



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

presso il sito di:

***Scuola dell'Infanzia "Cesare Giorgini"
Via Bruno Di Ciolo***

Campagna indicativa di rilevamento con
Autolaboratorio-CJ845CC

Periodo:
8 luglio 2019 – 31 marzo 2020

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

Aprile 2020

REPORT





PROVINCIA DI LUCCA – COMUNE DI FORTE DEI MARMI

RELAZIONE CAMPAGNA DI RILEVAMENTO INDICATIVA CON AUTOLABORATORIO TARGATO CJ845CC

1) Via Bruno Di Ciolo, Scuola dell'infanzia "Cesare Giardini" - Forte dei Marmi

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, realizzate per mezzo di un laboratorio mobile tra il luglio 2019 e fine marzo 2020 nel territorio comunale di Forte dei Marmi (LU), presso le pertinenze della Scuola dell'Infanzia "Giorgini", nell'ambito di una convenzione triennale tra ARPAT e il Comune, ha fornito un quadro ambientale esauriente. 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 inferiori alla metà del 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 di poco superiori a quelli registrati nel sito di riferimento di LU-Viareggio (+7% sul valore medio di PM10 sul periodo dell'intera campagna).

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 45 µg/m³, quindi inferiore al VL giornaliero di 50 µg/m³, che è indicato dalla normativa vigente come limite per il possibile superamento di 35 superamenti del VL giornaliero ammessi per anno civile.

Per quanto attiene il PM2,5 il VL annuale previsto dalla normativa vigente è stato rispettato. Analogamente agli indicatori di periodo del PM10 si osservano valori leggermente più elevati nel sito di Forte dei Marmi rispetto al sito di riferimento di LU-Viareggio (+5%).

SOMMARIO

SINTESI.....	3
.....	4
1. INTRODUZIONE.....	5
2. DESCRIZIONE DEI SITI DI MISURA.....	6
3. PARAMETRI E METODI.....	9
4. LIMITI NORMATIVI.....	10
5. RISULTATI.....	12
5.1 STANDARDIZZAZIONE.....	12
5.2 VALORI DEGLI INDICATORI.....	12
5.2.1 <i>Biossido di azoto (NO₂)</i>	14
5.2.2 <i>Monossido di carbonio (CO)</i>	16
5.2.3 <i>Polveri PM₁₀</i>	18
5.2.4 <i>Polveri PM_{2,5}</i>	29
CONCLUSIONI.....	36
ALLEGATO A: DATI METEOROLOGICI.....	37
ALLEGATO B: GRAFICI DEI VALORI MEDI ORARI DI BIOSSIDO DI AZOTO (NO₂) E MONOSSIDO DI CARBONIO (CO).....	41
ALLEGATO C: GIORNO TIPO DEL BIOSSIDO DI AZOTO (ESTATE / INVERNO) E CONFRONTI CON LU-VIAREGGIO SUGLI STESSI PERIODI.....	45
ALLEGATO D: 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 dell'autolaboratorio CJ845CC dell'ARPAT relativa alla prima campagna di misure annuale, con durata dall'8 luglio 2019 al 31 marzo 2020, 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 D.D.078/2019.

La presente indagine si configura come la prima 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 processo PG.SG.17 "Monitoraggio della qualità dell'aria mediante reti di rilevamento". Tale sistema di gestione di ARPAT è certificato dal 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 dell'Infanzia "Giorgini", Via Bruno Di Ciolo, nel centro cittadino a circa 600 metri dal litorale; coordinate Gauss – Boaga: Nord 4868120; Est 1594014. In base all'Allegato 3 del D.Lgs. 155/2010, il sito può essere classificato come una postazione di tipo "urbana – 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)

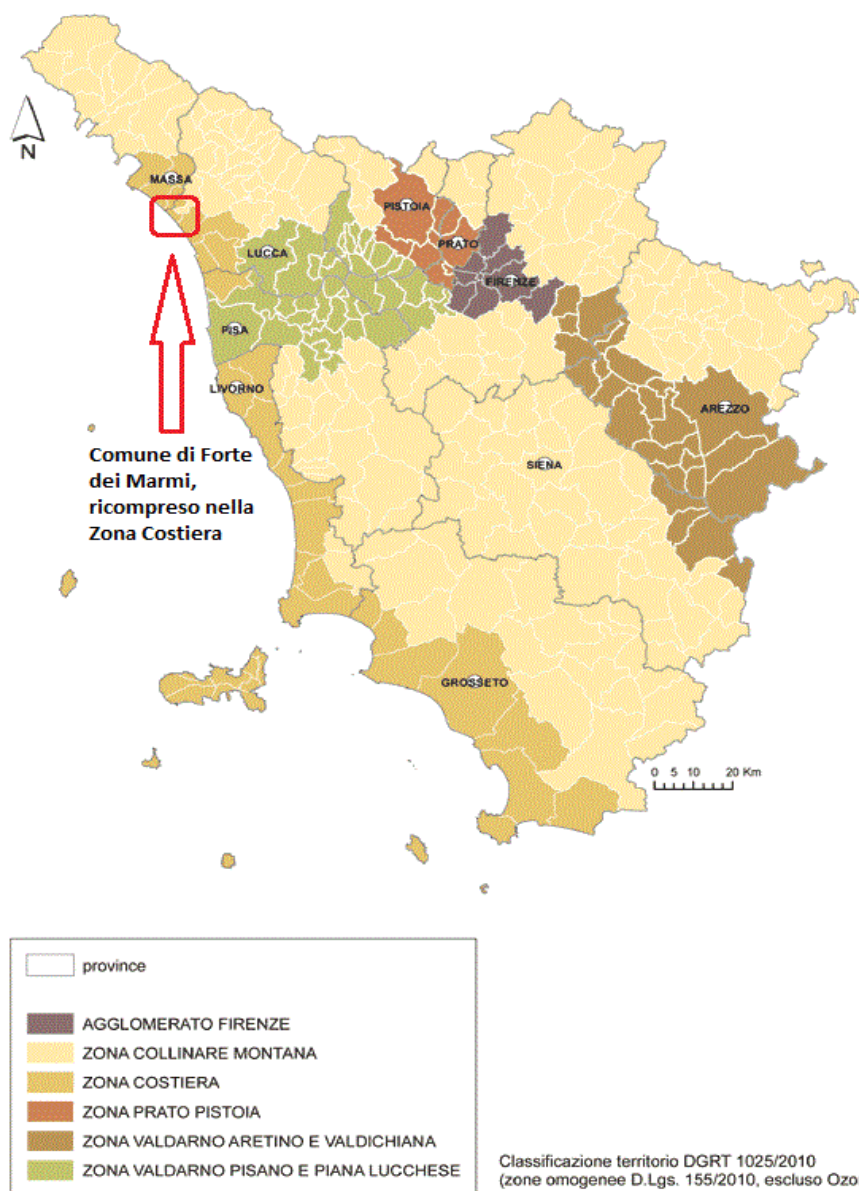


Figura 2.2 Mappa della provincia di Lucca con localizzazione in rosso del territorio comunale di Forte dei Marmi

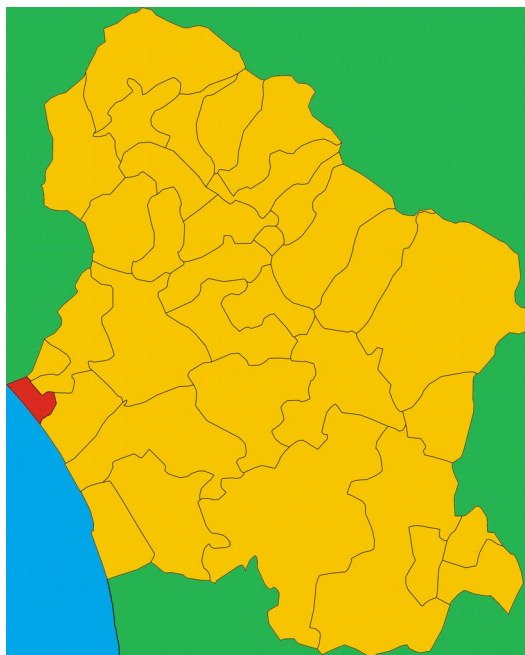
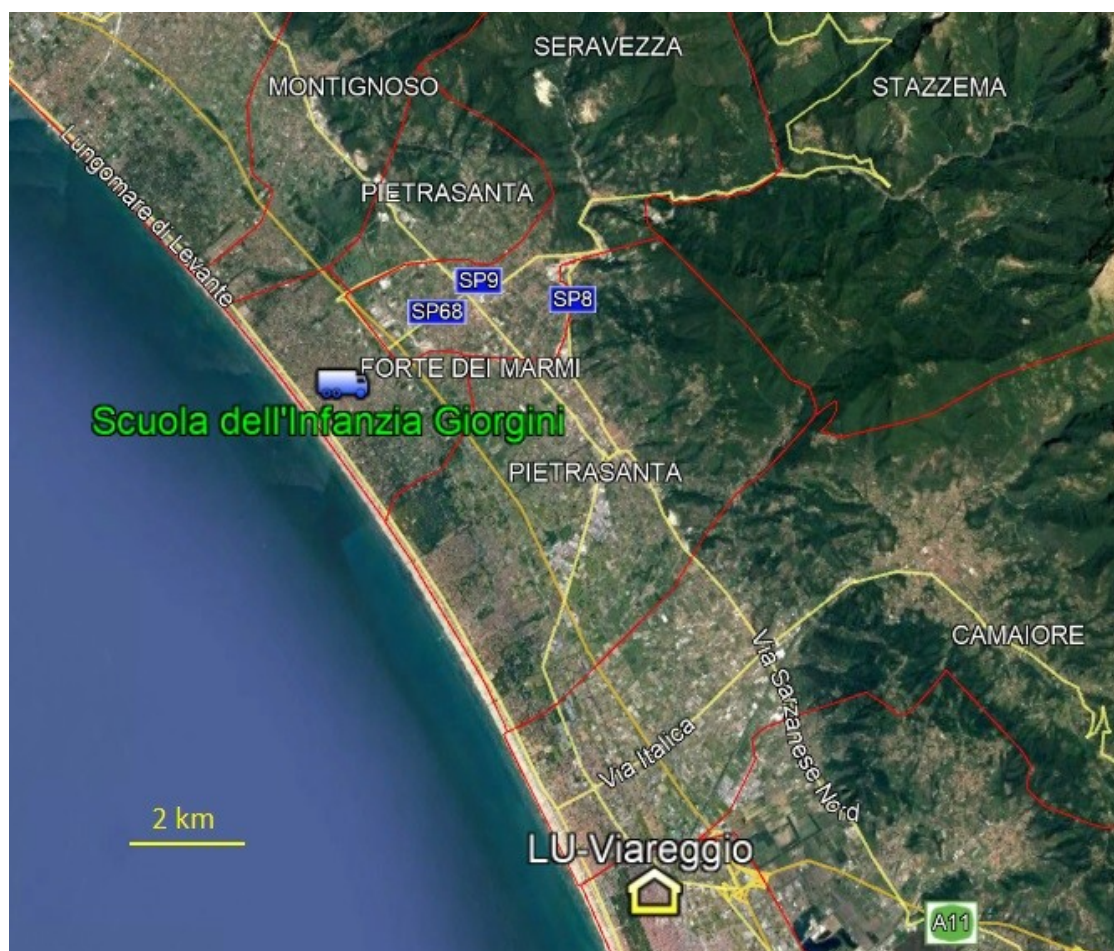


Figura 2.3 Panoramica del sito di monitoraggio nel contesto versiliese ed evidenza del sito fisso regionale di riferimento (LU-Viareggio)



[illegible]

Pag. 8 di 46

3. Parametri e Metodi

Nella tabella 3.1 è fornita una descrizione degli inquinanti monitorati dall'autolaboratorio impiegato, in accordo con la convenzione stipulata:

Tabella 3.1 – Inquinanti monitorati da autolaboratorio CJ845CC:

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:

Inquinante	Marca modello	Principio Metodo	Limite Rivelabilità	Precisione
NO _x	API 200E	Chemiluminescenza UNI EN 14211:2012	0,7 µg/m ³	0,5% della lettura
CO	API 300	Assorbimento Radiazione Infrarossa UNI EN 14626:2012	0,06 mg/m ³	0,1 mg/m ³
PM10/PM2,5	FAI Hydra Dual Channel	Campionamento gravimetrico su membrane filtranti UNI UNI EN 12341:2014	---	---

Sull'autolaboratorio sono installati anche i sensori per la misura della velocità del vento (VV) e per la determinazione della provenienza dei fenomeni ventosi (DV), i cui dati sono riportati in Allegato A.

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/m³ PM10 da non superare più di 35 volte per anno civile
Valore limite annuale per la protezione della salute umana	Anno civile	40 µg/m³ 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/m³ PM2,5

5. RISULTATI

Tra luglio 2019 e marzo 2020, è stata svolta la campagna di misure indicativa presso la Scuola dell'Infanzia "Giorgini" a Forte dei Marmi.

