

Campagna di rilevamento della qualità dell'aria nel Comune di Barga (LU)

*presso il sito di
Piazzale Del Frate – Fornaci di Barga*

Campagna indicativa di rilevamento con
Autolaboratorio-CJ845CC

Periodo:
14 febbraio – 16 dicembre 2018

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

Pisa, febbraio 2019

REPORT

ARIA 

**RELAZIONE - CAMPAGNA DI RILEVAMENTO INDICATIVA CON MEZZO MOBILE
Mercedes Sprinter targato CJ845CC:**

Barga (LU) – Fraz. Fornaci di Barga – Piazzale Del Frate

A cura di:

Bianca Patrizia Andreini

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

ARPAT – Area Vasta Costa

Autori:

Dennis Dalle Mura, Roberto Fruzzetti

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

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).

La determinazione dei metalli su PM10 è stata effettuata dal Laboratorio ARPAT di Area Vasta Centro.

Area Vasta ARPAT Toscana Costa

via 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

Nella campagna indicativa, comprendente due periodi invernali, svoltasi presso il sito di Piazzale Del Frate a Fornaci di Barga, nel territorio comunale di Barga, in una postazione di tipo “urbana - fondo”, si evidenzia il rispetto del valore limite del **valore medio di concentrazione del PM10** sull'intero periodo ($29 \mu\text{g}/\text{m}^3$), valore intermedio tra i valori misurati a LU-Capannori ($33 \mu\text{g}/\text{m}^3$) e LU-Fornoli ($25 \mu\text{g}/\text{m}^3$) e assai inferiore rispetto al valore di $43 \mu\text{g}/\text{m}^3$ registrato nella campagna precedente degli anni 2015-2016. Non ci sono elementi per ipotizzare il possibile superamento valore limite annuale di PM10.

Il valore relativo al **90,4° percentile**, utilizzato per stabilire il superamento o meno dei 35 superamenti del Valore Limite giornaliero di PM10 su base annua, seppur indicativo perché molto dipendente dalla distribuzione dei giorni di campionamento, fa registrare valori ($53 \mu\text{g}/\text{m}^3$) che risultano al di sopra del VL giornaliero di confronto ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$). A differenza di quanto registrato nella campagna 2015-2016 (90,4° percentile pari a $90 \mu\text{g}/\text{m}^3$) il valore è molto inferiore, tuttavia si può supporre il superamento del limite dei 35 superamenti/anno del VL giornaliero consentiti. In generale le campagne indicative non forniscono risultati definitivi rispetto a questo indicatore.

Da un confronto tra le due serie numeriche di PM10 rilevate nella Media Valle del Serchio (Fornaci e LU-Fornoli), si osserva una correlazione molto forte, con andamenti e oscillazioni simili, che evidenzia che i valori delle medie giornaliere di PM10 ottenute a Fornaci di Barga sono superiori di circa il 20% rispetto a quelle registrate a Fornoli.

Il valore medio di Particolato PM 2,5 sul periodo rispetta il valore limite. Il PM2,5 e la relativa frazione percentuale percentuale sul PM10 fanno registrare valori di concentrazione giornaliera paragonabili a quelli di LU-Capannori, con valori superiori rispetto ad altre stazioni urbane fondo regionali.

Per quanto riguarda il **biossido di azoto**, il livello medio del periodo rispetta il valore limite normativo ed è di poco superiore a quello misurato a LU-Fornoli e inferiore del 32% rispetto all'omologo indicatore di LU-Capannori.

Per quanto riguarda il **biossido di zolfo**, i valori rilevati sono molto bassi rispetto ai valori limite e confrontabili con il limite di rivelabilità strumentale, analogamente alla campagna precedente.

Per quanto concerne il **monossido di carbonio**, non monitorato nella precedente campagna 2015-2016 è stata condotta una campagna di misure dalla primavera all'inverno 2018. Il massimo del valore medio mobile su 8h (indicatore utile da un punto di vista normativo) è stato di poco superiore a 1/5 del VL normativo su tutto il periodo di campionamento.

Indice generale

1 INTRODUZIONE.....	5
2 DESCRIZIONE DEI SITI DI MISURA.....	6
3 AUTOLABORATORIO CJ845CC.....	10
4 LIMITI NORMATIVI.....	11
5 RISULTATI.....	13
– 5.1 STANDARDIZZAZIONE.....	13
– 5.2 VALORI DEGLI INDICATORI.....	13
– 5.3 BISSIDO DI ZOLFO (SO ₂).....	14
– 5.4 MONOSSIDO DI CARBONIO (CO).....	15
– 5.5 BISSIDO DI AZOTO (NO ₂).....	16
– 5.6 MATERIALE PARTICOLATO (PM10).....	18
5.6.1 <i>Correlazione delle misure di PM10 di Fornaci di Barga con LU-Fornoli</i>	25
– 5.7 MATERIALE PARTICOLATO FINE (PM2,5) E FRAZIONE PERCENTUALE.....	27
6 CONCLUSIONI.....	33
ALLEGATO A: MISURE DEI METALLI SU PM 10.....	35
ALLEGATO B: GRAFICI PER SO₂, CO E NO₂.....	38
ALLEGATO C: DATI METEOROLOGICI.....	46
ALLEGATO D: GIORNO TIPO DI BISSIDO DI AZOTO E MONOSSIDO DI CARBONIO	51
ALLEGATO E: TEST DI CORRELAZIONE DI PEARSON – DEFINIZIONE.....	55

1 INTRODUZIONE

Le campagne di misura condotte con il Mezzo mobile 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 della Regione Toscana relativa al periodo febbraio – dicembre 2018, nel contesto di una convenzione stabilita tra Comune di Barga e ARPAT e formalizzata con Decreto Dirigenziale n° 30 dell'11/04/2018.

Nella stessa postazione, era stata condotta una analoga indagine indicativa nel periodo maggio 2015 – gennaio 2016.

La presente indagine 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 la procedura gestionale 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 state condotte le misure con l'utilizzo del mezzo mobile è ricompreso nell'area della Media Valle del Serchio, all'interno del territorio comunale di Barga, nella zona Collinare-montana.

La postazione in esame è all'interno dell'abitato della frazione Fornaci di Barga, nei pressi di un comprensorio scolastico e vicina ad attività commerciali e abitazioni, quindi si può definire urbana. La tipologia della centralina inserita nel contesto appena descritto è di fondo. L'asse viario di riferimento (la SR 445) si trova a circa trenta metri.

Le coordinate geografiche Gauss-Boaga sono: EGB 1617638; NGB 4878479. L'altitudine è di 170 metri s.l.m. Sotto sono riportate le immagini del contesto territoriale del sito e del laboratorio mobile installato.

Figura 2.1 *Mappa della zonizzazione della Toscana con individuazione dell'area di indagine all'interno della "Zona Collinare e Montana"*

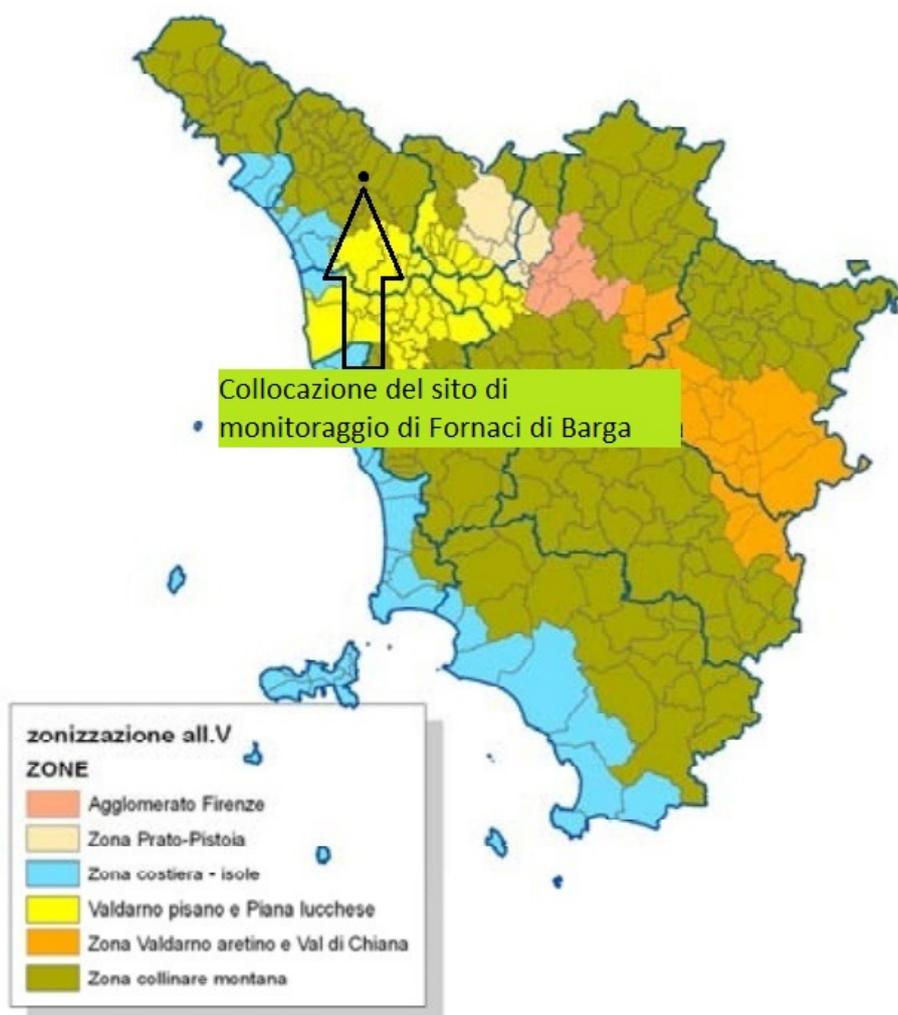


Immagine 2.2 Mappa dell'area di indagine con indicazione del sito di misura e delle stazioni di RR nel contesto provinciale

