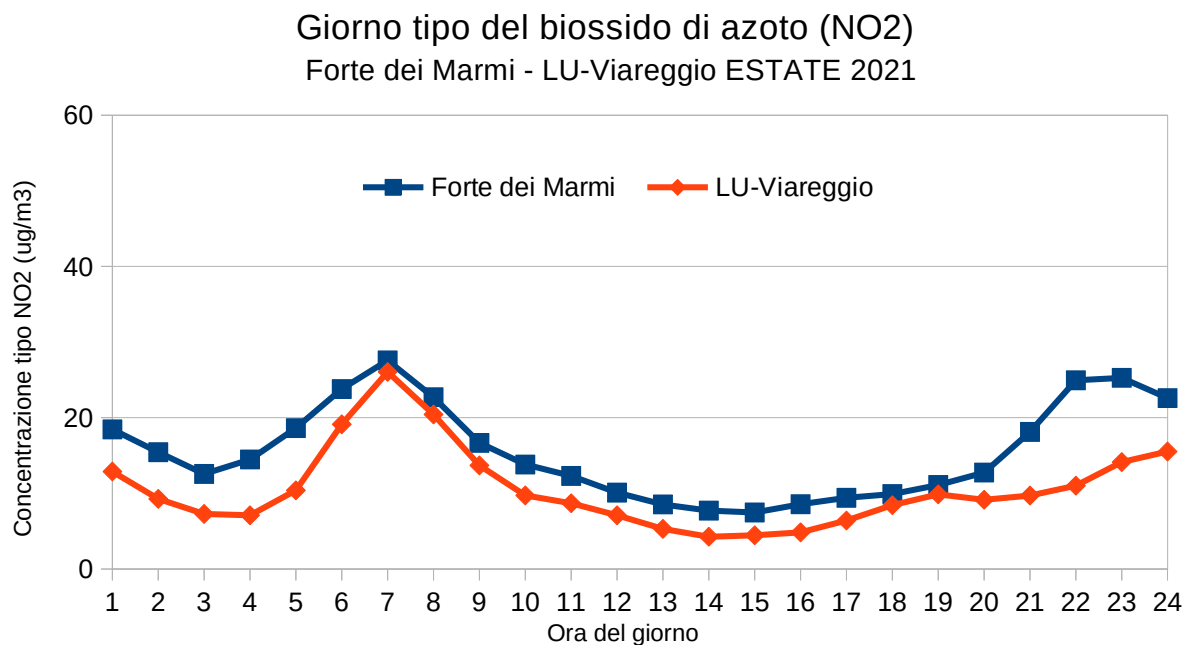
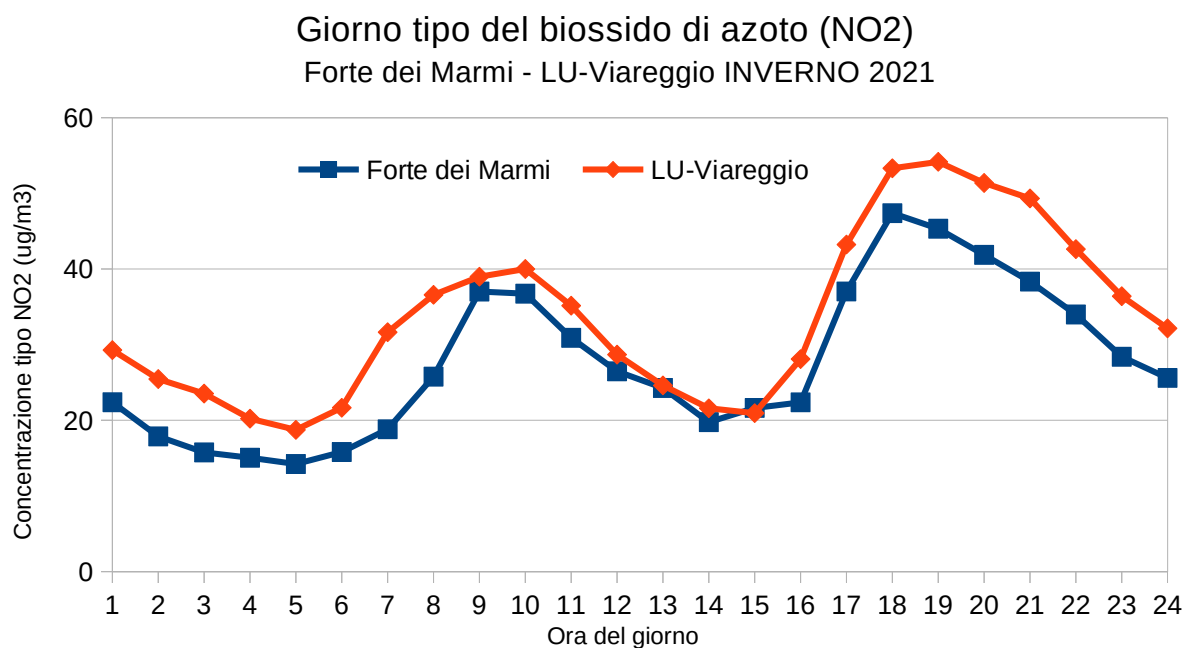


Grafico B.2 – Giorno tipo di NO₂ a Forte dei Marmi – Scuola “Ugo Guidi” – stagione invernale 2021



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

σ_{xy} è la covarianza tra X e Y

σ_x, σ_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 $b < 0$).