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

	ESTATE			AUTUNNO					INVERNO			PRIMAVERA			Totale giorni campionamento	Totale ore teoriche campionamento
Parametri monitorati	Inizio	Fine	n. giorni	Inizio	Fine	Inizio	Fine	n. giorni	Inizio	Fine	n. giorni	Inizio	Fine	n. giorni		
NO _x	8-lug-19	27-lug-19	20	18-ott-19			13-nov-19	27	11-gen-20	2-feb-20	23	7-mar-20	31-mar-20	25	95	2280
CO	8-lug-19	27-lug-19	20	18-ott-19	28-ott-19	6-nov-19	13-nov-19	19	11-gen-20	2-feb-20	23	7-mar-20	31-mar-20	25	87	2088
PM10, PM2.5	8-lug-19	27-lug-19	20	18-ott-19			5-nov-19	19	11-gen-20	30-gen-20	20	7-mar-20	26-mar-20	20	79	

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 due settimane 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: **dall'8 al 27 luglio 2019;**
- autunno: **dal 18 ottobre al 13 novembre 2019;**
- inverno: **dall'11 gennaio al 2 febbraio 2020;**
- primavera: **dal 7 al 31 marzo 2020;**

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 rispetto alle postazioni 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. Il confronto è puramente indicativo, dato che i volumi di traffico che interessano il sito regionale labronico sono molto più significativi rispetto a quelli attinenti al sito in esame e meno influenzati dalla stagionalità tipica della riviera versiliese. Nonostante la vicinanza al litorale, il sito non risente in maniera prevalente del traffico sui viali a mare. Sono stati inoltre riportati sinteticamente, a livello conoscitivo, gli indicatori sull'anno di riferimento 2019 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 dell'Infanzia "Giorgini" – Forte dei Marmi		
Media delle medie orarie (µg/m ³) – variazione % rispetto a sito di rif.	17 (-25%)	23
Massima media oraria (µg/m ³)	72 (22/01/2020 ore 18)	99 (22/01/2020 ore 20)
n. ore valide	2168	2180
% ore valide	95%	96%
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 VL orario da non superare più di 18 volte in un anno. I valori medi orari sono inferiori a quelli del sito di riferimento di LU-Viareggio, i cui valori sono comunque sempre inferiori al valore limite orario di 200 µg/m³. Anche il massimo valore orario è inferiore a quello di LU-Viareggio (99 µg/m³ sul periodo e cfr. Tabella 5.2.1.c anno 2019: 118 µg/m³).

L'indicatore media sul periodo è inferiore all'analogo indicatore calcolato sugli stessi periodi nel sito fisso di LU-Viareggio. Infatti il valore medio delle medie orarie sui periodi è pari a 17 µg/m³, circa il 25% inferiore sia rispetto al valore medio annuale 2019 registrato nel sito fisso di Rete regionale di riferimento (24 µg/m³) sia al valore medio sugli stessi periodi della stessa centralina LU-Viareggio (24 µg/m³).

Da notare che questo indicatore è inferiore alla metà del valore limite previsto dalla normativa (17 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 dell'Infanzia "Giorgini" – Forte dei Marmi				
Media delle medie orarie (µg/m ³)	13	14	28	13
Massima media oraria (µg/m ³)	50 (24/07/2019 ore 7)	59 (23/10/2019 ore 19)	72 (22/01/2020 ore 18)	58 (08/03/2020 ore 20)
n. ore valide	458	619	521	570
% ore valide	95%	96%	94%	95%
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 2019 di LU-Viareggio:

NO2 – INDICATORI ANNUALI 2019	LU-Viareggio
Media annuale (µg/m ³)	24
Massima media oraria (µg/m ³)	118 (03/03/2019 ore 20)
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 C 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 parte analizzando 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.

Nel sito della Scuola Giorgini, in estate si nota un picco mattutino attorno ai $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ alle ore 7. Intorno alle ore 17 e alle ore 22 vi sono due massimi locali poco evidenti con valori di concentrazione molto bassi ($14 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e $16 \mu\text{g}/\text{m}^3$ rispettivamente).

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 mattutino (ore 10) e serale (ore 19), entrambi attorno a $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Per quanto riguarda il confronto con il sito di misura fisso di LU-Viareggio in estate si nota una curva che da metà mattinata al tardo pomeriggio mostra valori inferiori a quelli del sito in esame, ma che presenta valori preminenti nei dintorni del picco mattutino e serale, con orari non sempre coincidenti con quelli di Forte dei Marmi: il picco mattutino a Viareggio è raggiunto alle ore 7 come nel sito in esame, ma il valore a Forte dei Marmi è circa il 33% inferiore ($23 \mu\text{g}/\text{m}^3$ contro $35 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Il picco serale a Viareggio è alle ore 24 e si aggira sui $26 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

In inverno il picco mattutino registrato a LU-Viareggio è alle ore 9 e si attesta sui $46 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (contro i $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ di FdM per uno scarto percentuale di -13% rispetto a Viareggio). Il picco serale è alle 19, come a Forte dei Marmi, ma si aggira sui $56 \mu\text{g}/\text{m}^3$ contro i $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ del sito della Scuola Giorgini (scarto percentuale tra i due siti -29%). Per quanto riguarda le ore centrali del giorno si vede una sostanziale analogia tra i due siti, mentre per la serata, la notte e il primo mattino LU-Viareggio mostra sicuramente valori sempre più elevati.

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

	Limiti di riferimento	Autolaboratorio Forte dei Marmi	LI-Carducci
Dati validi (medie orarie); n°		2008 (96% sul periodo)	2007
Max. valore medio orario rilevato nel periodo (mg/m ³)	-	1,7 (18/03/2020 ore 23)	2,9 (17/01/2020 ore 9)
Media delle concentrazioni orarie (mg/m ³)	-	0,4	0,5
Max. valore medio orario mobile di 8h > 10 mg/m ³ N°/anno superamenti consentiti	Nessun superamento consentito	n° superamenti = 0 (max rilevato il 26/01/2020 ore 2: 1,3 mg/m ³)	n° superamenti = 0 (max rilevato il 24/01/2020 ore 0: 1,8 mg/m ³)

Tabella 5.2.2.2 – Dati di CO - indicatori stagionali per il sito di misura della Scuola Giorgini:

CO	ESTATE	AUTUNNO	INVERNO	PRIMAVERA
Scuola dell'Infanzia “Giorgini” – Forte dei Marmi				
Massima media oraria (mg/m ³)	0,7 (23/07/2019 ore 16)	1,6 (26/10/2019 ore 21)	1,6 (25/01/2020 ore 22)	1,7 (18/03/2020 ore 23)
Massima media mobile su 8h (mg/m ³)	0,4 (24/07/2019 ore 13 +)	1,1 (27/10/2019 ore 2)	1,3 (26/01/2020 ore 2)	1,2 (19/03/2020 ore 3)
Media oraria (mg/m ³)	0,2	0,4	0,5	0,5
n. ore valide	458	450	529	571
% ore valide	95%	99%	96%	95%
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 (1,3 mg/m³ su 10 mg/m³).

Si vede subito da un confronto diretto di Tabella 5.2.2.1 che tutti gli indicatori di Forte dei Marmi sono inferiori a quelli mostrati sugli stessi periodi di misura da LI-Carducci; sia i valori sul lungo periodo, la media (-20%), che il valore medio mobile trascinata su 8 ore, che è l'unico indicatore con effetto normativo (-28%), che il valore massimo orario (-41%).

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. In particolare, l'indicatore di valore orario massimo è stato raggiunto in primavera (1,7 mg/m³). Il valore massimo orario trascinata su 8h è stato raggiunto in inverno (1,3 mg/m³).

A livello puramente indicativo, in Tab. 5.2.2.3 si riporta il confronto, riferito all'anno civile 2019, 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 gli indicatori più 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 2019 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	4,5	2,5	0,5
PI-Borghetto	Pisa		Zona Valdarno pisano e Piana lucchese	2,2	1,9	0,5
FI-Gramsci	Firenze		Agglomerato fiorentino	5,6	4,5	0,8
AR-Repubblica	Arezzo		Valdarno aretino e Val di Chiana	2,7	1,6	0,3
PO-Ferrucci	Prato		Zona Prato Pistoia	2,6	2,0	0,3
SI-Bracci	Siena		Zona collinare e montana	1,6	1,1	0,3

In Allegato B vengono riportati i grafici dei valori medi orari mobili su 8h registrati a Forte dei Marmi in ogni stagione (B.5 – B.8); si evince che l'andamento delle oscillazioni è più marcato e regolare nelle stagioni invernale e primaverile, con valori massimi comunque sempre inferiori o 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
Scuola dell'Infanzia "Giorgini" - Forte dei Marmi		
Media delle medie giornaliere ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) – variazione % rispetto a sito di rif.	28 (+ 7%)	26
Massima media giornaliera ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	68 (24 e 29/01/2020)	67 (29/01/2020)
n. giorni validi	79	79
% giorni validi	100%	100%
90,4° percentile (da confrontare con VL giornaliero)	45	41
n. giorni con concentrazione maggiore di $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$	7	2

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

PM10	ESTATE	AUTUNNO	INVERNO	PRIMAVERA
Scuola dell'Infanzia "Giorgini" – Forte dei Marmi				
Media delle medie giornaliere ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	23	24	38	26
Massima media giornaliera ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	33 (08, 09/07/2019)	55 (04/11/2019)	68 (24 e 29/01/2020)	62 (18/03/2019)
n. giorni validi	20	19	20	20
% giorni validi	100%	95%	100%	100%
n. giorni con concentrazione maggiore di $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$	0	1	5	1
media di LU-Viareggio sullo stesso periodo	19	21	37	27
Differenza % con LU-Viareggio sullo stesso periodo	21%	14%	3%	-4%

Tabella 5.2.3.c – Dati di PM10 – indicatori annuali riferiti al 2019 di LU-Viareggio

PM10 – INDICATORI ANNUALI 2019	LU-Viareggio
Media annuale ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	24
Massima media giornaliera ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	70 (08/01/2019)
n. superamenti del VL giornaliero di $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$	11
90,4° percentile ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) calcolato sull'anno civile	41

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).

Anche il valore limite sulla media giornaliera, espresso come valore relativo al 90,4° percentile, rispetta il limite di $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$. In base alle indicazioni della normativa si può ipotizzare il rispetto del limite dei 35 superamenti ammessi per anno civile anche in queste postazioni. 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 2019 ha 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 2019

coincide con il valore calcolato sui periodi della campagna indicativa di FdM.

Tale indicatore di periodo per il sito della Scuola Giorgini ($45 \mu\text{g}/\text{m}^3$) risulta superiore 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.

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.