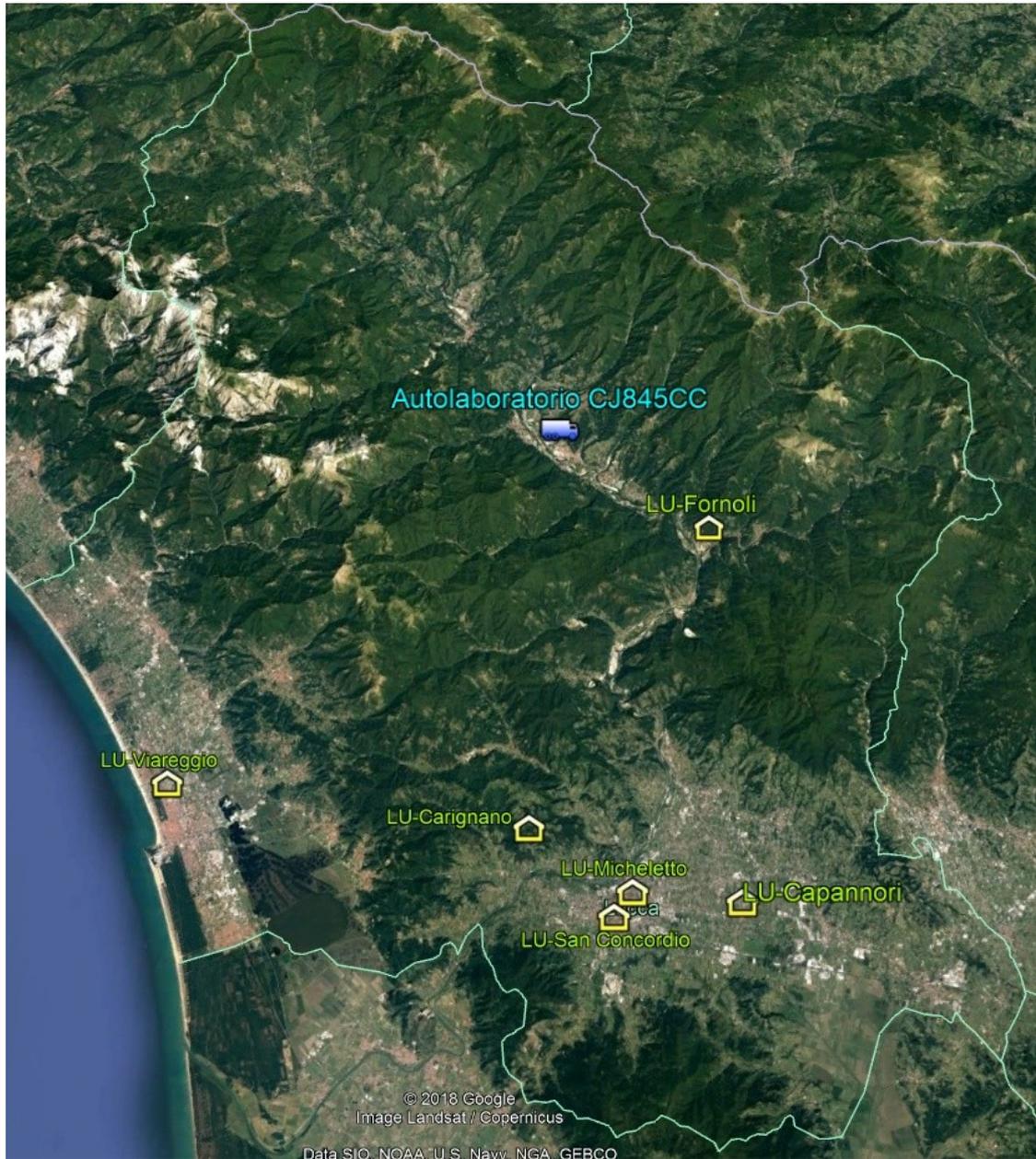


Immagine 2.4 Contesto ambientale del sito all'interno dell'abitato di Fornaci di Barga



Immagine 2.5 Autolaboratorio CJ845CC sul Piazzale Del Frate a Fornaci di Barga lo scorso luglio (vista da Sud)



Immagine 2.5-bis Autolaboratorio CJ845CC sul Piazzale Del Frate a Fornaci di Barga lo scorso novembre (vista da Ovest)



3 AUTOLABORATORIO CJ845CC

Nella Tabella 3.1 è fornita una descrizione degli inquinanti monitorati dall'autolaboratorio:

Tabella 3.1 – Inquinanti monitorati.

SO ₂	CO	NO _x	PM10	PM2,5
x	x	x	x	x

SO₂ = biossido di zolfo

CO = monossido di carbonio

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

PM10 = polveri con diametro aerodinamico inferiore a 10 micrometri

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

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

Tabella 3.2 – Caratteristiche tecniche degli strumenti installati

Inquinante	Marca modello	Principio Metodo	Limite Rivelabilità	Precisione
SO ₂	API 101A	Fluorescenza UNI EN14212/12	2,6 µg/m ³	Al 20% del campo di misura ≤ 1,6 µg/m ³ All'80% del campo di misura ≤ 6 µg/m ³
CO	API 300	Assorbimento Radiazione Infrarossa UNI EN 14626/12	0,06 mg/m ³	0,1 mg/m ³
NO _x	API 200A e API 200E (dal 15/03/2018)	Chemiluminescenza UNI EN 14211/12	0,7 µg/m ³	0,5% della lettura
PM10/PM2,5	FAI Hydra Dual Channel	Campionamento gravimetrico su membrane filtranti UNI 12341/14	---	---

Sul Laboratorio mobile CJ845CC 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 C.

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 ZOLFO – normativa e limiti
(paragrafi 1, 3 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	350 µg/m ³ da non superare più di 24 volte per l'anno civile.
Valore limite di 24 ore per la protezione della salute umana	24 ore	125 µg/m ³ da non superare più di 3 volte per anno civile
Livello critico per la protezione della vegetazione	Anno civile	20 µg/m ³
Livello critico per la protezione della vegetazione	Livello critico invernale (1 ottobre – 31 marzo)	20 µg/m ³
Soglia di allarme	Anno civile Superamento di 3 ore consecutive	500 µg/m ³

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 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 4.4 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 4.5 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 (in vigore dal 1° gennaio 2015)

5 RISULTATI

Nel corso dell'anno 2018 è stata svolta la presente indagine nel Comune di Barga nella frazione di Fornaci, Piazzale Del Frate, con il seguente periodo di osservazione:

14 febbraio – 16 dicembre 2018,

per un totale di 107 giorni per NO₂, biossido di azoto, e SO₂, biossido di zolfo; 76 giorni per il particolato atmosferico PM10 e PM2,5 e 73 giorni per il CO, monossido di carbonio (per quest'ultimo inquinante è stato avviato il monitoraggio a partire dal 20 marzo 2018).

La campagna invernale ha avuto luogo dal 14 al 28 febbraio, con replica dal 2 al 16 dicembre; la campagna primaverile dal 1° marzo al 9 aprile; campagna estiva nel periodo dal 6 al 25 luglio, quella autunnale dal 15 novembre al 1° dicembre.

5.1 Standardizzazione

Tutti i valori di concentrazione espressi in unità di massa (µg o mg 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, il cui volume di campionamento si riferisce alle condizioni ambiente in termini di temperatura e di pressione atmosferica alla data delle misurazioni.

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 s.m.i.). Tutti gli indicatori giornalieri sono disponibili sul sito: http://www.arpat.toscana.it/temi-ambientali/aria/qualita-aria/rete_monitoraggio/scheda_stazione/AUTOLABORATORIO-FORNACI-BARGA.

Va sottolineato che i dati acquisiti nel corso delle campagne condotte con il laboratorio mobile permettono di effettuare una trattazione in termini statistici, secondo quanto previsto dalla normativa per la qualità dell'aria, pertanto forniscono un quadro, seppure limitato temporalmente, indicativo della situazione di inquinamento atmosferico relativa al sito in esame. È quindi possibile fare un confronto con i limiti normativi secondo il D.lgs.155/10.

Per completezza, ove possibile, è stato introdotto un confronto con le misure ottenute, nello stesso periodo, presso le centraline di rete regionale di LU-Fornoli (Via Alcide De Gasperi, Fornoli), distante circa 9 km in linea d'aria in direzione Sud-Est e LU-Capannori (Via Carlo Piaggia – Capannori), distante 25 km in direzione Sud-Sud-Est. Ricordiamo che LU-Capannori, LU-Fornoli fanno parte della Rete Regionale, come da Delibera di Giunta Regionale Toscana n° 964/2015.

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

5.3 Biossido di zolfo (SO₂)

Per questo inquinante sono stati presi a riferimento gli indicatori ricavati nello stesso periodo dalle misure effettuate nella stazione fissa di LU-Capannori.

Tabella 5.3.1 - Dati di SO₂ - confronti con LU-Capannori sugli stessi periodi di misura

	Limiti di riferimento	Valori Misurati nel 2018 F.d.B.	LU-Capannori
Dati validi (medie orarie); n°		2337 (91% sul periodo*)	2448
Valore medio orario > 350 µg/m ³ N°/anno superamenti consentiti	24	0	0 (sull'anno)
Massimo valore medio orario rilevato nel periodo in µg/m ³	-	12 (16/02 ore 16)	4 (10/07 ore 9)
Valore medio giornaliero > 125 µg/m ³ N°/anno superamenti consentiti	3	0	0 (sull'anno)
Massimo valore medio giornaliero rilevato nel periodo in µg/m ³	-	8 (16/02)	2 (21/07)

* al netto delle tarature e dei tempi necessari per la manutenzione

In Allegato A si riportano i grafici con gli andamenti dei valori orari e giornalieri per ciascuna delle campagne stagionali effettuate a Fornaci di Barga con il confronto con la centralina di Capannori.

I livelli orari di biossido di zolfo misurati, su tutti il valore medio orario massimo registrato (12 µg/m³) sono sempre inferiori al livello di 1/20 del valore limite orario di 350 µg/m³ sui vari periodi facenti parte della campagna indicativa.

In generale i valori riscontrati sono prossimi al limite di rivelabilità strumentale

Anche i valori delle medie giornaliere, i cui grafici sono riportati in Allegato A, sono ampiamente inferiori al limite: nei vari periodi comprendenti la campagna indicativa di misure non viene mai superato il livello di 1/10 del VL giornaliero di 125 µg/m³ (valore massimo: 8 µg/m³ registrato all'autolaboratorio CJ845CC). Il valore massimo giornaliero su base annua registrato a Capannori è risultato inferiore (massima giornaliera registrata: 2 µg/m³).

5.4 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 5.4.1 – Dati di CO misurati a Fornaci di Barga

	Limiti di riferimento	Valori Misurati nel 2018 F.d.B.
Dati validi (medie orarie); n°		1640 (94% sul periodo*)
Max. valore medio orario rilevato nel periodo (mg/m ³)	-	2,7 (12/12 ore 22)
Media delle concentrazioni orarie (mg/m ³)	-	0,7
Max. valore medio orario mobile di 8 h > 10 mg/m ³ N°/anno superamenti consentiti	Nessun superamento consentito	n° sup. = 0 (massimo rilevato 13/12 ore 2: 2,1 mg/m ³)

* al netto delle tarature e dei tempi necessari per la manutenzione

I valori ottenuti nella campagna di Fornaci di Barga rispettano i limiti di riferimento e sono simili a quelli rilevati nelle poche stazioni di rete regionale in cui viene ora monitorato.

A livello puramente indicativo, si riporta il confronto, riferito all'anno 2018, 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 dalle tabelle presentate in questo paragrafo, Fornaci di Barga si colloca tra i valori medi orari di AR-Repubblica (valori massimi e massimi trascinati su 8h) e quelli di PI-Borghetto e FI-Gramsci, per l'indicatore media sul lungo termine.