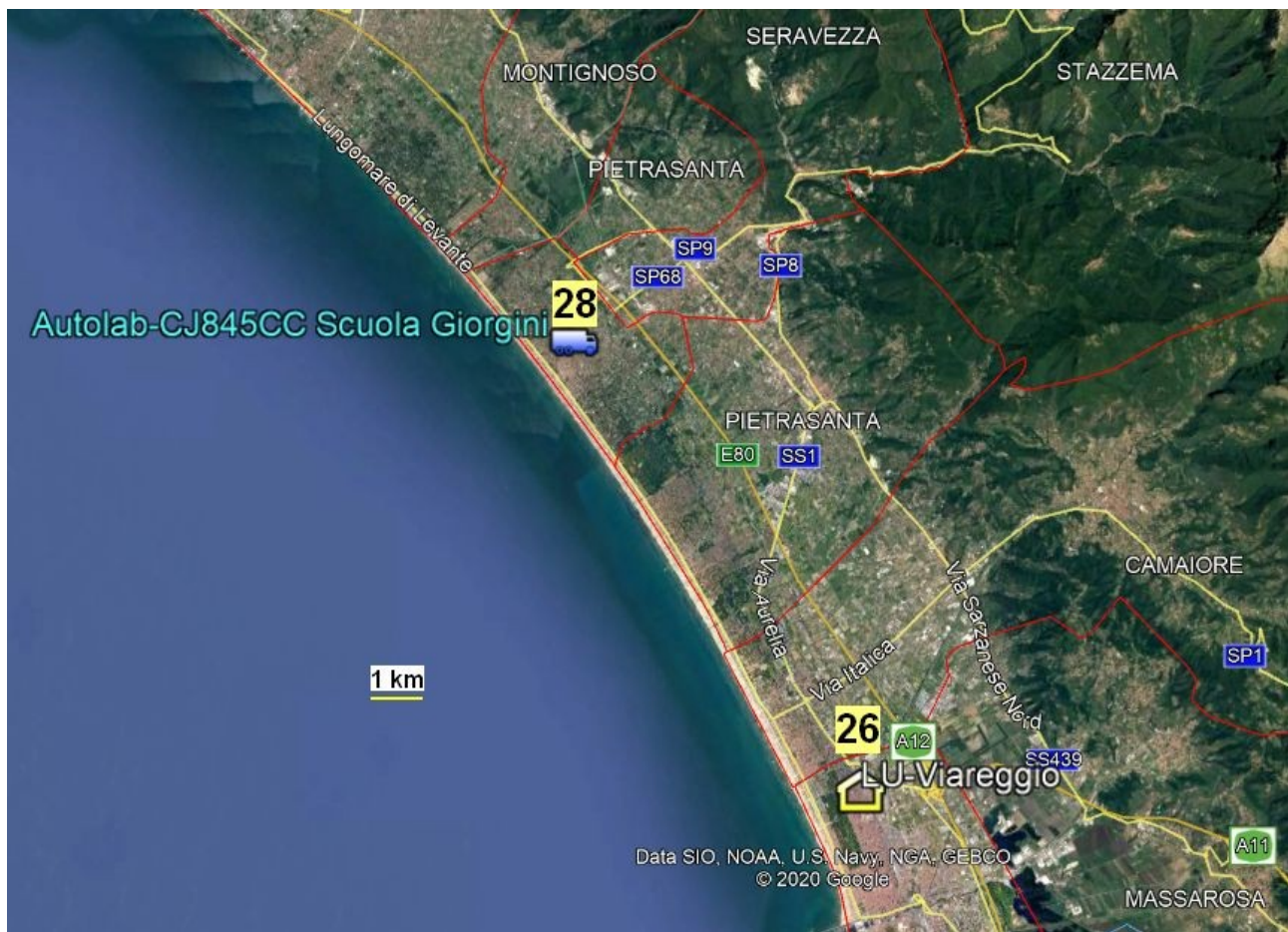
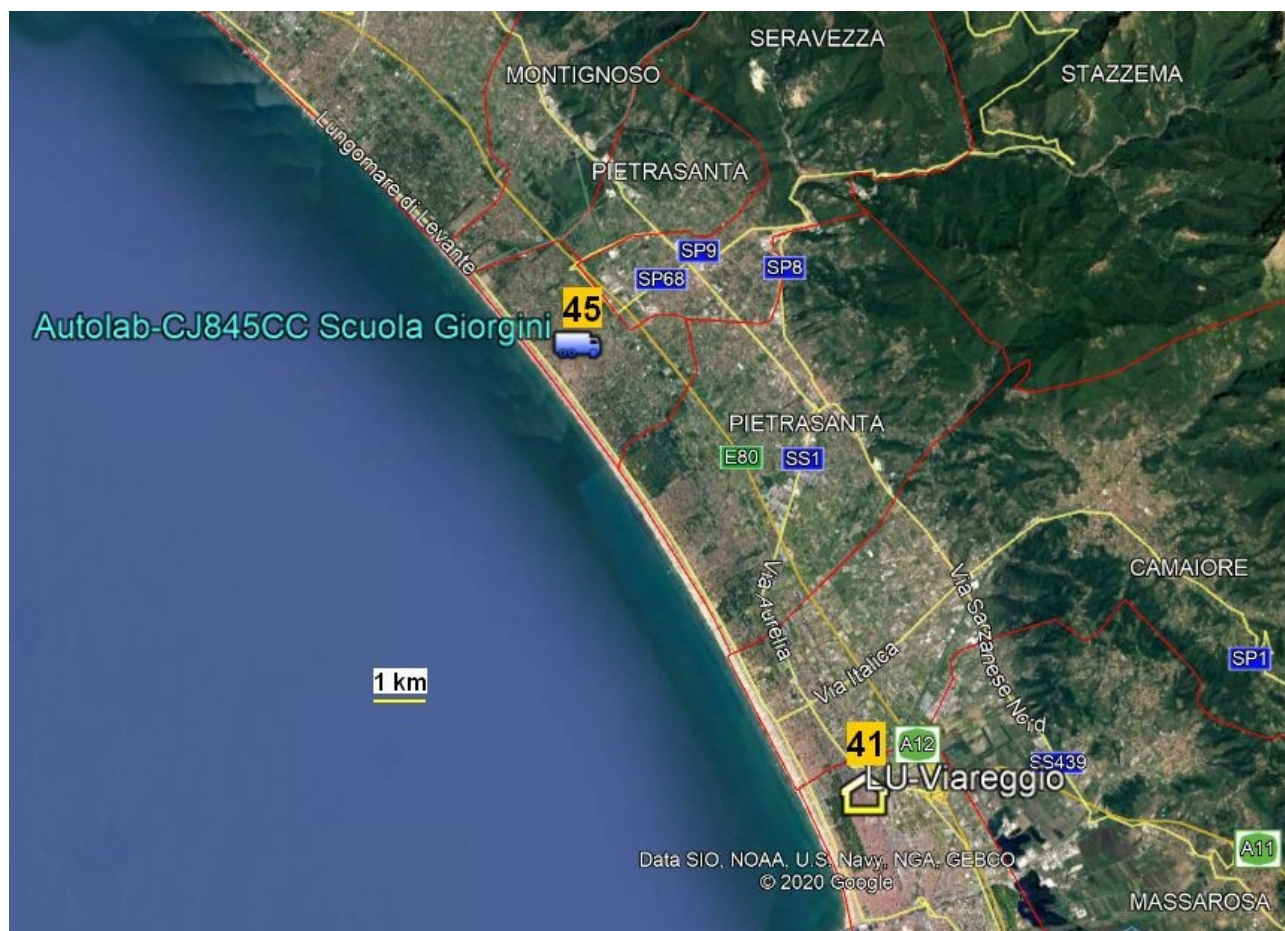


Figura 5.2.3.b – Mappa con i valori relativi al 90,4° percentile, espressi in $\mu\text{g}/\text{m}^3$, nel sito di misura di FdM. Per LU-Viareggio è stato considerato l'indicatore 90,4° percentile sugli stessi periodi di misura che coincide con il valore calcolato su tutti i dati di PM10 riferiti all'anno civile 2019.



Sui valori stagionali di Tabella 5.2.3.b, il sito in esame mostra un solo valore inferiore del 4% rispetto al valore medio di LU-Viareggio sullo stesso periodo in primavera.

Tutti gli altri valori medi stagionali di PM10 sono superiori a quelli registrati a LU-Viareggio nei medesimi periodi, anche se scorrendo dall'estate 2019 all'inverno 2020 si nota una attenuazione progressiva dello scarto percentuale sulla differenza; vale a dire che nel caso dell'estate 2019 la differenza percentuale tra i due siti per questo indicatore (+21% rispetto a indicatore su medesimo periodo registrato a LU-Viareggio) è assai più marcata che in inverno 2020 (+3% rispetto a LU-Viareggio). In autunno 2019 l'indicatore valore medio PM10 sul periodo a Forte dei Marmi è maggiore del 14% rispetto a quello calcolato per LU-Viareggio.

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

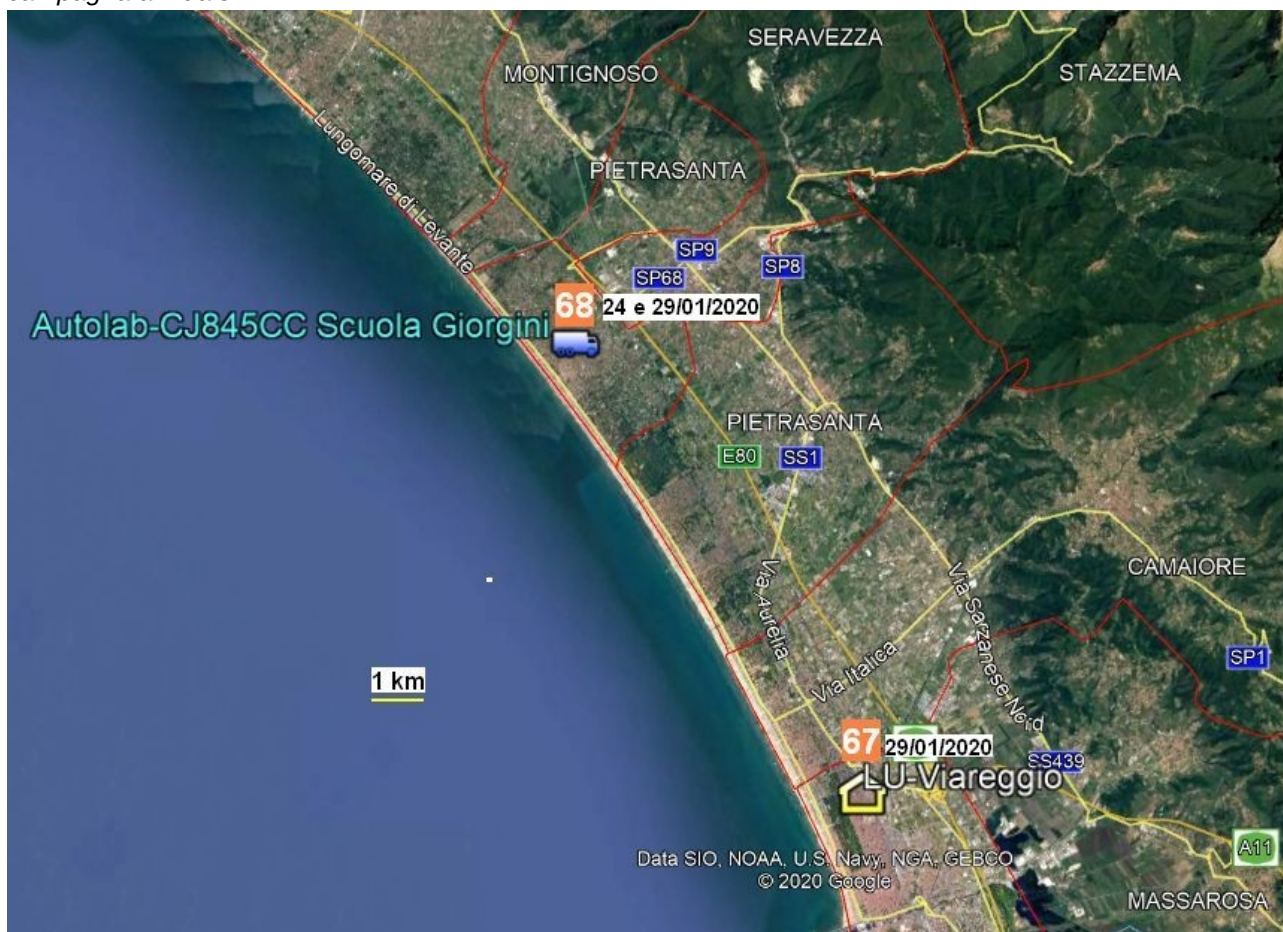
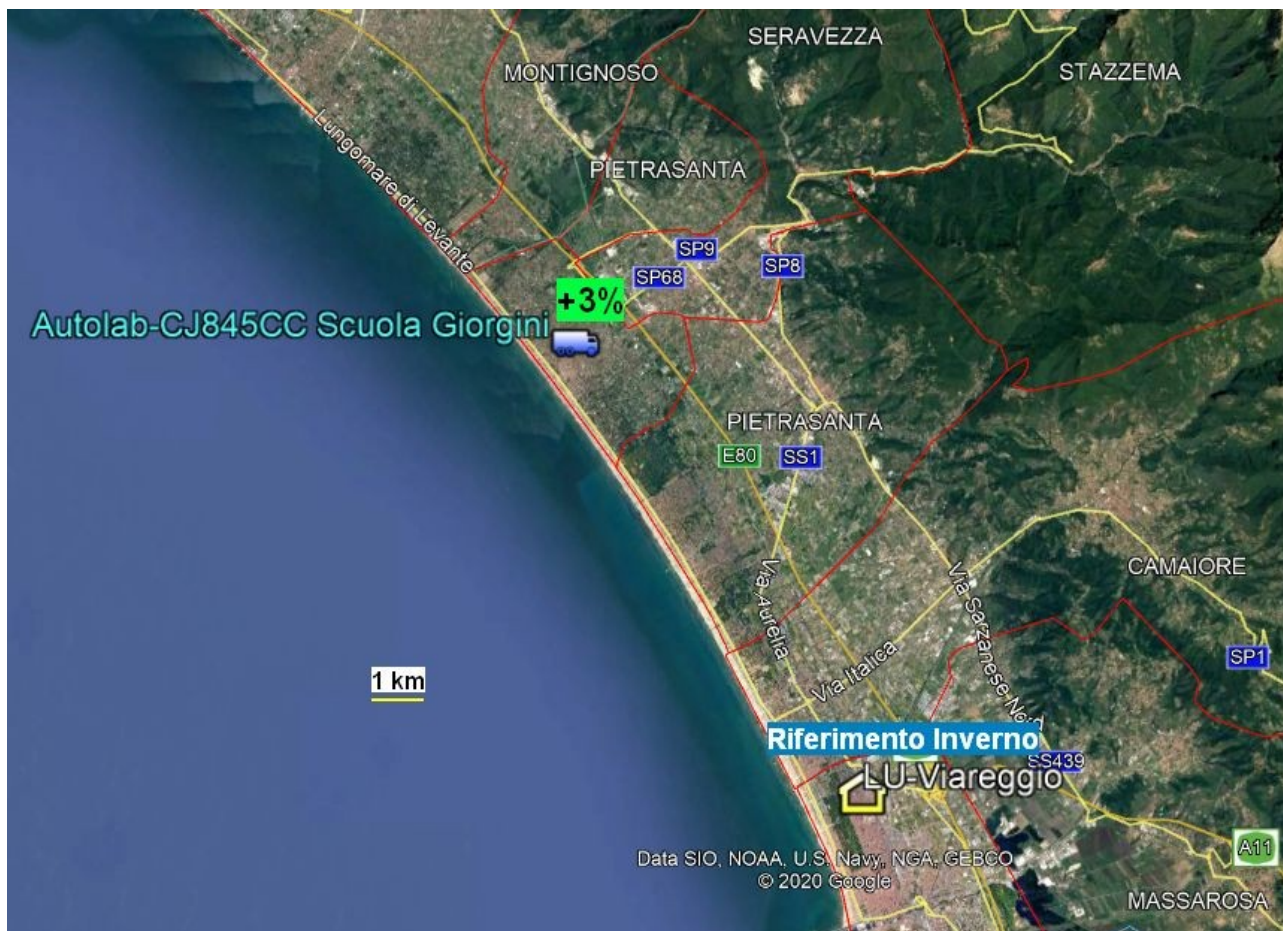
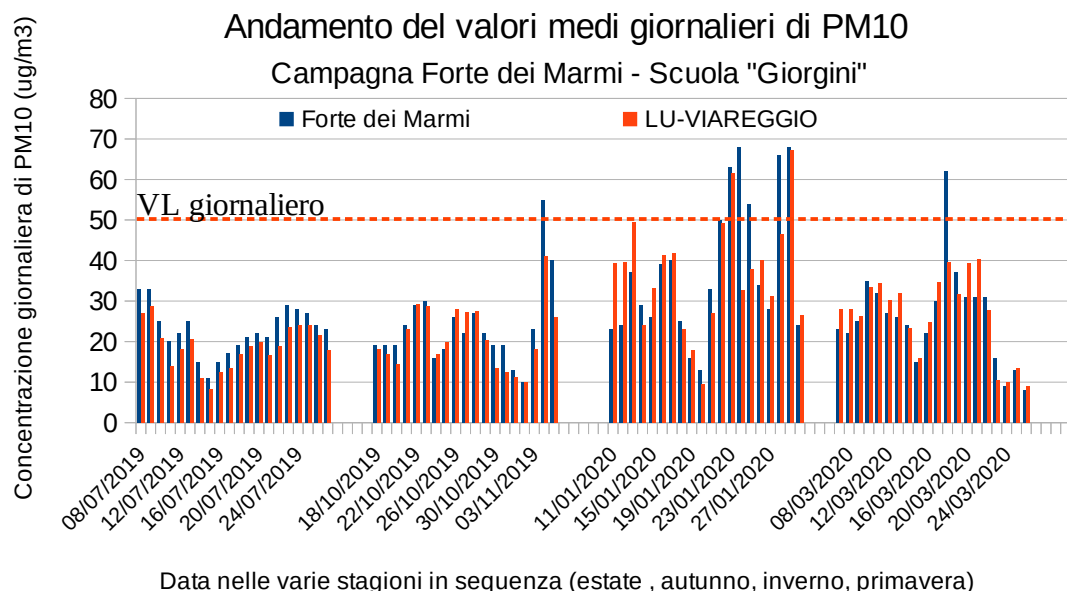


Figura 5.2.3.c – PM10 INVERNO - Scostamenti percentuali dei valori medi di PM10 registrati, rispetto ai valori medi del sito di riferimento LU-Viareggio, calcolati sul medesimo periodo invernale.



Si riporta di seguito il grafico degli andamenti giornalieri di PM10 nel sito di misura 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 estivo e autunnale. In inverno vi è più alternanza di valori massimi (alcuni superiori al VL giornaliero) equamente distribuita tra FdM e Viareggio. In primavera, in data 18 marzo 2020, è occorso un evento che ha fatto segnare a Forte dei Marmi un valore di concentrazione media giornaliera di $62 \mu\text{g}/\text{m}^3$ che non è stato rilevato come superamento del VL a LU-Viareggio ($40 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Tale valore potrebbe essere dovuto con buona probabilità a fonti prevalenti di emissione locali e non sistematiche, quali abbruciamenti esterni di materiale vegetale, visto anche il relativo valore di PM2,5 elevato (in quel giorno a Forte dei Marmi si è raggiunto tra l'altro il valore massimo per questo inquinante, come si evince da Tabella 5.2.4.a). Per quel giorno il rapporto percentuale PM2,5 / PM10 è dell'89%, valore compatibile con la fonte prevalente di emissione succitata.

Per quanto riguarda alcuni superamenti del VL a Forte dei Marmi vi sono con buona probabilità tre eventi, occorsi nelle date del 04/11/2019 e 28 e 29/01/2020, analogamente a quanto accaduto a LU-Viareggio, da imputare ad eventi di 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 più avanti nella presente relazione.

Tabella 5.2.3.d valori medi giornalieri PM10 nei periodi indagati – Forte dei Marmi Vs LU-Viareggio (in questa pagina: stagione estiva 2019 e autunnale 2019)

	Forte dei Marmi	LU-VIAREGGIO
	PM10	PM10
DATA	ug/m3	ug/m3
08/07/2019	33	27
09/07/2019	33	29
10/07/2019	25	21
11/07/2019	20	14
12/07/2019	22	18
13/07/2019	25	21
14/07/2019	15	11
15/07/2019	11	8
16/07/2019	15	12
17/07/2019	17	13
18/07/2019	19	17
19/07/2019	21	19
20/07/2019	22	20
21/07/2019	21	17
22/07/2019	26	19
23/07/2019	29	24
24/07/2019	28	24
25/07/2019	27	24
26/07/2019	24	22
27/07/2019	23	18
18/10/2019	19	18
19/10/2019	19	17
20/10/2019	19	14
21/10/2019	24	23
22/10/2019	29	29
23/10/2019	30	29
24/10/2019	16	17
25/10/2019	18	20
26/10/2019	26	28
27/10/2019	22	27
28/10/2019	27	27
29/10/2019	22	20
30/10/2019	19	13
31/10/2019	19	12
01/11/2019	13	11
02/11/2019	10	10
03/11/2019	23	18
04/11/2019	55	41
05/11/2019	40	26

SEGUE Tabella 5.2.3.d – (di seguito: inverno 2020, primavera 2020)

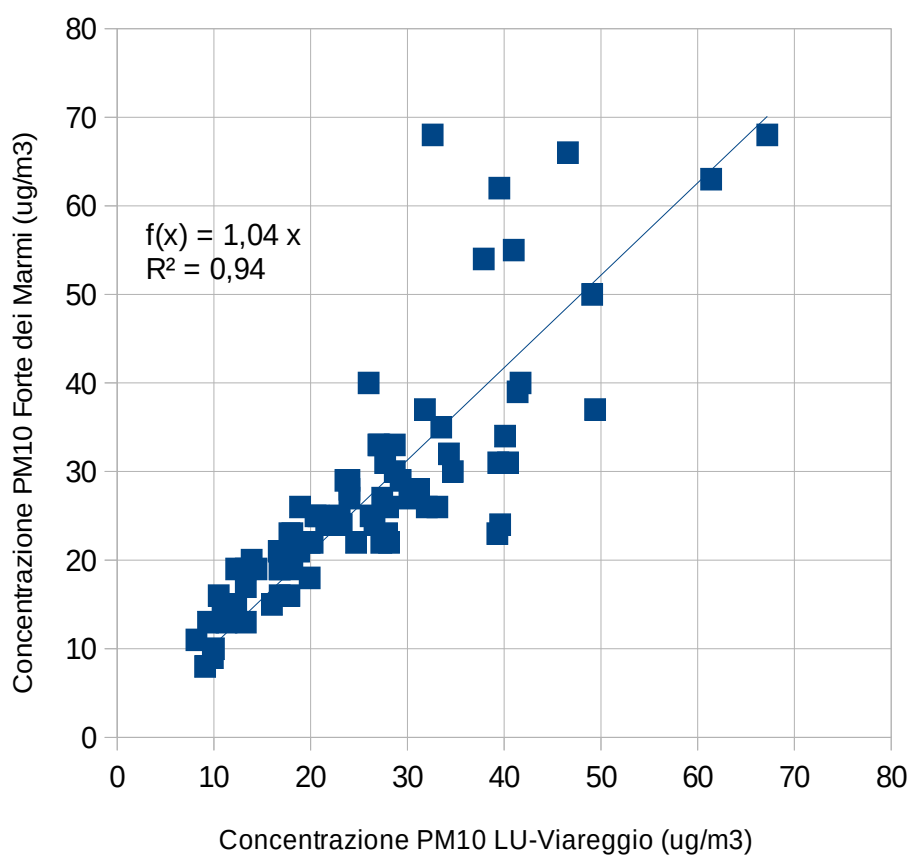
	Forte dei Marmi	LU-VIAREGGIO
	PM10	PM10
DATA	ug/m3	ug/m3
11/01/2020	23	39
12/01/2020	24	40
13/01/2020	37	49
14/01/2020	29	24
15/01/2020	26	33
16/01/2020	39	41
17/01/2020	40	42
18/01/2020	25	23
19/01/2020	16	18
20/01/2020	13	9
21/01/2020	33	27
22/01/2020	50	49
23/01/2020	63	61
24/01/2020	68	33
25/01/2020	54	38
26/01/2020	34	40
27/01/2020	28	31
28/01/2020	66	47
29/01/2020	68	67
30/01/2020	24	27
07/03/2020	23	28
08/03/2020	22	28
09/03/2020	25	26
10/03/2020	35	34
11/03/2020	32	34
12/03/2020	27	30
13/03/2020	26	32
14/03/2020	24	23
15/03/2020	15	16
16/03/2020	22	25
17/03/2020	30	35
18/03/2020	62	40
19/03/2020	37	32
20/03/2020	31	39
21/03/2020	31	40
22/03/2020	31	28
23/03/2020	16	11
24/03/2020	9	10
25/03/2020	13	13
26/03/2020	8	9

Correlazione tra valori delle medie giornaliere di PM10 misurate con metodo gravimetrico nei siti del MM e i valori delle medie giornaliere PM10 misurate con metodo automatico 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 "Giorgini" Vs LU-Viareggio



COEFFICIENTE DI CORRELAZIONE DI PEARSON: **0,83**

COEFFICIENTE DI CORRELAZIONE DI LIN: **0,82**

COEFFICIENTE DI CORRELAZIONE DIFFERENZA MENO MEDIA: **0,20**

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 con metodo gravimetrico nel sito di FdM.

Per quanto riguarda il sito della **Scuola Giorgini**, 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 leggermente maggiore di 1 ($m = 1,04$) 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.

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 concordanza di Lin, 0,82; le due postazioni a confronto mostrano inoltre una affine (ma non uguale) ampiezza di oscillazione dei valori di PM10, come suggerito dal valore di correlazione “differenza meno media” pari a 0,20.

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 2019 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 dell'Infanzia "Giorgini" - Forte dei Marmi		
Media delle medie giornaliere ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) – variazioni % rispetto a siti di rif.	18 (+5 %)	17
Massima media giornaliera ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	55 (18/03/2020)	45 (23/01/2020)
n. giorni validi	79	78
% giorni validi	100%	99%

Tabella 5.2.4.b – Dati di PM2,5 – indicatori annuali 2019 di LU-Viareggio

PM2,5 – INDICATORI ANNUALI 2019	LU-Viareggio
Media annuale ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	14
Massima media giornaliera ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	53 (08/01/2019)

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 dell'Infanzia "Giorgini" – Forte dei Marmi				
Media delle medie giornaliere ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	15	11	25	19
Massima media giornaliera ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	23 (25/07/2019)	19 (28/10/2019)	53 (24/01/2020)	55 (18/03/2020)
n. giorni validi	20	19	20	20
% giorni validi	100%	95%	100%	100%
media di LU-Viareggio sullo stesso periodo	12	10	25	21
Differenza % con LU-Viareggio sullo stesso periodo	25%	10%	0%	-9%