Tabella 5.4.2 – Indicatori riferiti all'anno 2018 ricavati dai siti fissi regionali

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

In Allegato A vengono riportati i grafici dei valori medi orari mobili su 8h registrati a Fornaci di Barga in ogni stagione (A.7 – A.10); si evince che l'andamento delle oscillazioni è molto più marcato e regolare nelle stagioni dell'autunno e dell'inverno, con valori massimi comunque sempre inferiori a 1/4 del VL normativo.

5.5 Biossido di azoto (NO₂)

Tabella 5.5.1 - Dati di NO₂ – confronti con i siti fissi sugli stessi periodi di misura

	Limiti di riferimento	Valori Misurati nel 2018 F.d.B.	LU-Fornoli	LU-Capannori
Dati validi (medie orarie); n°		2408 (94% sul periodo*)	2377	2444
Valore orario > 200 µg/m ³ N°/anno superamenti consentiti	18	0	0	0
Media delle concentrazioni orarie (µg/m ³)	40 media annua	17	15	25
Max. valore orario rilevato nel periodo (µg/m ³)	-	74 (02/03 ore 18)	67 (16/02 ore 21)	83 (10/12 ore 19)

* al netto delle tarature e dei tempi necessari per la manutenzione

Essendo la postazione urbana, a media intensità di traffico veicolare, nella Tabella 5.5.1 si evidenziano valori che rispettano i limiti di riferimento e intermedi o di poco superiori rispetto a quelli rilevati nel sito urbano di fondo a Fornoli e assai inferiori rispetto agli indicatori di periodo LU-Capannori, sito di fondo urbano maggiormente influenzato dal traffico veicolare circostante. I valori rilevati nei tre siti rispettano anche i valori guida dell'OMS.

Su base annuale (anno 2018) questi sono i dati restituiti dai siti fissi presi a riferimento:

Tabella 5.5.2 - Dati di NO₂ annuali 2018 dalle centraline fisse prese a riferimento

	Limiti di riferimento	LU-Fornoli	LU-Capannori
Dati validi (medie orarie); n°		8190	8328
Valore orario > 200 µg/m ³ N°/anno superamenti consentiti	18	0	0
Media annuale (µg/m ³)	40 media annua	12	23
Max. valore orario rilevato nell'anno	-	67	84

($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		(16/02 ore 21)	(11/02 ore 21)
------------------------------	--	----------------	----------------

Come si può notare confrontando le due tabelle riassuntive, per quanto riguarda i siti fissi di monitoraggio, si rileva una discreta coerenza tra i vari indicatori di periodo (valori di medie e massime orarie) e gli indicatori annuali. Gli indicatori media annuale, in tutti i casi, sono nettamente al di sotto del VL annuale previsto dalla normativa.

Come si può evincere dalla serie di grafici riportata in Allegato A (A.11 – A.15), si nota una discreta coerenza nei valori e negli andamenti tra Fornaci di Barga e LU-Fornoli nei periodi primaverile, estivo e autunnale. La postazione di LU-Capannori presenta un andamento caratterizzato da valori di medie orarie superiori.

Per quanto riguarda l'inverno, si evidenziano picchi di valori di medie orarie intermedi tra LU-Fornoli e LU-Capannori, centralina che restituisce sempre le concentrazioni più elevate.

Riguardo alle medie sul periodo, il sito di Capannori è contraddistinto da valori delle medie sugli intervalli indicati che sono maggiori di quelli registrati negli altri due siti ($24 \mu\text{g}/\text{m}^3$ in primavera contro i $19 \mu\text{g}/\text{m}^3$ di Fornaci di Barga e i $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ di Fornoli; $13 \mu\text{g}/\text{m}^3$ in estate contro i $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ di Fornaci di Barga e i $7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ di Fornoli).

Nella campagna autunnale sono state ottenute i seguenti valori delle medie di concentrazione di NO_2 sul periodo distinti: $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ per LU-Capannori, $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ per Fornaci di Barga e $18 \mu\text{g}/\text{m}^3$ per Fornoli. Il valore della media sull'autunno registrato a Capannori risulta del 50% più elevato rispetto a quello misurato a Fornaci.

Nella campagna invernale risultano queste le medie di periodo: $32 \mu\text{g}/\text{m}^3$ per LU-Capannori, $22 \mu\text{g}/\text{m}^3$ per Fornaci di Barga e $19 \mu\text{g}/\text{m}^3$ per Fornoli. Anche in questo caso, il valore della media di Capannori sul periodo risulta il 50% maggiore di quello registrato dall'autolaboratorio a Fornaci di Barga.

5.6 Materiale particolato (PM10)

Si riporta la tabella con i dati sintetici della campagna per il materiale particolato PM10, con i confronti con le stazioni fisse di riferimento della Piana Lucchese (LU-Capannori) e della Media Valle del Serchio (LU-Fornoli) nel periodo di durata della campagna indicativa:

Tabella 5.6.1 – Dati di PM10 – confronti con LU-Capannori e LU-Fornoli sugli stessi periodi di misura

	Limiti di riferimento	Valori Misurati nel 2018 F.d.B.	LU-Fornoli	LU-Capannori
Dati validi (medie giornaliere); n°		74 su 76	67 su 76	76 su 76
Media delle medie giornaliere ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	40 media annua	29	25	33
N° superamenti sul periodo	-	10	2	22
90,4° percentile dei dati registrati (da confrontare con VL giornaliero)	50	53	46	67
Massima media giornaliera rilevata nel periodo ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	-	84 (16/12)	67 (16/12)	87 (30/11)

Tabella 5.6.2 – Dati di PM10 annuali del 2018 registrati nei siti fissi presi a riferimento

	Limiti di riferimento	LU-Fornoli	LU-Capannori
Dati validi (medie giornaliere); n°		349	357
Media annua ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	40 media annua	21	30
N° superamenti del VL giornaliero di $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$	35	14	53
Massima media giornaliera rilevata nell'anno ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	-	69 (25/01)	110 (31/12)
90,4° percentile nell'anno	50	41	58

Essendo la campagna di misure indicativa, è possibile confrontare gli indicatori medi di periodo delle misure di Fornaci di Barga con la media annuale prevista dalla normativa (Tabella 5.6.1).

Indicatore: Media

Nei periodi delle campagne di misura, in tutti e tre i siti si ottengono medie su tutto il periodo di indagine inferiori al VL annuale stabilito dalla normativa, con valore a Fornaci di Barga ($29 \mu\text{g}/\text{m}^3$) intermedio rispetto a Fornoli ($25 \mu\text{g}/\text{m}^3$) e Capannori ($33 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Nei tre siti il valore guida

dell'OMS ($20 \mu\text{g}/\text{m}^3$) risulta superato.

Inoltre, per i siti fissi presi a riferimento, si rileva una buona coerenza tra la media dei valori delle medie giornaliere sui periodi della campagna indicativa e l'indicatore media annuale (cfr. Tabella 5.6.2). Il valore dell'indicatore media nel periodo monitorato anche nella postazione di Fornaci di Barga può quindi essere considerato una valida stima della media della zona nell'anno di riferimento, e rientra ampiamente nell'incertezza del 50% accettata dall'Allegato I del D.Lgs. 155/2010. I valori delle medie in entrambe le stazioni fisse sono più elevati nei circa 70 giorni della campagna rispetto ai 365 giorni in quanto durante la campagna il periodo invernale (circa 30 gg) è più lungo degli altri periodi (15 gg per stagione).

Si osserva inoltre che il valore della media a Fornaci di Barga ($29 \mu\text{g}/\text{m}^3$) è ampiamente inferiore rispetto alla campagna del 2015-2016 ($43 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Nella presente campagna il periodo invernale di campionamento di 30 giorni è ampiamente più rappresentativo della precedente campagna di 15 giorni per ciascuna stagione. Nel 2018 i valori delle medie annuali di PM10 in quasi tutte le stazioni di rete regionale sono inferiori a quelli del 2015, pertanto nel contesto di una generale diminuzione è plausibile che anche a Fornaci di Barga il valore riscontrato sia inferiore rispetto alla campagna precedente.

Indicatore: n° superamenti del valore limite giornaliero

Per quanto attiene al numero di superamenti annuo del VL giornaliero di PM10, come indicato dal D.Lgs. 155/2010, Allegato I, Par. 1, il numero di superamenti non è utilizzabile perché è fortemente influenzato dalla copertura dei dati. È tuttavia possibile utilizzare i valori relativi al 90,4° percentile, anche se l'indicatore è molto condizionato dalla modalità di copertura dei dati nelle stagioni. Il periodo invernale è l'unico periodo in cui in genere si possono rilevare superamenti del valore limite giornaliero; al fine di verificare il valore relativo al 90,4% della intera campagna un periodo di soli 15 giorni di campionamento può non essere rappresentativo della stagione invernale se i livelli di concentrazioni variano molto all'interno della stagione. Per questo motivo la distribuzione stagionale dei campionamenti a Fornaci di Barga non è stata uniforme ma è stato effettuato un numero di giornate di campionamento superiore nel periodo invernale rispetto alle altre stagioni, in quanto i superamenti del valore limite anche a Fornaci di Barga si verificano quasi esclusivamente in inverno. Quindi il valore relativo al 90,4% è condizionato dal peso maggiore della campagna invernale sul totale della campagna ma certamente è più cautelativo rispetto a una campagna di 15 giorni per stagione.