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

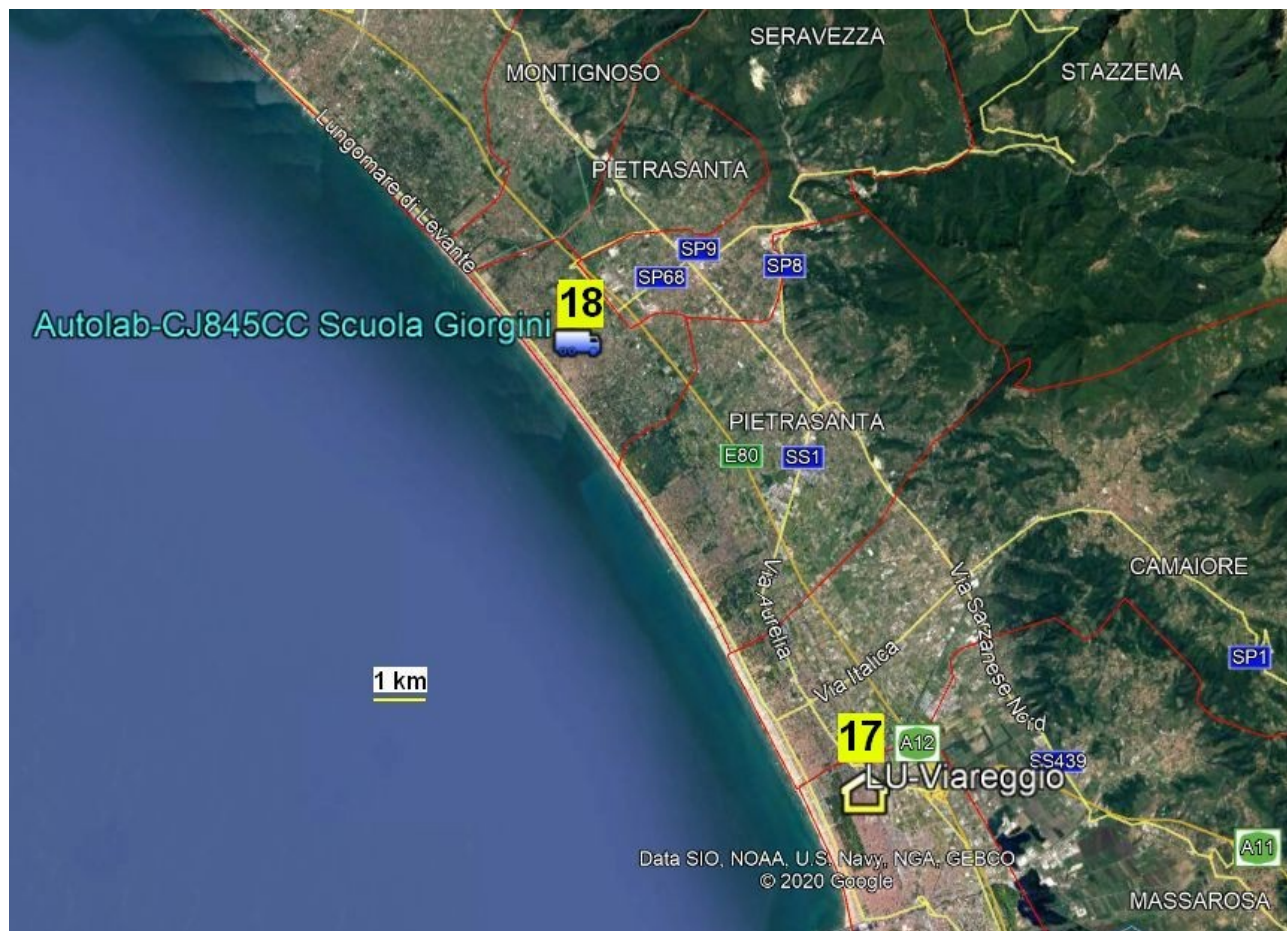
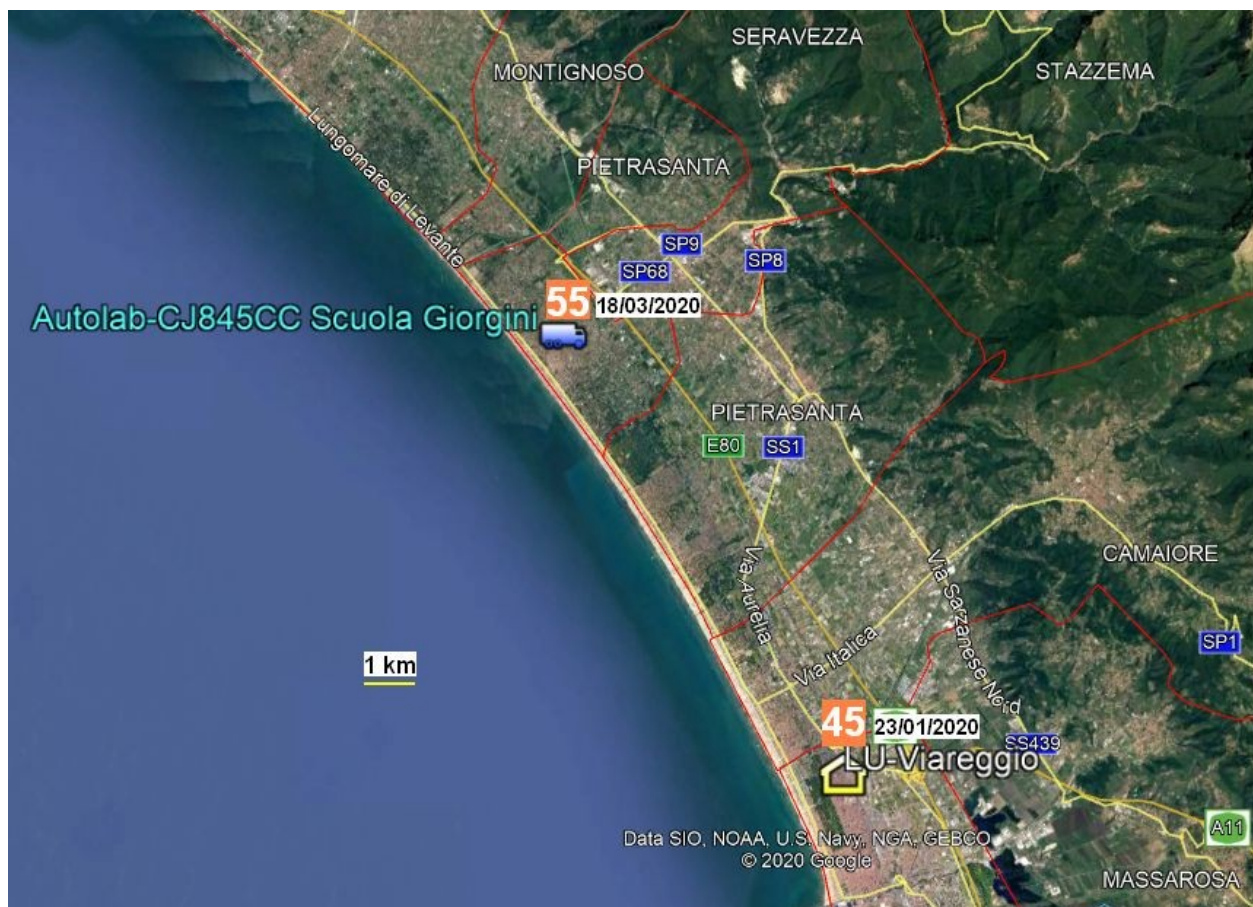


Figura 5.2.4.b – Mappa con i valori massimi e data delle concentrazioni giornaliere di PM_{2,5} registrate



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 ampiamente rispettato; i valori medi nei due siti sono molto simili: il valore riportato dal sito di FdM supera il valore registrato al sito di riferimento del 5% ($18 \mu\text{g}/\text{m}^3$ contro $17 \mu\text{g}/\text{m}^3$). La Tabella 5.2.4.a evidenzia che, seppur nel rispetto dei limiti, i valore medio di periodo più elevato si riscontra nella postazione oggetto di indagine.

Si rileva macroscopicamente sul panorama indicativo annuale, la preminenza dei valori dei dati giornalieri estivi e anche di quelli autunnali, seppure in misura minore, sia di PM₁₀ che di PM_{2,5} di Forte dei Marmi su quelli dei corrispondenti giorni di LU-Viareggio.

In Tabella 5.2.4.c può essere rilevata una “anomalia” nell’autunno nella classica stagionalità che contraddistingue anche questo tipo di inquinante. Il valore medio autunnale PM_{2,5} pari a $11 \mu\text{g}/\text{m}^3$ risulta infatti il più basso di tutto l’anno, di poco maggiore di quello registrato a Viareggio; nello stesso periodo LU-Viareggio ha fatto registrare un valore medio pari a $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Analogamente a quanto rilevato per il PM₁₀, lo scarto percentuale dei valori medi stagionali del PM_{2,5} tra FdM e Viareggio si riduce progressivamente dall’estate 2019 all’inverno 2020, passando da +25% a 0%, per poi diventare negativo (-9%) in primavera 2020.

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 “Giorgini”	68
	LU-Viareggio	62
AUTUNNO	FdM – Scuola “Giorgini”	49
	LU-Viareggio	50
INVERNO	FdM – Scuola “Giorgini”	70
	LU-Viareggio	69
PRIMAVERA	FdM – Scuola “Giorgini”	71
	LU-Viareggio	76

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 65%. Sugli stessi periodi di misura, LU-Viareggio restituisce un valore di frazione molto simile pari al 64%.

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 molto simili tra i due siti nelle stagioni autunnale e inverno, stagioni in cui tipicamente i valori di particolato atmosferico sono più importanti ed elevati. In estate la frazione percentuale PM_{2,5} su PM₁₀ è più alta che a Viareggio (68% di FdM contro il 62% di Viareggio). In primavera LU-Viareggio mostra una frazione percentuale maggiore rispetto a Forte dei Marmi (76% a Viareggio contro il 71% di FdM).

In linea generale, si rilevano in entrambi i siti di monitoraggio valori di frazione percentuale PM_{2,5} / PM₁₀ autunnali piuttosto bassi (intorno al 50%). Ciò potrebbe essere parzialmente da imputare a più episodi di fine periodo riguardanti l'avvezione di aerosol marino e crostale che hanno contribuito ad abbassare il valore medio della frazione percentuale nella stagione autunnale. Il fenomeno 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

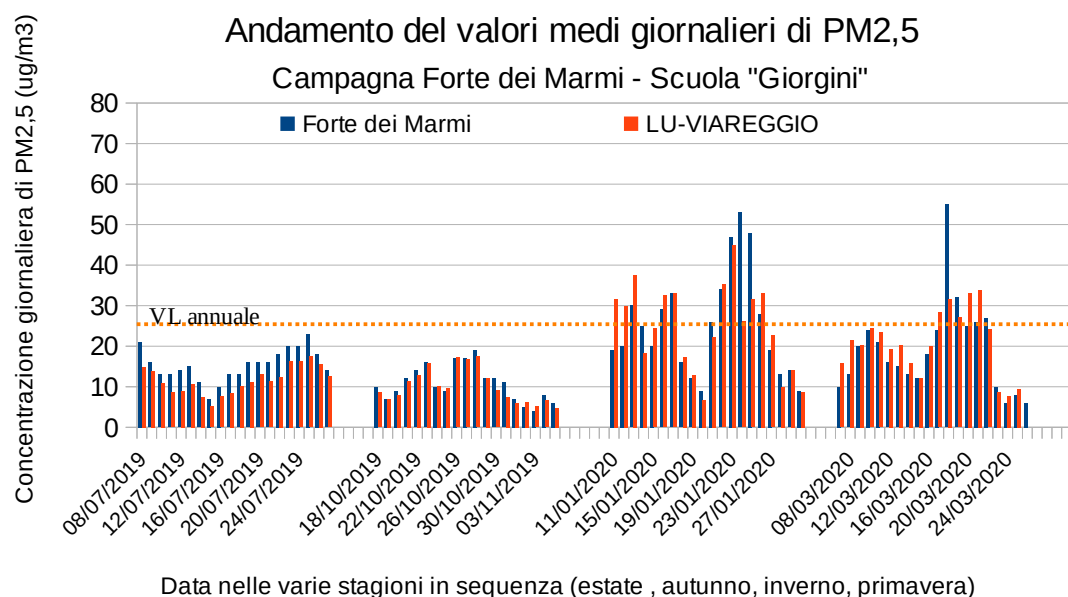


Grafico 5.2.4.b. confronto dell'andamento della frazione percentuale % PM2,5/PM10 nelle quattro stagioni, dall'estate del 2019 alla primavera 2020

Andamento della frazione % PM2,5/PM10 nelle varie stagioni 2019 - 2020

Confronto Forte dei Marmi - LU-Viareggio

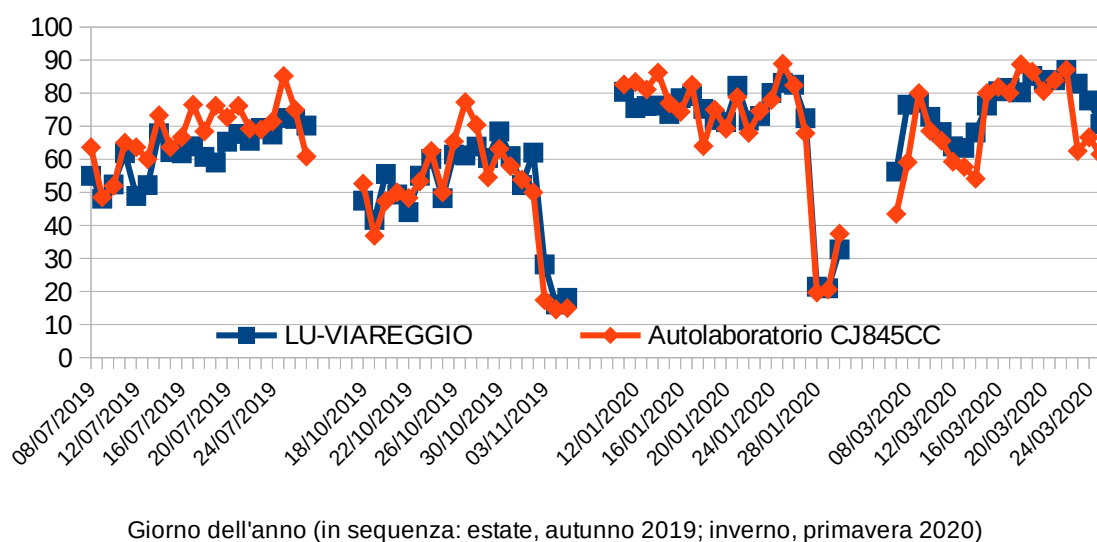


Tabella 5.2.4.g valori medi giornalieri PM2,5 nei periodi indagati – Forte dei Marmi - Scuola “Giorgini” Vs. LU-Viareggio (in questa pagina: stagione estiva 2019 e autunnale 2019)