Fornaci di Barga restituisce su tutto il periodo un valore relativo al 90,4° percentile uguale a $53 \mu\text{g}/\text{m}^3$, superiore al VL giornaliero di riferimento ($=50 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Nello stesso periodo il 90,4° percentile di Capannori corrisponde al valore di $67 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e quello di Fornoli a $46 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Nei due siti presi a riferimento il valore relativo al 90,4° percentile nell'intero 2018 è stato 58 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ per Capannori e 41 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ per Fornoli. Quindi passando da 70 dati circa a 365 dati il valore del 90,4° percentile risulta rispettivamente inferiore del 13 e dell'11%. Si può quindi prevedere che anche a Fornaci di Barga con 365 giorni di campionamento il 90,4° percentile dovrebbe risultare inferiore a quello riscontrato, ma probabilmente nell'intorno di 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Si osserva inoltre che rispetto alla campagna del 2015-2016, il valore attuale del 90,4° percentile di Fornaci di Barga è ampiamente inferiore (53 rispetto a 90 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). Nel 2015-2016 i giorni di campionamento per stagione erano 15 ed erano equamente distribuiti nelle quattro stagioni. Questo andamento di diminuzione del valore è coerente con l'andamento annuale del PM10 nella regione toscana dal 2015 ad oggi. Infatti ad esempio a Capannori il valore del 90,4° percentile è passato da 69 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ nel 2015 a 60 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ nel 2018 e quello di Fornoli da 50 a 41 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

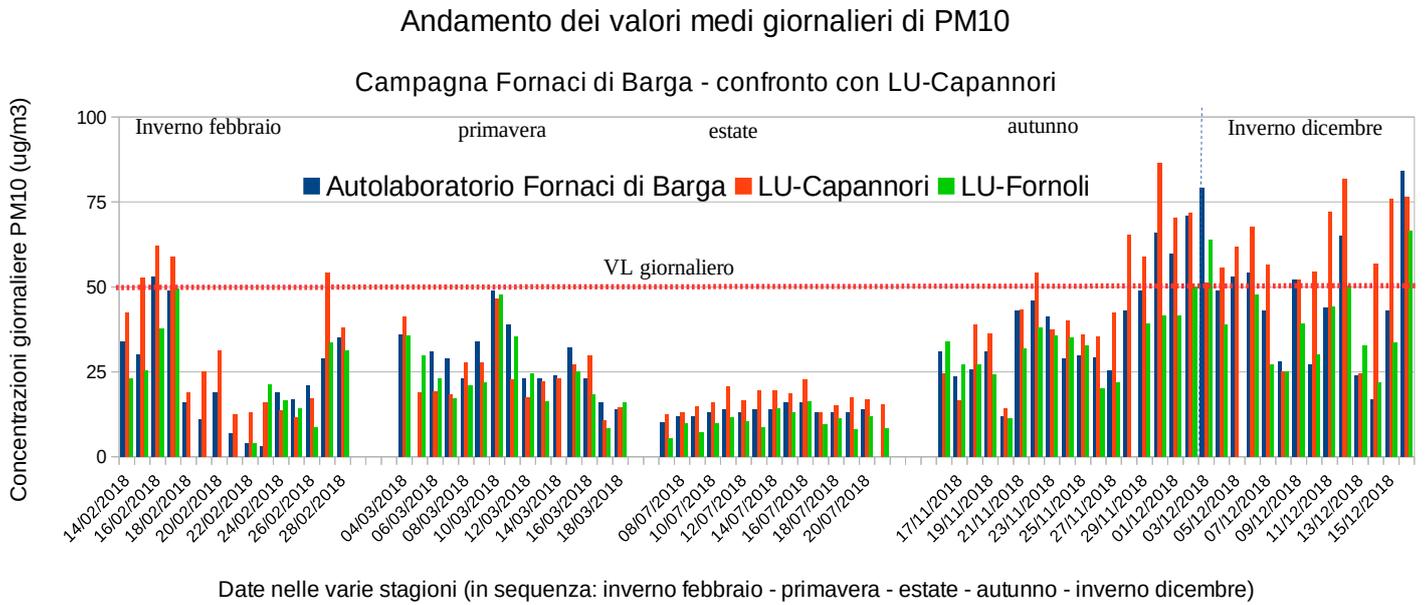
In relazione alla appartenenza di Fornaci di Barga alla "Zona collinare e montana", oltre a quello già detto per LU-Fornoli, si osserva nella Tabella 5.6.3 sottostante che i valori degli indicatori relativi al PM10 a Fornaci di Barga sono in genere più elevati rispetto a quelli delle altre stazioni della zona stessa, sia rurali (AR-Casa Stabbi), sia suburbane di fondo (PI-Montecerboli), sia urbane di fondo (SI-Poggibonsi) o di traffico (SI-Bracci).

Tabella 5.6.3 – Indicatori sui periodi della campagna di Fornaci di Barga per i siti fissi regionali della Zona Collinare e Montana

PM10 Zona Collinare e Montana			
Sito di misura	Comune	Valore medio sui periodi della campagna di Fornaci di Barga ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	90,4° percentile calcolato sui periodi della campagna di Fornaci di Barga ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
SI-Bracci	Siena	17	28
SI-Poggibonsi	Poggibonsi	18	26
AR-Casa Stabbi	Chitignano	8	15
PI-Montecerboli	Pomarance	10	15

Confronto degli andamenti giornalieri stagionali

Grafico 5.6.1 – Andamento e confronti dei valori delle medie giornaliere del PM10 – tutte le misure



Di seguito si riporta la tabella dei valori di concentrazione media giornaliera del PM10 in confronto con i valori misurati nelle centraline prese a riferimento, LU-Fornoli e LU-Capannori:

Tabella 5.6.4 - Medie giornaliere del PM10 nei periodi indagati (in $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

	Fornaci di Barga	LU-Fornoli	LU-Capannori	
Data	PM10 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	PM10 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	PM10 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	
Inverno febbraio	14/02/2018	34	23	42
	15/02/2018	30	25	53
	16/02/2018	53	38	62
	17/02/2018	49	49	59
	18/02/2018	16		19
	19/02/2018	11		25
	20/02/2018	19		31
	21/02/2018	7		12
	22/02/2018	4	4	13
	23/02/2018	3	21	16
	24/02/2018	19	17	14
	25/02/2018	17	14	12
	26/02/2018	21	9	17
	27/02/2018	29	34	54
	28/02/2018	35	31	38
Primavera	04/03/2018	36	36	41
	05/03/2018		30	19
	06/03/2018	31	23	19
	07/03/2018	29	17	18
	08/03/2018	23	21	28
	09/03/2018	34	22	28
	10/03/2018	49	48	47
	11/03/2018	39	35	23
	12/03/2018	23	25	18
	13/03/2018	23	16	22
	14/03/2018	24		23
	15/03/2018	32	25	27
	16/03/2018	23	19	30
	17/03/2018	16	8	11
	18/03/2018	14	16	15

Estate

	Fornaci di Barga	LU-Fornoli	LU-Capannori
Data	PM10 [ug/m3]	PM10 [ug/m3]	PM10 [ug/m3]
07/07/2018	10	6	12
08/07/2018	12	10	13
09/07/2018	12	7	15
10/07/2018	13	10	16
11/07/2018	14	12	21
12/07/2018	13	10	17
13/07/2018	14	9	19
14/07/2018	14	14	20
15/07/2018	16	13	19
16/07/2018	16	16	23
17/07/2018	13	10	13
18/07/2018	13	11	15
19/07/2018	13	8	17
20/07/2018	14	12	17
21/07/2018		8	15

Autunno

	Fornaci di Barga	LU-Fornoli	LU-Capannori
Data	PM10 [ug/m3]	PM10 [ug/m3]	PM10 [ug/m3]
16/11/2018	31	34	25
17/11/2018	24	27	17
18/11/2018	26	27	39
19/11/2018	31	24	36
20/11/2018	12	11	14
21/11/2018	43	32	43
22/11/2018	46	38	54
23/11/2018	41	36	37
24/11/2018	29	35	40
25/11/2018	30	33	36
26/11/2018	29	20	36
27/11/2018	25	22	42
28/11/2018	43		66
29/11/2018	49	39	59
30/11/2018	66	42	87
01/12/2018	60	41	70
02/12/2018	71	50	72
03/12/2018	79	64	51
04/12/2018	49	39	56
05/12/2018	53		62
06/12/2018	54	48	68
07/12/2018	43	27	57
08/12/2018	28	25	25
09/12/2018	52	39	52
10/12/2018	27	30	55
11/12/2018	44	44	72
12/12/2018	65	50	82
13/12/2018	24	33	25
14/12/2018	17	22	57
15/12/2018	43	34	76
16/12/2018	84	67	77

**Inverno
dicembre**

Dall'istogramma dell'estate, è evidente un livello medio piuttosto contenuto (al di sotto della metà del VL giornaliero) caratterizzante tutti e tre i siti di misura messi a confronto, con i valori più elevati registrati a Capannori.

Per quanto riguarda la postazione di Fornaci si osserva un innalzamento del livello medio già nella prima campagna invernale, nell'autunno, con alcuni superamenti del VL giornaliero sia a Fornaci di Barga che a Capannori, e un innalzamento ancora più marcato negli ultimi giorni del periodo autunnale; infatti LU-Capannori il 30/11 ha fatto registrare il valore più elevato di concentrazione misurata nei periodi di indagine con il mezzo mobile: $87 \mu\text{g}/\text{m}^3$; il sito di Fornaci di Barga, come quello di Fornoli, ha avuto il massimo valore di concentrazione PM10 giornaliera il 16/12 a conclusione della seconda campagna invernale, che ha fatto registrare la maggioranza dei superamenti del VL giornaliero sia per Capannori che per Fornaci. I valori massimi giornalieri del PM10 registrati a Fornaci di Barga e a Capannori superano gli $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$ mentre a Fornoli il massimo risulta al di sotto dei $70 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Dal Grafico 5.6.1 si nota come l'istogramma di colore arancione riportante i dati di PM10 di LU-Capannori abbia una prevalenza assai netta su tutto l'anno, a parte una piccola parentesi primaverile, sui dati registrati a Fornaci di Barga. LU-Fornoli, in linea con gli indicatori espressi nelle tabelle riassuntive, risulta il sito con minore presenza di PM10.

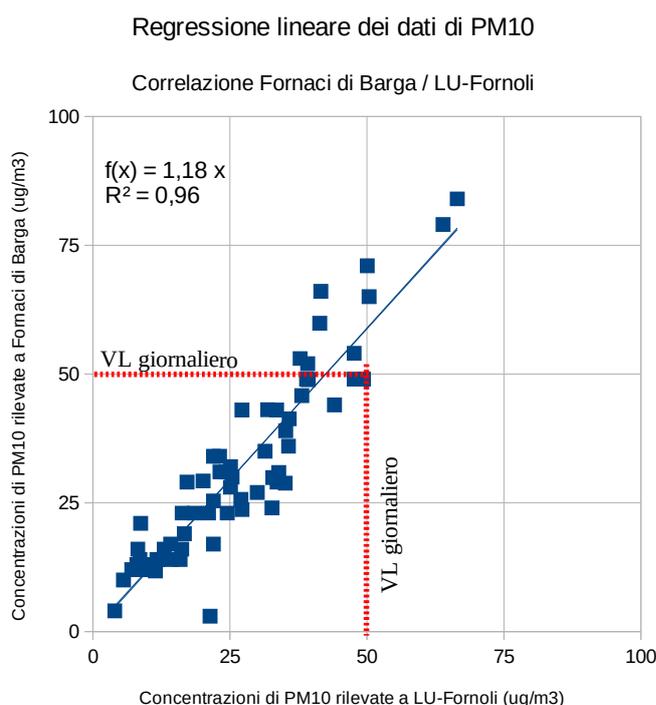
Per completezza di informazione in allegato A sono riportati i valori di concentrazione di alcuni metalli determinati sul particolato PM10, attività svolta da ARPAT non nell'ambito della presente convenzione.

5.6.1 Correlazione delle misure di PM10 di Fornaci di Barga con LU-Fornoli

Di seguito si riporta la valutazione della correlazione tra i valori delle medie giornaliere di PM10 registrate a Fornaci di Barga con quelle di LU-Fornoli, il sito fisso ubicato nel medesimo contesto territoriale della Media Valle del Serchio.