DATA	Forte dei Marmi	LU-VIAREGGIO
	PM2.5 ug/m3	PM2.5 ug/m3
08/07/2019	21	15
09/07/2019	16	14
10/07/2019	13	11
11/07/2019	13	9
12/07/2019	14	9
13/07/2019	15	11
14/07/2019	11	7
15/07/2019	7	5
16/07/2019	10	8
17/07/2019	13	9
18/07/2019	13	10
19/07/2019	16	11
20/07/2019	16	13
21/07/2019	16	11
22/07/2019	18	12
23/07/2019	20	16
24/07/2019	20	16
25/07/2019	23	17
26/07/2019	18	16
27/07/2019	14	13
18/10/2019	10	9
19/10/2019	7	7
20/10/2019	9	8
21/10/2019	12	11
22/10/2019	14	13
23/10/2019	16	16
24/10/2019	10	10
25/10/2019	9	10
26/10/2019	17	17
27/10/2019	17	17
28/10/2019	19	18
29/10/2019	12	12
30/10/2019	12	9
31/10/2019	11	8
01/11/2019	7	6
02/11/2019	5	6
03/11/2019	4	5
04/11/2019	8	7
05/11/2019	6	5

SEGUE Tabella 5.2.4.g – (di seguito: inverno 2020, primavera 2020)

	Forte dei Marmi	LU-VIAREGGIO
	PM2,5	PM2,5
DATA	ug/m3	ug/m3
11/01/2020	19	32
12/01/2020	20	30
13/01/2020	30	38
14/01/2020	25	18
15/01/2020	20	24
16/01/2020	29	33
17/01/2020	33	33
18/01/2020	16	17
19/01/2020	12	13
20/01/2020	9	7
21/01/2020	26	22
22/01/2020	34	35
23/01/2020	47	45
24/01/2020	53	26
25/01/2020	48	32
26/01/2020	28	33
27/01/2020	19	23
28/01/2020	13	10
29/01/2020	14	14
30/01/2020	9	9
07/03/2020	10	16
08/03/2020	13	22
09/03/2020	20	20
10/03/2020	24	24
11/03/2020	21	23
12/03/2020	16	19
13/03/2020	15	20
14/03/2020	13	16
15/03/2020	12	12
16/03/2020	18	20
17/03/2020	24	28
18/03/2020	55	32
19/03/2020	32	27
20/03/2020	25	33
21/03/2020	26	34
22/03/2020	27	24
23/03/2020	10	9
24/03/2020	6	8
25/03/2020	8	9
26/03/2020	6	

Conclusioni

La prima campagna indicativa di monitoraggio della qualità dell'aria, realizzata per mezzo di un autolaboratorio 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 della Scuola dell'Infanzia "Giorgini", 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 28 µg/m³, superiore del 7% rispetto al valore medio di PM₁₀, sugli stessi periodi, registrato dalla stazione di rete regionale LU-Viareggio presa a riferimento.

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 2019 (sono stati infatti rilevati 11 superamenti).

Per quanto riguarda il sito oggetto della presente campagna indicativa annuale, il valore riferito al 90,4° percentile è risultato pari a 45 µg/m³ quindi inferiore a 50 µg/m³ (10% inferiore al VL giornaliero). Negli stessi periodi delle campagne in esame e sull'intero anno civile 2019, 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, non vi sono evidenze che il limite normativo dei 35 superamenti del VL giornaliero PM₁₀ per anno civile possa essere oltrepassato.

Per quanto attiene il PM_{2,5} 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 18 µg/m³, di poco superiore al valore medio sugli stessi periodi registrato a Viareggio (17 µg/m³).

Seppur nel completo rispetto dei limiti normativi in base alla campagna indicativa i livelli di PM₁₀ e di PM_{2,5} nella postazione di Forte dei Marmi risultano leggermente superiori a quelli della stazione di riferimento di LU-Viareggio.

ALLEGATO A: dati meteorologici

È importante conoscere la situazione meteorologica relativa ai vari periodi di misura, dato che le condizioni meteorologiche influiscono sia sui fenomeni di dispersione e di accumulo degli inquinanti, sia sulla formazione di alcuni di essi.

I laboratori mobili sono attrezzati con sensori per il rilevamento dei seguenti parametri meteorologici:

Direzione del vento (DV)

Velocità del vento (VV)

Il posizionamento dei sensori non rispetta in alcune postazioni di campionamento del mezzo mobile le caratteristiche previste per il corretto posizionamento di una stazione meteo pertanto i risultati sotto riportati sono da considerarsi solo indicativi e non possono essere utilizzati ai fini di una correlazione puntuale con i dati di qualità dell'aria.

Tabella A.1 Caratteristiche tecniche dei sensori dell'autolaboratorio CJ845CC

Parametro	Marca modello	Principio Metodo	Limite Rilevabilità	Precisione
DV	Gonioanemometro Lastem C 500 D	Potenziometria	0,4° (risoluzione in gradi sessagesimali)	± 2° (gradi sessagesimali)
VV	Tacoanemometro Lastem C 500 S	Disco rotante a lettura optoelettronica	0,25 m/s	± 1%

Grafico A.1.1 Rosa dei venti - Forte dei Marmi, Scuola Giorgini – estate 2019

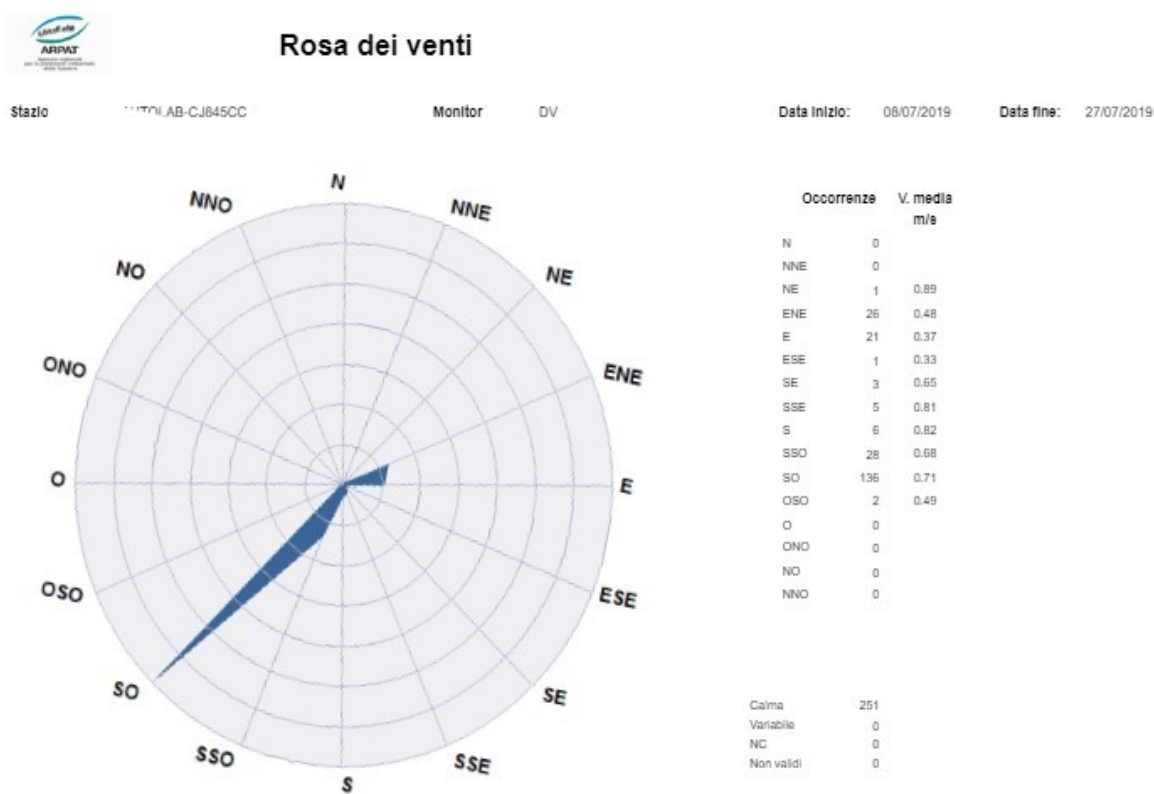


Grafico A.2.2 Rosa dei venti - Forte dei Marmi, Scuola Giorgini – autunno 2019

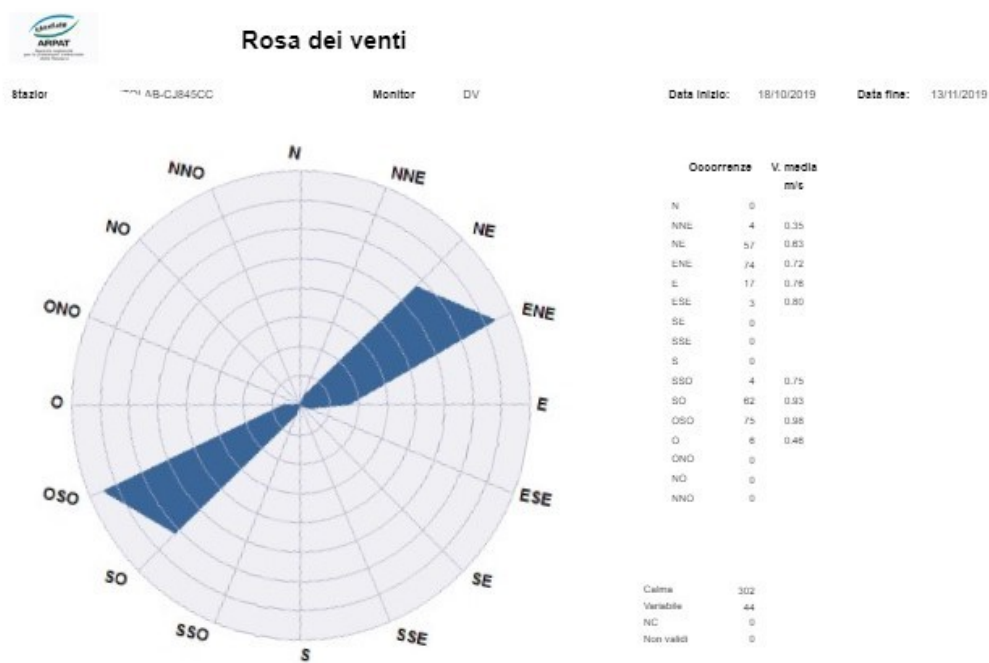


Grafico A.2.3 Rosa dei venti - Forte dei Marmi, Scuola Giorgini – inverno 2020

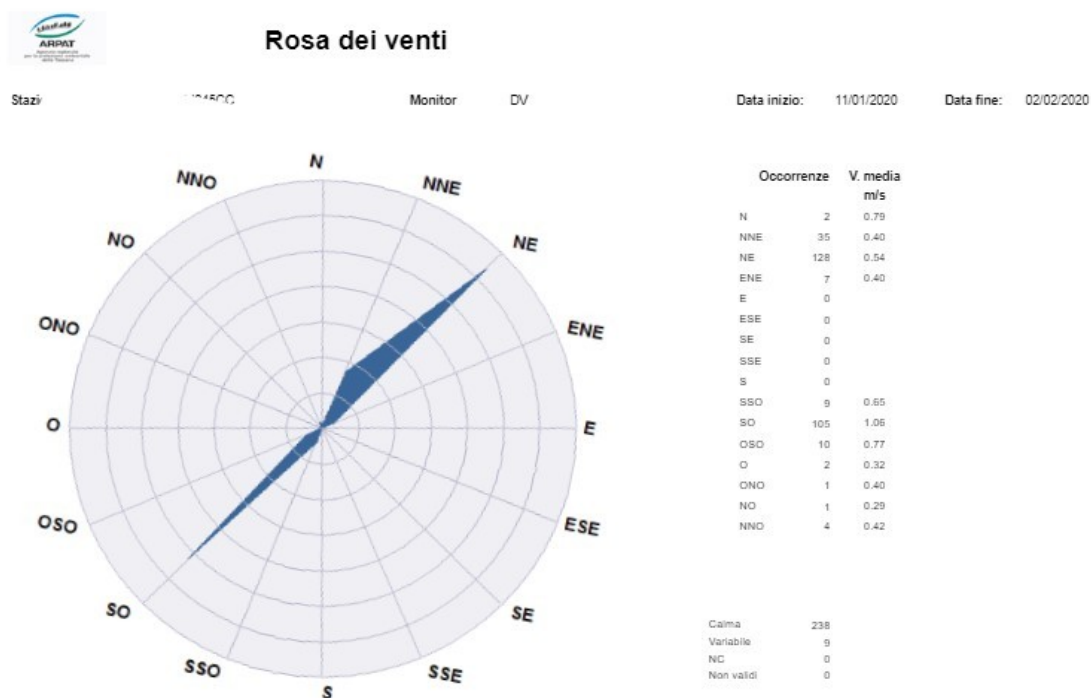
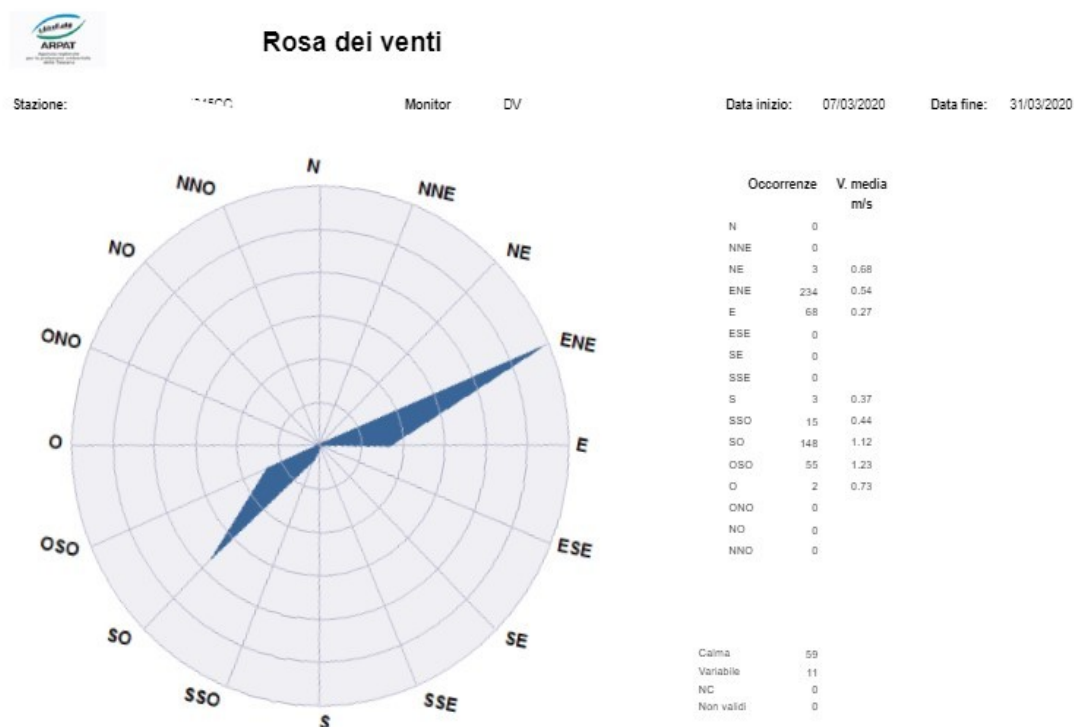


Grafico A.2.4 Rosa dei venti - Forte dei Marmi, Scuola Giorgini – primavera 2020



Nel sito in esame sono prevalenti i fenomeni ventosi dal quadrante Sud-Occidentale nelle stagioni estiva e autunnale (Ovest e Ovest-Sud-Ovest in particolare), con una compresenza dei fenomeni da Nord-Est e Est-Nord-Est nel periodo autunnale. In inverno e ancor più in primavera prevalgono i venti dal quadrante Nord-Orientale (Nord-Est e Est-Nord-Est).

Tabella A.2: frequenza percentuale dei fenomeni di CALMA DI VENTO (VV < 1,5 m/s), velocità del vento (VV) compresa tra 1,5 e 3,5 m/s e di velocità del vento superiore a 3,5 m/s (valori medi orari)

Stagione	Frequenza percentuale		
	VV ≤ 1,5 m/s	1,5 < VV < 3,5 m/s	VV ≥ 3,5 m/s
Estate	99,6%	0,4%	0%
Autunno	97,2%	2,8%	0%
Inverno	95,1%	4,9%	0%
Primavera	90,7%	9,3%	0%

NOTA: 1,5 m/s equivalgono a circa 5 km/h e 3,5 m/s sono circa 13 km/h

Per quanto riguarda le classi di velocità del vento (VV), si osserva che l'estate, sicuramente la stagione più interessata dalle tipiche brezze costiere, vede figurare la quasi totalità dei fenomeni nel settore *calma o bava di vento*. Va tenuto conto che, come detto sopra, i valori considerati sono medie orarie, che sicuramente modulano al ribasso le velocità del vento tipiche di una brezza costiera che spesso non è costante o sostenuta. Si vede a questo proposito che le brezze notturne estive di terra, quindi dai quadranti Nord-Orientali, sono state rilevate ma in misura molto limitata proprio per il motivo sopra esposto: si configurano solitamente velocità del vento (regime di brezza) non molto alte e incostanti, e parecchio ridotte anche rispetto alle brezze di mare, che fanno decadere il valore medio orario del fenomeno al di sotto dei 1,5 m/s.

Nelle rimanenti stagioni, invece, laddove la brezza costiera e di terra lasciano il posto a venti più forti e sostenuti (dai quadranti sia Sud-Occidentali che Nord-Orientali), ancorché non prettamente costanti all'interno del periodo di mediazione di un'ora, avviene che la classe di vento passa di grado e si instaura un regime di VV intermedia o di *brezza leggera*.

Sempre con le dovute accortezze sopra esposte, per le VV intermedie è la primavera la stagione con più frequenze di eventi in quella fascia. Si nota un crescendo quasi esponenziale delle percentuali dall'estate 2019 alla primavera 2020, a discapito di episodi di *calma o bava di vento*.

Non si rilevano valori medi orari maggiori di 3,5 m/s (da *brezza tesa* in su).

Quasi sicuramente il reticolato cittadino di Forte dei Marmi, disposto con assi viari nelle direzioni tra loro perpendicolari, inclinati di 225° e -45° rispetto alla verticale Nord e la posizione della sonda all'interno del canyon cittadino in cui il mezzo è stato posizionato, sono tali per cui, durante tutta la campagna di misure, è stato rilevato, in inverno peraltro, appena un fenomeno di Maestrale (Nord-Ovest), vento tipico delle zone costiere soprattutto in estate.

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

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

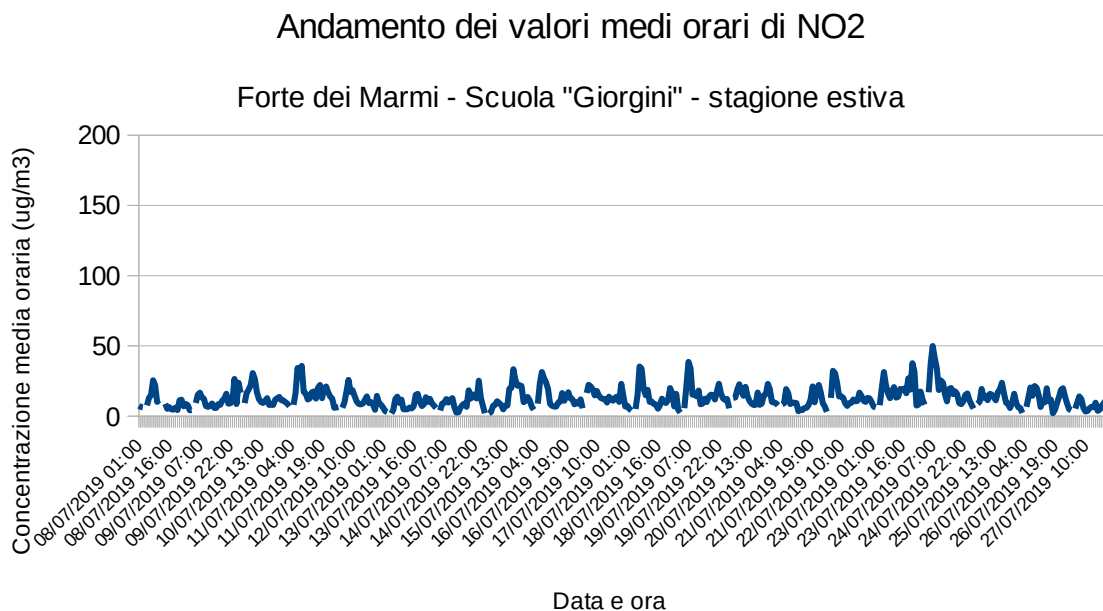
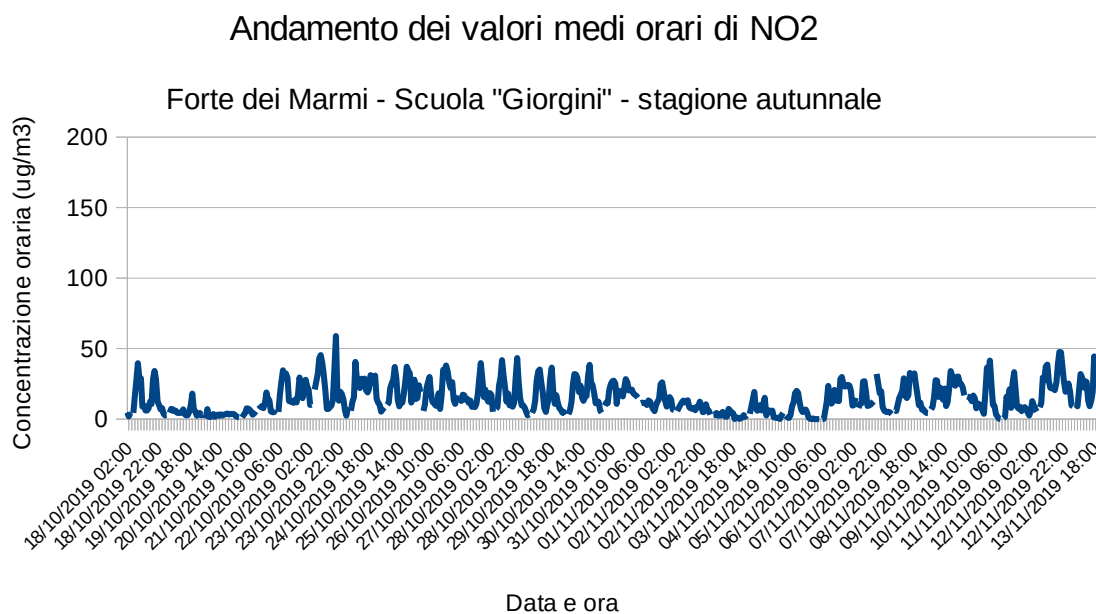


Grafico B.2 – Andamento dei valori medi orari di NO₂ – stagione autunnale



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

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

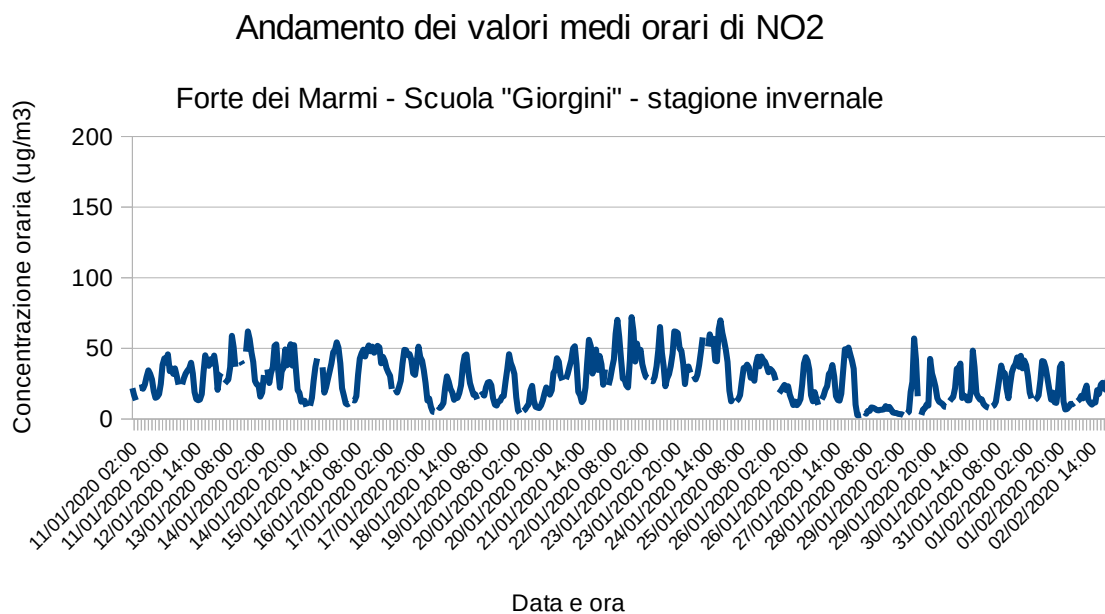
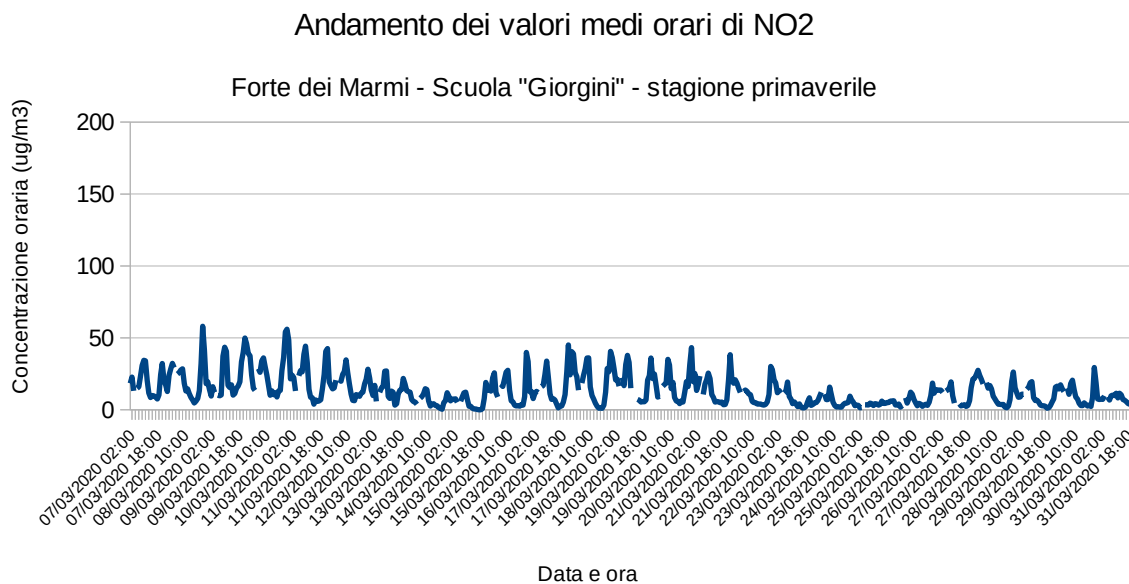