Il grafico di dispersione rappresenta in ascissa i dati di PM10 di LU-Fornoli e in ordinata quelli registrati a Fornaci di Barga negli intervalli stagionali indagati e i punti costituiscono le coppie di valori di PM10 misurati nello stesso giorno. In evidenza nel grafico vi sono la linea di tendenza, la sua equazione e il coefficiente di determinazione R^2 .

Grafico 5.6.1.1 – Dispersione dei dati di PM10 MM1 Lucca / LU-Fornoli



Il valore di R^2 , superiore a 0,95, indica una ottima correlazione. Il coefficiente angolare della retta di regressione ($m = 1,18$) indica che i valori di PM10 registrati a Fornaci di Barga sono superiori rispetto a quelli misurati a Fornoli per circa il 20%.

Da un calcolo dei coefficienti di correlazione dei dati sopra rappresentati risulta che il coefficiente di Pearson è uguale a **0,93**; il coefficiente di Lin è uguale a **0,88** e il coefficiente (differenza – media) per ciascuna coppia di dati di PM10 è uguale a **0,53**. Il fatto che il **coefficiente di Pearson** sia 0,93 indica che la correlazione è molto forte e le due stazioni sono in fase con i valori misurati giornalmente. Il **coefficiente di Lin** di poco inferiore a 0,9 indica che i punti derivati dalle coppie di valori delle medie giornaliere più elevate si discostano dalla bisettrice ideale ($m = 1$; $q = 0$) in maniera non netta (m infatti è uguale a 1,18) e che le stazioni esaminate misurano

sostanzialmente simili livelli di inquinamento. Il fatto che **l'indice di concordanza (differenza – media)** abbia un valore intermedio (uguale a 0,53) indica che i due siti di misura hanno livelli di oscillazione dei valori giornalieri registrati simili, ma non uguali.

In aggiunta, il Grafico 5.6.1.1 indica anche quanto già accennato sopra, e cioè che nell'area del quadrato oltre il VL giornaliero ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$) i punti sono dispersi alla stessa stregua di quelli ricompresi nel quadrato.

In generale, si può affermare che i dati di PM10 registrati a Fornaci di Barga nel corso del 2018 mostrano valori superiori entro il 20% rispetto alle concentrazioni di PM10 registrate a Fornoli sugli stessi periodi, come già evidente a partire dalla Tabella 5.6.4 sopra riportata.

5.7 Materiale particolato fine (PM_{2,5}) e frazione percentuale

Tabella 5.7.1 – Dati di PM₁₀ – confronti con LU-Capannori sugli stessi periodi di misura

	Limiti di riferimento	Valori Misurati nel 2018 F.d.B.	LU-Capannori
Dati validi (medie giornaliere); n°		76 su 76	76 su 76
Media delle medie giornaliere (µg/m ³)	25 media annua	24	26
Massima media giornaliera rilevata nel periodo (µg/m ³)	-	80 (16/12)	78 (30/11)

Tabella 5.7.2 – Dati di PM₁₀ annuali del 2018 registrati nel sito preso a riferimento

	Limiti di riferimento	LU-Capannori
Dati validi (medie giornaliere); n°		357
Media annuale (µg/m ³)	25 media annua	22
Massima media giornaliera rilevata nell'anno (µg/m ³)	-	109 (31/12)

Come si può evincere dalle tabelle i dati di PM_{2,5} nei due siti possono definirsi confrontabili, stante una lieve predominanza dei dati registrati a LU-Capannori. Il valore medio sulle campagne registrato a Fornaci è di un'unità inferiore al VL annuale, mentre il valore medio, riferito all'anno 2018, di LU-Capannori rispetta il VL annuale. In entrambe le postazioni il valore guida dell'OMS non è rispettato (10 µg/m³).

Grafico 5.7.1 – Andamento e confronti dei valori delle medie giornaliere del PM2,5 – tutte le misure

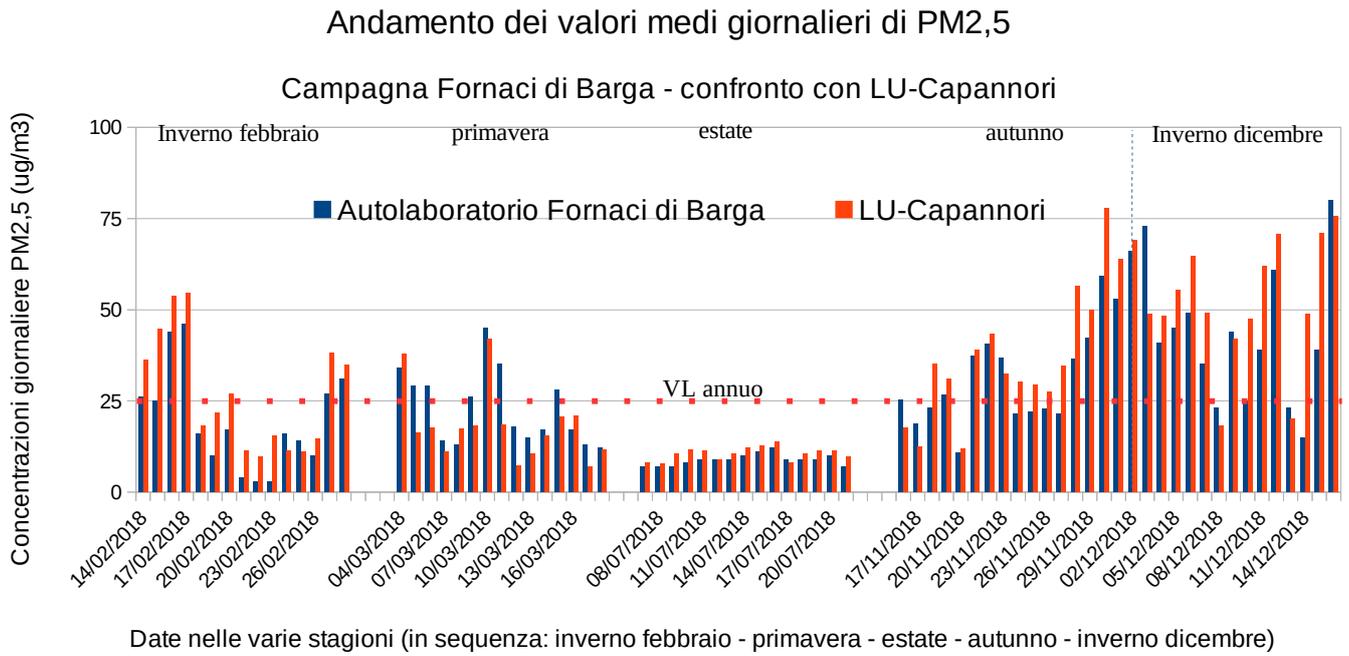


Tabella 5.7.3 – Valori medi giornalieri del PM2,5 nei periodi indagati (in $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

**Inverno
febbraio**

Data	Autolaboratorio Fornaci di Barga PM2,5 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	LU-Capannori PM2,5 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]
14/02/2018	26	36
15/02/2018	25	45
16/02/2018	44	54
17/02/2018	46	55
18/02/2018	16	18
19/02/2018	10	22
20/02/2018	17	27
21/02/2018	4	11
22/02/2018	3	10
23/02/2018	3	16
24/02/2018	16	11
25/02/2018	14	11
26/02/2018	10	15
27/02/2018	27	38
28/02/2018	31	35

Primavera

Data	Autolaboratorio Fornaci di Barga PM2,5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	LU-Capannori PM2,5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
04/03/2018	34	38
05/03/2018	29	16
06/03/2018	29	18
07/03/2018	14	11
08/03/2018	13	17
09/03/2018	26	18
10/03/2018	45	42
11/03/2018	35	18
12/03/2018	18	7
13/03/2018	15	11
14/03/2018	17	15
15/03/2018	28	21
16/03/2018	17	21
17/03/2018	13	7
18/03/2018	12	12

Estate

	Autolaboratorio Fornaci di Barga	LU-Capannori
Data	PM2,5 [ug/m3]	PM2,5 [ug/m3]
07/07/2018	7	8
08/07/2018	7	8
09/07/2018	7	11
10/07/2018	8	12
11/07/2018	9	11
12/07/2018	9	9
13/07/2018	9	11
14/07/2018	10	12
15/07/2018	11	13
16/07/2018	12	14
17/07/2018	9	8
18/07/2018	9	11
19/07/2018	9	11
20/07/2018	10	11
21/07/2018	7	10

Autunno

	Autolaboratorio Fornaci di Barga	LU-Capannori
Data	PM2,5 [ug/m3]	PM2,5 [ug/m3]
16/11/2018	25	18
17/11/2018	19	12
18/11/2018	23	35
19/11/2018	27	31
20/11/2018	11	12
21/11/2018	37	39
22/11/2018	41	43
23/11/2018	37	33
24/11/2018	21	30
25/11/2018	22	29
26/11/2018	23	28
27/11/2018	21	35
28/11/2018	36	56
29/11/2018	42	50
30/11/2018	59	78
01/12/2018	53	64
02/12/2018	66	69
03/12/2018	73	49
04/12/2018	41	48
05/12/2018	45	55
06/12/2018	49	65
07/12/2018	35	49
08/12/2018	23	18
09/12/2018	44	42
10/12/2018	25	47
11/12/2018	39	62
12/12/2018	61	71
13/12/2018	23	20
14/12/2018	15	49
15/12/2018	39	71
16/12/2018	80	76

**Inverno
dicembre**

Come si può evincere dalla Tabella 5.7.3 e dal Grafico 5.7.1, i valori di PM2,5 nei due siti raggiungono concentrazioni medie giornaliere anche tre volte il VL annuale, e, tranne che in estate, arrivano a due volte il VL annuale in talune giornate. Il tenore estivo è invece molto contenuto, tanto che solo a LU-Capannori si arriva ad una concentrazione di 14 µg/m³ in una sola occasione (16/07/2018).

Grafico 5.7.2 – Andamento e confronti dei valori delle frazioni percentuali PM2,5/PM10 – tutte le misure

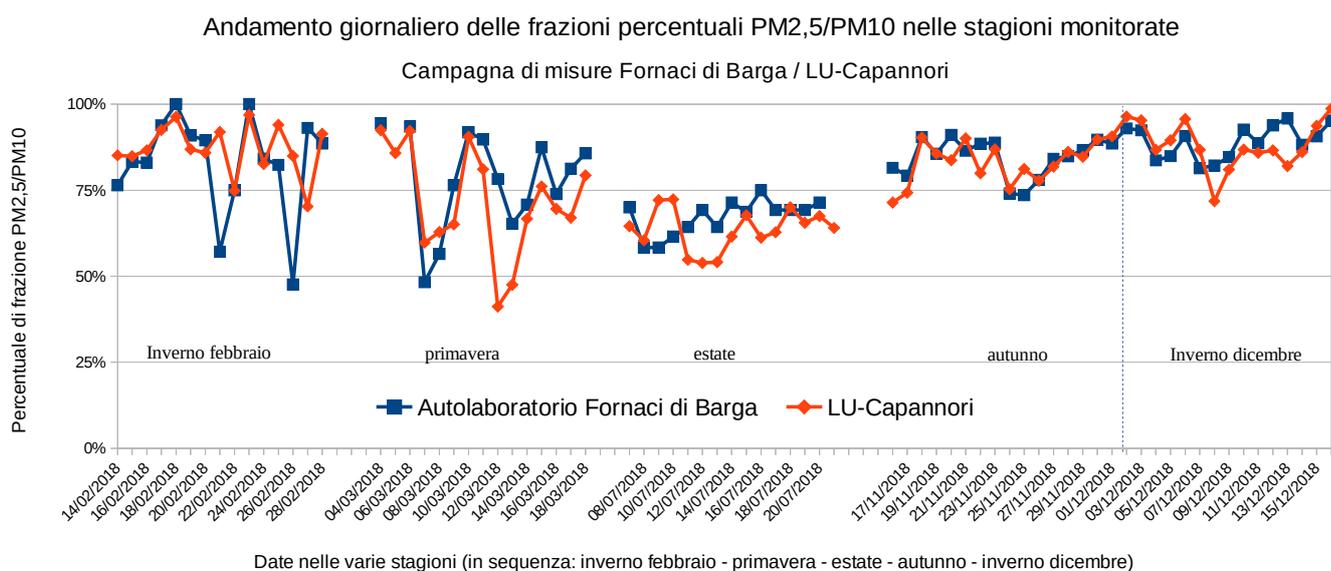


Tabella 5.7.4 – Frazioni percentuali PM_{2,5}/PM₁₀ (%) medie per stagione sui medesimi periodi di misura e su tutta la campagna. Confronto con LU-Capannori.

MEDIE DELLE FRAZIONI PER STAGIONE		
POSTAZIONE DI MISURA	STAGIONE	FRAZIONE %
Fornaci di Barga	INVERNO (febbraio + dicembre)	86%
LU-Capannori		88%
Fornaci di Barga	PRIMAVERA	78%
LU-Capannori		72%
Fornaci di Barga	ESTATE	67%
LU-Capannori		64%
Fornaci di Barga	AUTUNNO	84%
LU-Capannori		83%
Fornaci di Barga	TUTTA LA CAMPAGNA INDICATIVA	79%
LU-Capannori		76%

Osservando la Tabella 5.7.4 e il Grafico 5.7.2, si nota come sussista anche in questi due siti la tipica stagionalità di questo indicatore “frazione % di PM_{2,5} su PM₁₀”, che mediamente si attesta tra il 60 e il 70%; in inverno si registrano valori di frazioni percentuale PM_{2,5}/PM₁₀ vicine al 90%; valori superiori all’80% in autunno in entrambi i siti; in primavera, si ha una frazione media di 78% per quanto riguarda il sito di Fornaci di Barga, maggiore rispetto a Capannori, 72%. In estate i valori rientrano nella fascia suddetta tra il 60 e il 70%. Sul periodo della campagna indicativa la frazione percentuale risulta leggermente maggiore a Fornaci che a Capannori.

Complessivamente, si può affermare che in entrambi i siti l’incidenza della frazione fine PM_{2,5} su quella PM₁₀ è superiore rispetto ad analoghi siti di tipologia “urbana – fondo” su scala regionale.

6 Conclusioni

Nella campagna indicativa, comprendente due periodi invernali, svoltasi presso il sito di Piazzale Del Frate a Fornaci di Barga, nel territorio comunale di Barga, in una postazione di tipo “urbana - fondo”, si evidenzia il rispetto del valore limite per il **valore medio di concentrazione del PM10** sull'intero periodo ($29 \mu\text{g}/\text{m}^3$), valore intermedio tra i valori misurati a LU-Capannori ($33 \mu\text{g}/\text{m}^3$) e LU-Fornoli ($25 \mu\text{g}/\text{m}^3$) e assai inferiore rispetto al valore di $43 \mu\text{g}/\text{m}^3$ registrato nella campagna precedente degli anni 2015-2016. Non ci sono elementi per ipotizzare il possibile superamento valore limite annuale di PM10.

Il valore relativo al **90,4° percentile**, utilizzato per stabilire il superamento o meno dei 35 superamenti del Valore Limite giornaliero di PM10 su base annua, seppur indicativo perché molto dipendente dalla distribuzione dei giorni di campionamento, fa registrare valori ($53 \mu\text{g}/\text{m}^3$) che risultano al di sopra del VL giornaliero di confronto ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$). A differenza di quanto registrato nella campagna 2015-2016 (90,4° percentile pari a $90 \mu\text{g}/\text{m}^3$) il valore è molto inferiore, tuttavia si può supporre il superamento del limite dei 35 superamenti/anno del VL giornaliero consentiti. In generale le campagne indicative non forniscono risultati definitivi rispetto a questo indicatore.

Da un confronto tra le due serie numeriche di PM10 rilevate nella Media Valle del Serchio (Fornaci e LU-Fornoli), sorge una correlazione molto forte e con andamenti e oscillazioni simili, che evidenzia che i valori delle medie giornaliere di PM10 ottenute a Fornaci di Barga sono superiori di circa il 20% rispetto a quelle registrate a Fornoli.

I valori degli indicatori relativi al PM10 a Fornaci di Barga sono più elevati di quelli corrispondenti nella zona Collinare-montana, sia stazioni rurali (AR-Casa Stabbi), sia suburbane (PI-Montecerboli), sia stazioni urbane di fondo (SI-Poggibonsi) o di traffico (SI-Bracci).

Il **PM2,5 e la relativa frazione percentuale %** sul PM10 fanno registrare valori di concentrazione giornaliera paragonabili a quelli di LU-Capannori, con valori superiori rispetto ad altre stazioni urbane fondo regionali.

Per quanto riguarda il **biossido di azoto**, il livello medio del periodo rispetta il valore limite ed è di poco superiore a quello misurato a LU-Fornoli (+13%) e inferiore del 32% rispetto all'omologo indicatore di LU-Capannori, con meno margine di differenziazione con quest'ultimo sito rispetto alla campagna 2015-2016.

Per quanto riguarda il **biossido di zolfo**, i valori rilevati sono molto bassi rispetto ai valori limite e confrontabili con il limite di rivelabilità strumentale, analogamente alla campagna precedente.

Per quanto concerne il **monossido di carbonio**, non monitorato nella precedente campagna

2015-2016, è stata condotta una campagna di misure dalla primavera all'inverno 2018. La raccolta dati è stata conforme (globalmente è stato raggiunto il 94% sul periodo indicativo marzo - dicembre). Il massimo del valore medio mobile su 8h (indicatore utile da un punto di vista normativo) è stato di poco superiore a 1/5 del VL normativo (2,1 mg/m³ contro 10 mg/m³).

Per completezza di informazione in allegato A sono riportati i valori di concentrazione di alcuni metalli determinati sul particolato PM10 , attività svolta da ARPAT non nell'ambito della presente convenzione.

ALLEGATO A: misure dei Metalli su PM 10

In questa campagna annuale, grazie alla collaborazione del Laboratorio di Area Vasta Centro, sono state effettuate sui campioni di PM10 delle analisi sui Metalli di principale interesse ambientale: piombo (Pb), arsenico (As), cadmio (Cd), nichel (Ni), rame (Cu), zinco (Zn) e stagno (Sn).

Il piombo è normato dal Decreto Legge 155/2010 da un valore limite (VL) annuale e As, Cd e Ni da un valore obiettivo annuale. Rame e zinco hanno valori di riferimento stabiliti da una "Horizontal Guidance Note" del 2003 del IPPC - H1 della Agenzia Ambientale del Regno Unito (UK). Per lo stagno non sono riportati limiti di riferimento specifici, se non per i composti inorganici, eccetto SnH₄ (valore di riferimento UK espresso come Sn: 20 µg/m³), e per i composti organici (valore di riferimento UK come Sn: 1 µg/m³). Comunque, anche in via cautelativa, il risultato ottenuto a Fornaci di Barga, riportato in Tabella A.3 è pari a un millesimo del valore di riferimento minimo riportato dalla "Guidance note" del Regno Unito.

I risultati ottenuti nella campagna indicativa a Fornaci di Barga e i valori di riferimento da confrontare possono essere riportati sinteticamente nelle tabelle sottostanti:

Tabella A.1

Metallo	Valore medio sulla campagna indicativa annuale svolta a Fornaci di Barga – Anno 2018 (ng/m ³)	Valore Limite D.Lgs. 155/2010 (ng/m ³)
Piombo	4	500

Tabella A.2

Metallo	Valore medio sulla campagna indicativa annuale svolta a Fornaci di Barga – Anno 2018 (ng/m ³)	Valore Obiettivo D.Lgs. 155/2010 (ng/m ³)
Arsenico	0,3	6,0
Cadmio	0,4	5,0
Nichel	1,8	20,0

Tabella A.3

Metallo	Valore medio sulla campagna indicativa annuale svolta a Fornaci di Barga – Anno 2018 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Valore di riferimento nell'aria ambiente IPPC H1 UK – ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Rame	0,02	10
Zinco	0,1	50
Stagno	0,001	n.d.

Come si può evincere dalle tabelle sopra, per il piombo il risultato di Fornaci è al di sotto di un centesimo del VL annuale. Per quanto riguarda i valori obiettivo di arsenico, cadmio e nichel i valori medi sono al di sotto di un decimo del valore di riferimento (ex D.Lgs. 155/2010).

Per quanto attiene ai metalli non riportati nella normativa nazionale, i valori medi ottenuti sulla campagna per rame e zinco sono pari a un cinquecentesimo (1/500) del valore di riferimento riportato in Appendice D su IPPC – H1 (2003) come “EAL for Air” (Environmental Assessment Levels for Air (for the protection of human health)).

Per avere un confronto e una visuale più ampia del rispetto dei limiti teorici della normativa nazionale è stato fatto un confronto con due realtà toscane molto importanti sia da un punto di vista demografico che di pressioni sul territorio, Firenze e Livorno. Per Firenze è stato preso a confronto il sito di misura regionale “urbano – traffico” di Viale Gramsci e per Livorno il sito “urbano – fondo” di Via La Pira.

Tabella A.4

Centralina	Comune	Tipologia	Pb (ng/m^3)	As (ng/m^3)	Ni (ng/m^3)	Cd (ng/m^3)
FI-Gramsci	Firenze	Urbana Traffico	4	0,4	3,1	0,4
LI-La Pira	Livorno	Urbana Fondo	3	0,3	3,1	0,1

I valori medi sull'anno 2018, ottenuti dal monitoraggio dei metalli nei due siti fissi di Firenze e Livorno, sono sostanzialmente in linea con quelli di Fornaci di Barga per quanto attiene al piombo (tenendo conto che il VL annuale è più di 100 volte superiore in tutti i casi). Per quanto riguarda l'arsenico Fornaci e Livorno danno lo stesso risultato (inferiore a 1/10 del valore obiettivo normativo), FI-Gramsci di poco superiore. Per quanto riguarda il nichel i siti fissi delle due città restituiscono valori superiori, sempre tenendo conto che tutti i risultati sono al di sotto di 1/5 del valore obiettivo. Per quanto riguarda il cadmio, in tutti i siti i risultati sono inferiori a 1/10 del valore

obiettivo e Fornaci di Barga si assesta su un valore medio in linea con Firenze.