Grafico B.4 – Andamento dei valori medi orari di NO₂ – stagione primaverile



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

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

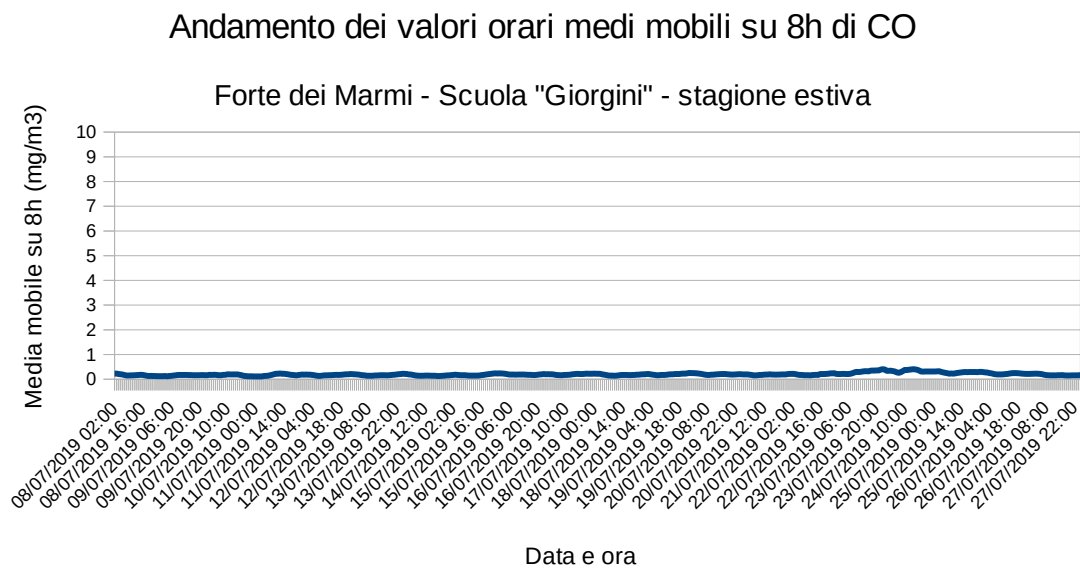
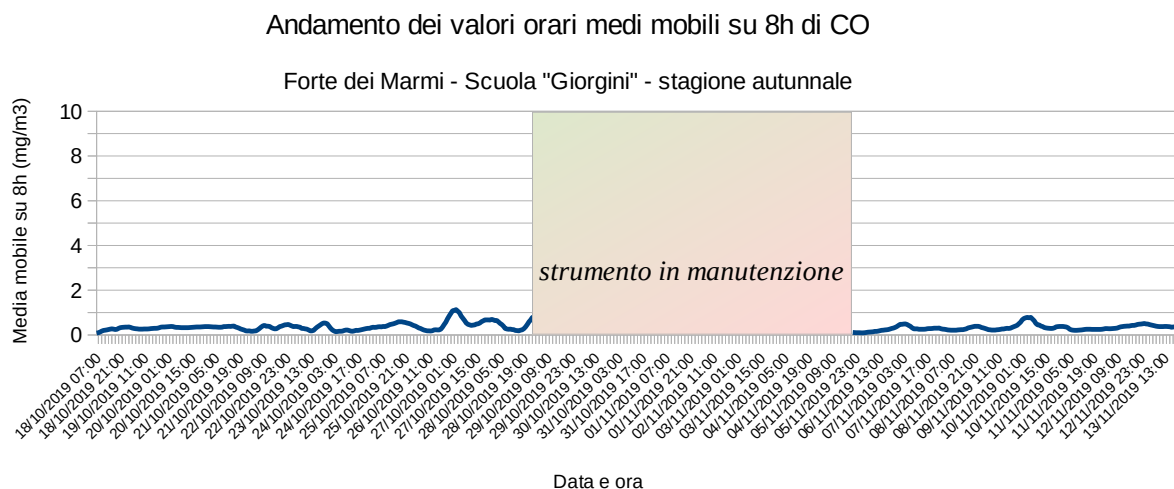


Grafico B.6 – Andamento dei valori orari mobili su 8h di CO – autunno



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

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

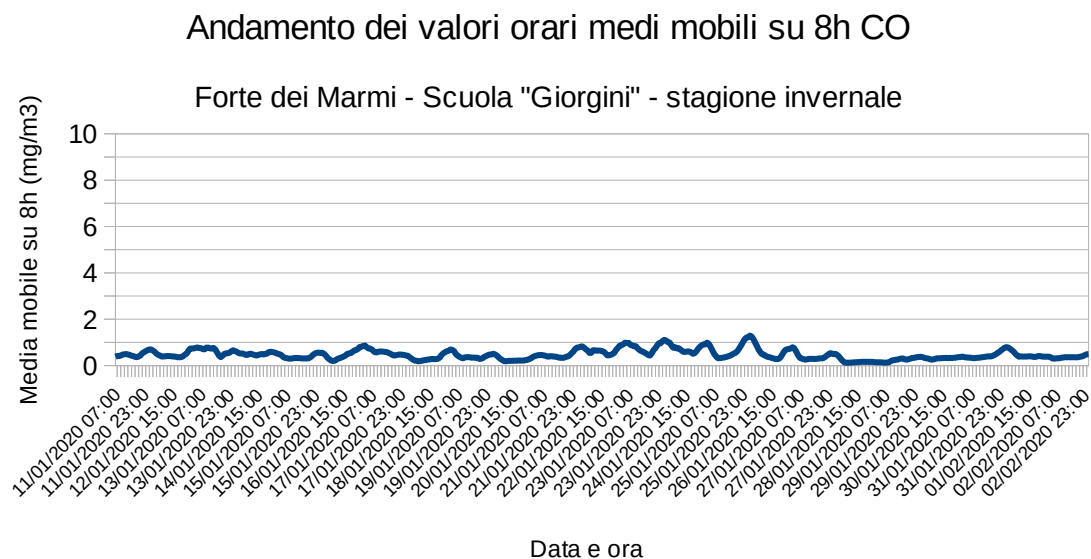
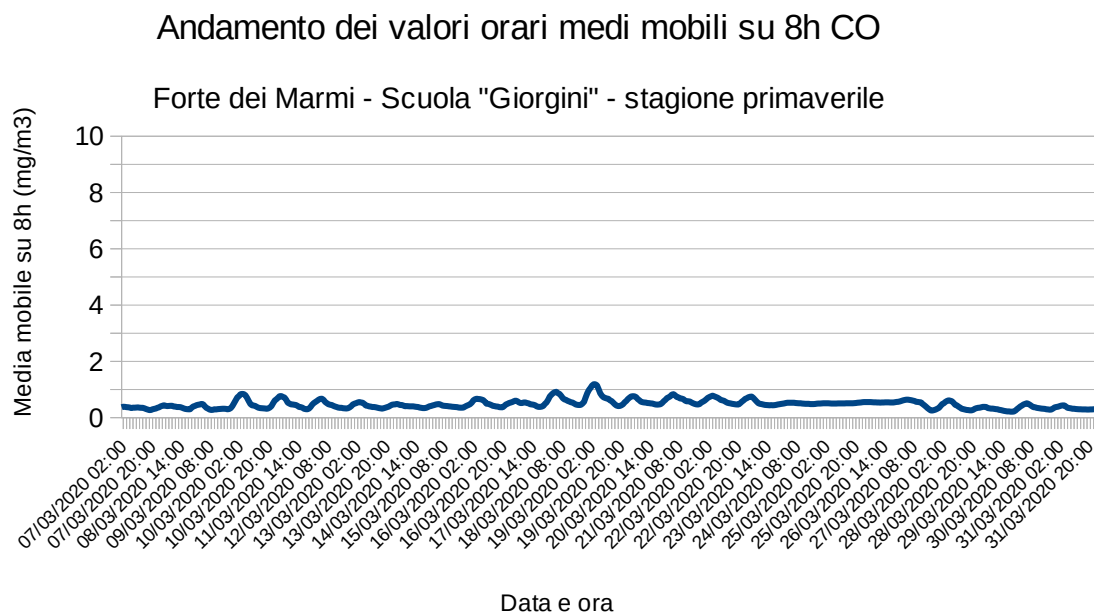


Grafico B.8 – Andamento dei valori orari mobili su 8h di CO – primavera



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

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

Grafico C.1 – Giorno tipo di NO₂ a Forte dei Marmi – Scuola Giorgini – stagione estiva 2019

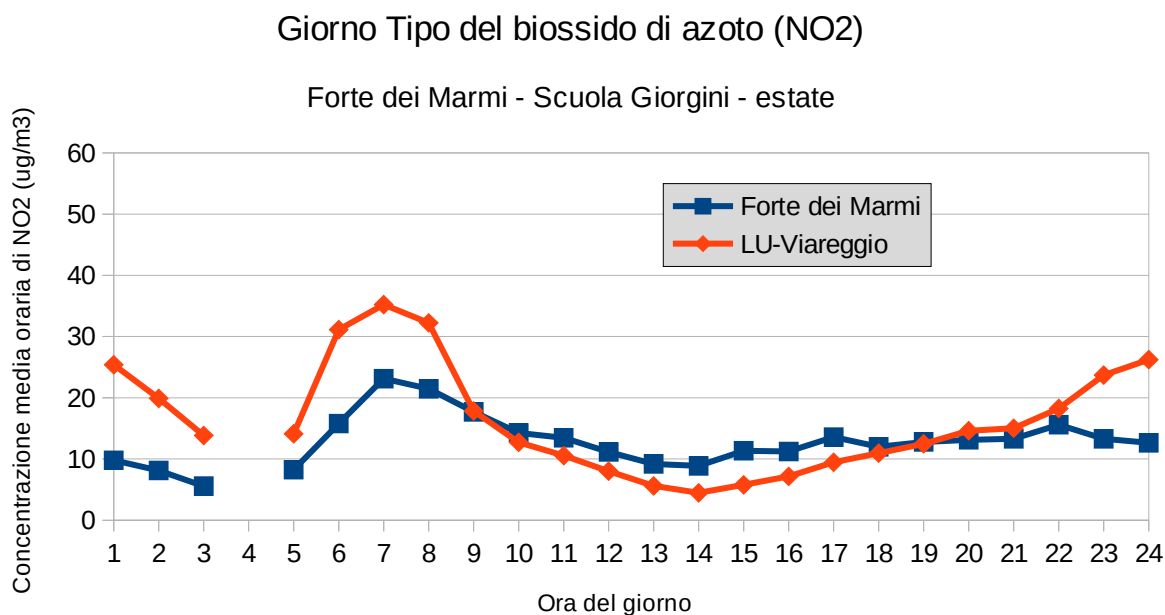
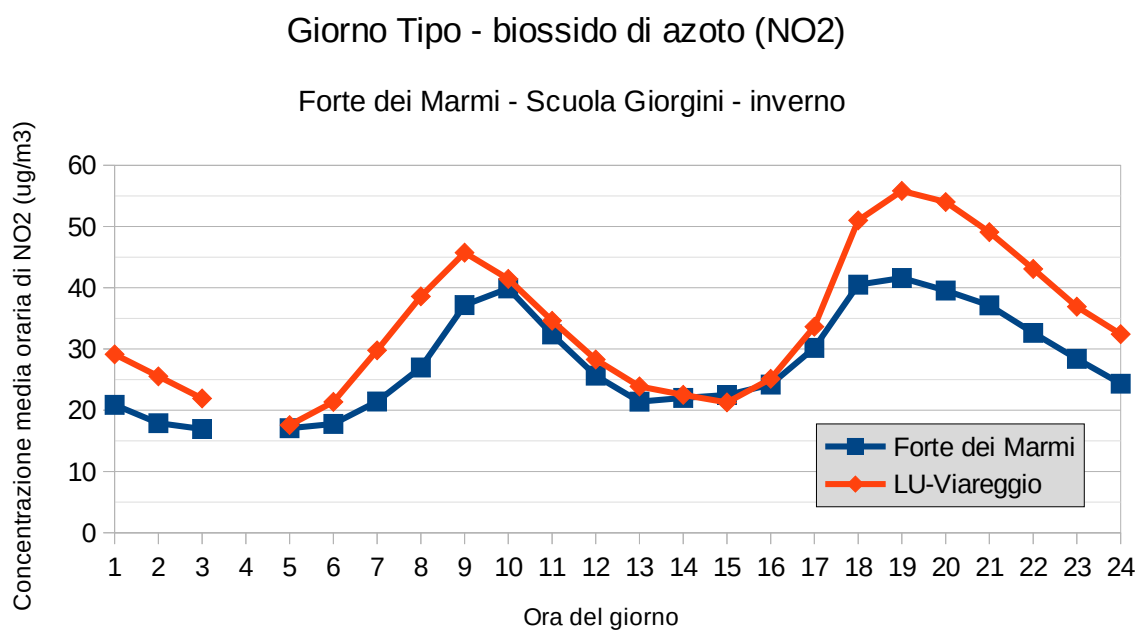


Grafico C.2 – Giorno tipo di NO₂ a Forte dei Marmi – Scuola Giorgini – stagione invernale 2020



ALLEGATO D: 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 $b < 0$).