In sostanza le concentrazioni di metalli riscontrate durante le campagne indicative a Fornaci di Barga sono in linea con i livelli riscontrati nelle stazioni di rete regionali, che in genere presentano valori prossimi al limite di rivelabilità strumentale.

ALLEGATO B: grafici per SO₂, CO e NO₂

Nota per la consultazione: il VL normativo per la grandezza riportata in ciascun grafico è pari al valore massimo di concentrazione riportato in ordinata, laddove non diversamente annotato all'interno del grafico stesso

Grafico A.1 – SO₂ – Andamento e confronto dei dati orari per la campagna invernale di dicembre

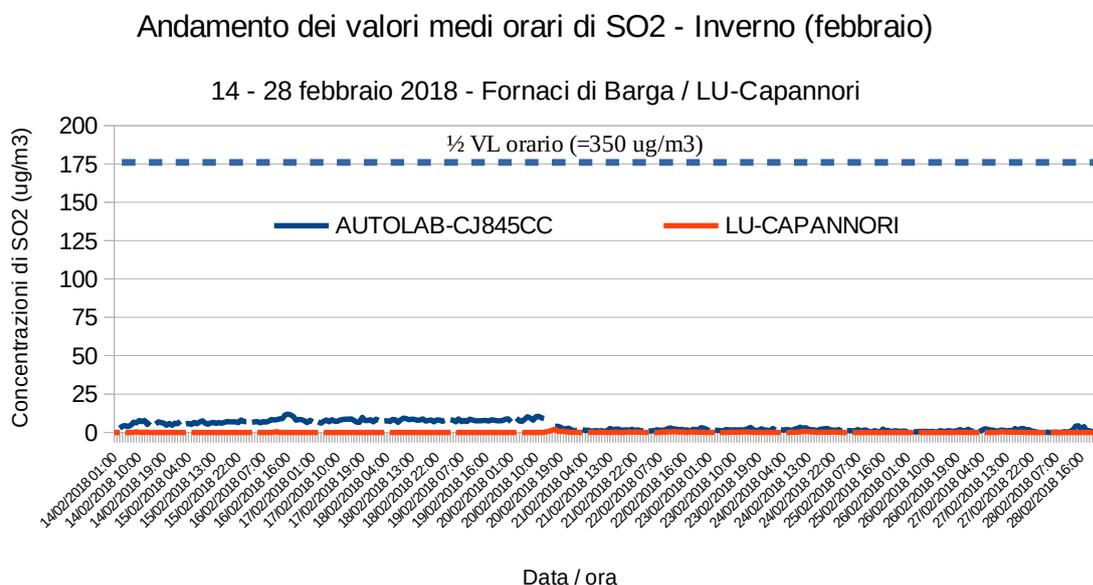


Grafico A.2 – SO₂ – Andamento e confronto dei dati orari per la campagna primaverile

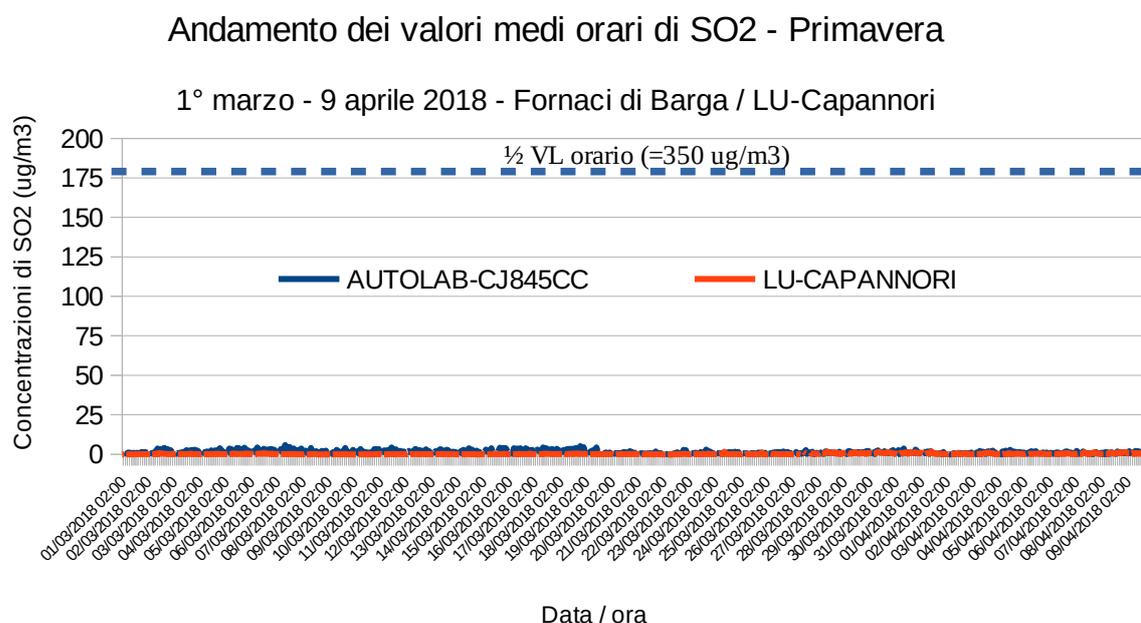


Grafico A.3 – SO₂ – Andamento e confronto dei dati orari per la campagna estiva

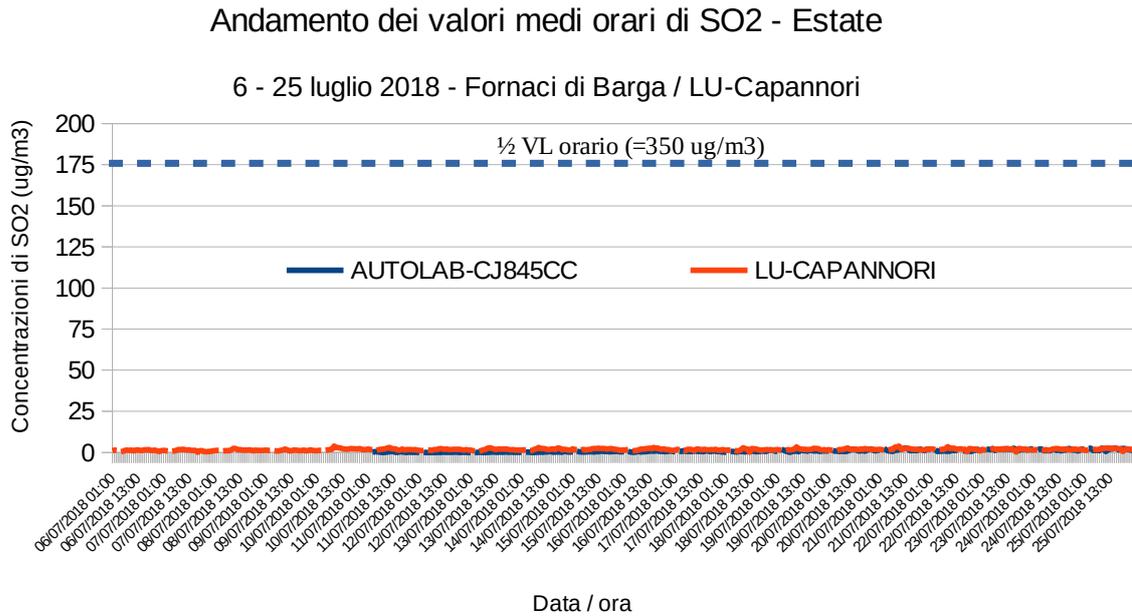


Grafico A.4 – SO₂ – Andamento e confronto dei dati orari per la campagna autunnale

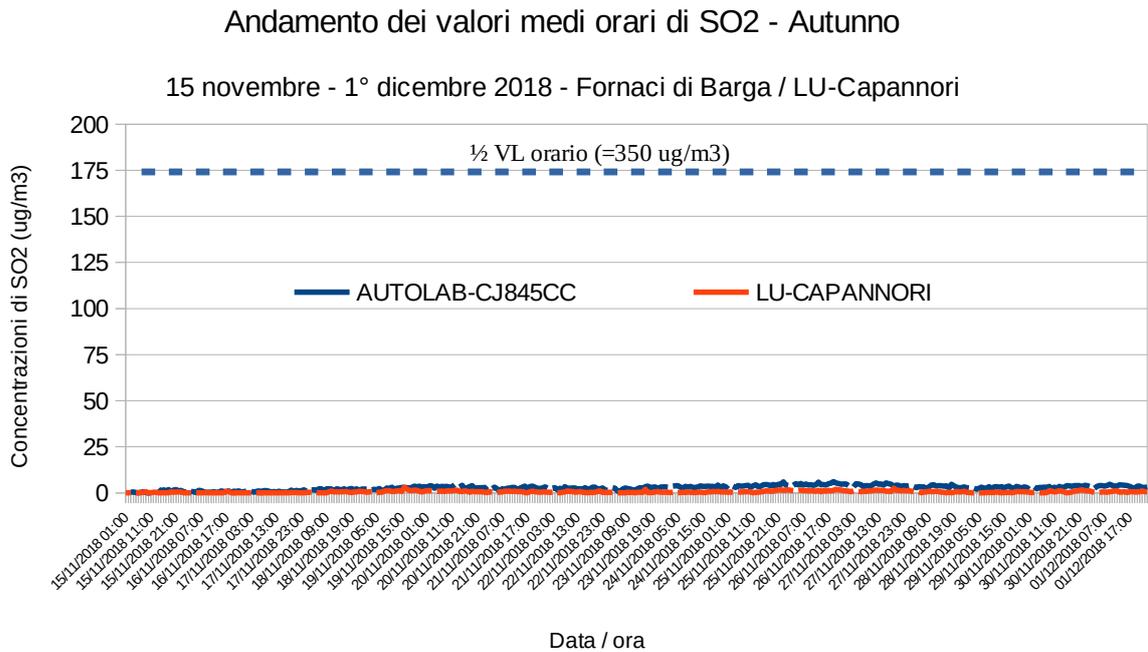


Grafico A.5 – SO₂ – Andamento e confronto dei dati orari per la campagna invernale di dicembre

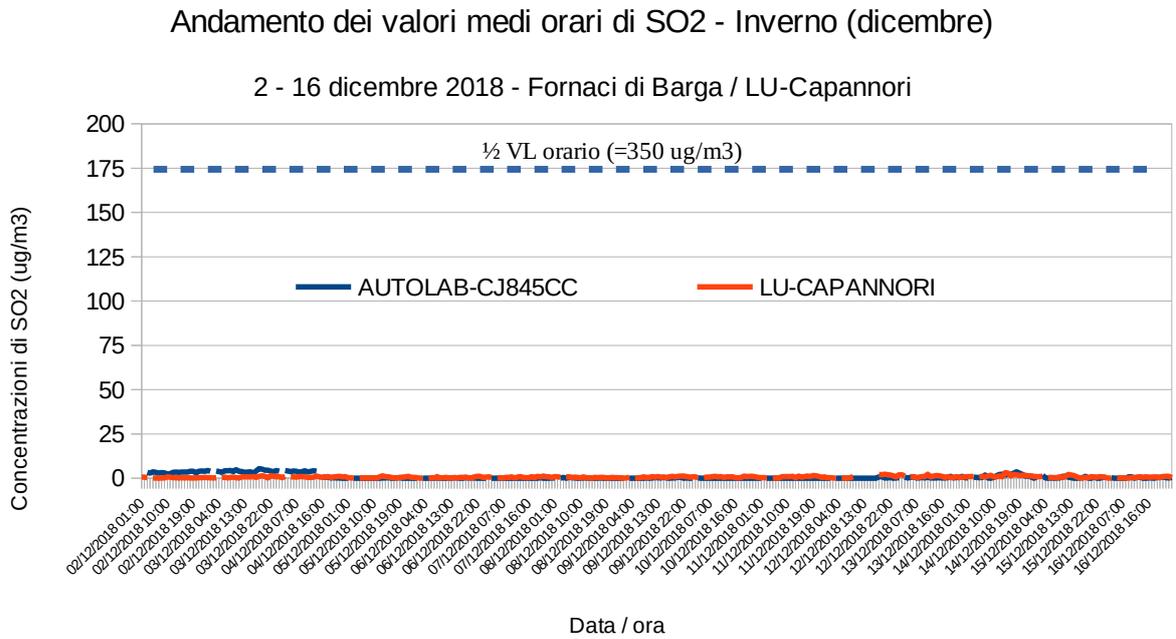


Grafico A.6 – SO₂ – Andamento e confronto dei dati giornalieri su tutti i periodi della campagna indicativa

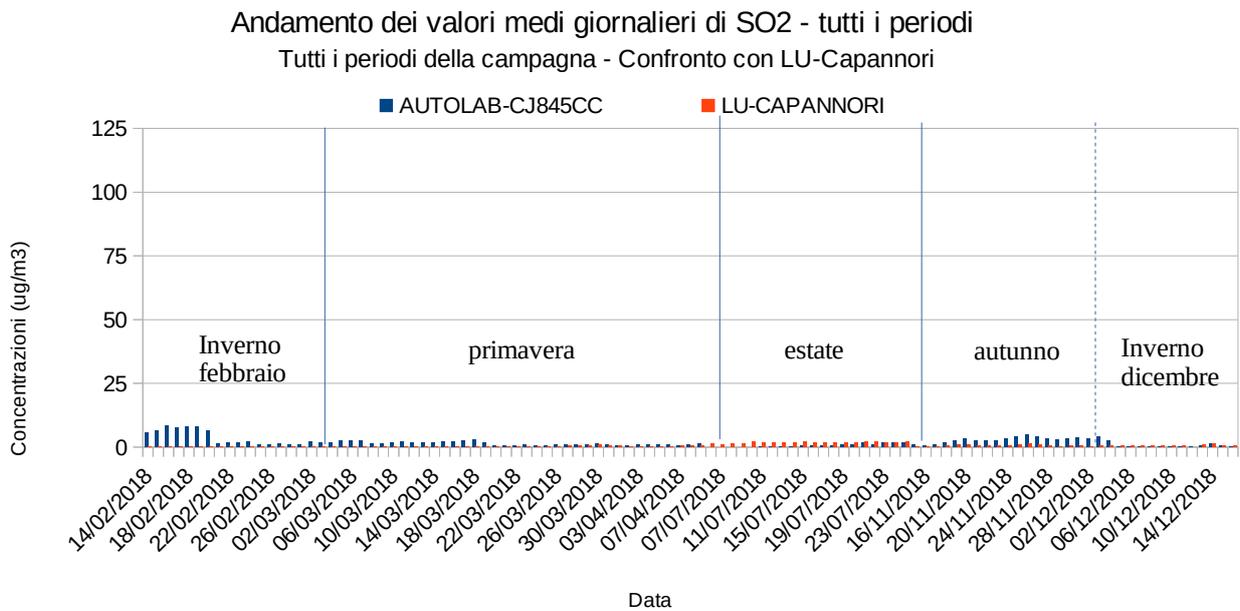


Grafico A.7 – CO – Andamento e confronto dei valori medi mobili su 8 ore per la campagna primaverile

Andamento dei valori medi orari trascinati su 8h del monossido di carbonio - CO

Primavera -- 20 marzo - 9 aprile 2018 - Autolaboratorio CJ845CC a Fornaci di Barga

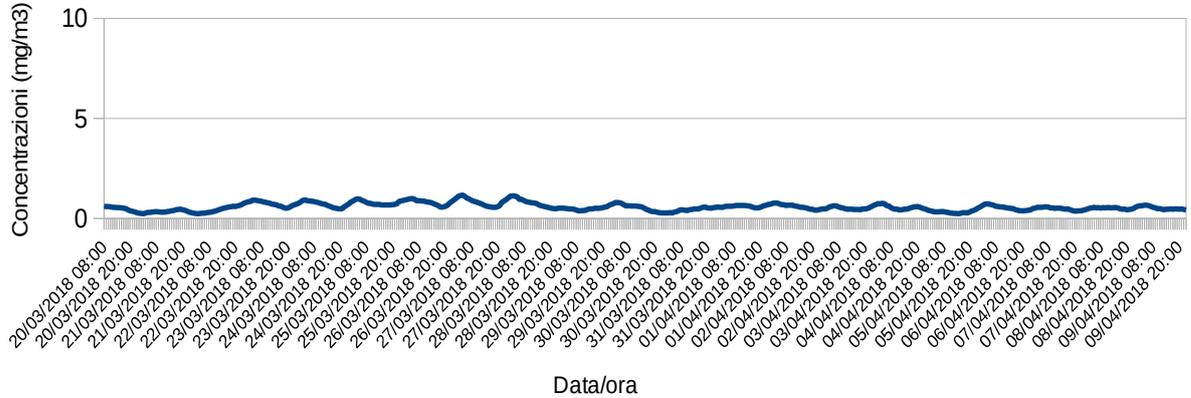


Grafico A.8 – CO – Andamento e confronto dei valori medi mobili su 8 ore per la campagna estiva

Andamento dei valori medi orari trascinati su 8h del monossido di carbonio - CO

Estate -- 6 - 25 luglio 2018 - Autolaboratorio CJ845CC a Fornaci di Barga

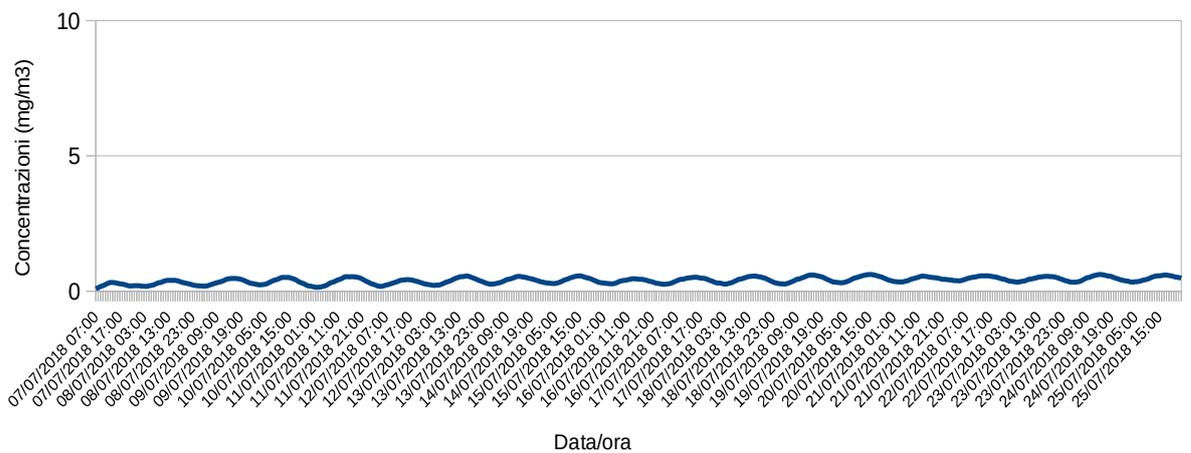


Grafico A.9 – CO – Andamento e confronto dei valori medi mobili su 8 ore per la campagna d'autunno

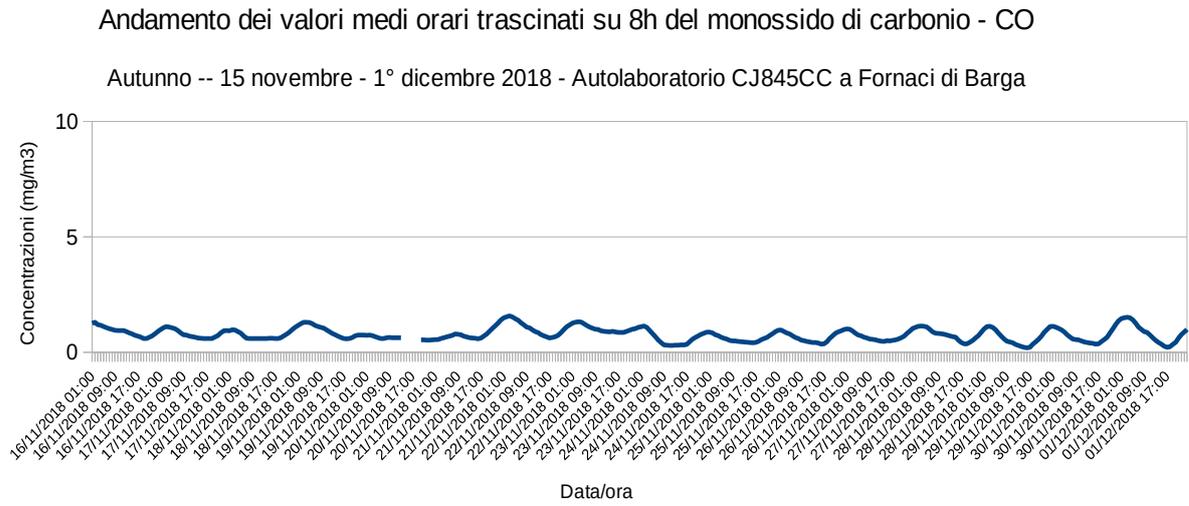


Grafico A.10 – CO – Andamento e confronto dei valori medi mobili su 8 ore per la campagna invernale di dicembre

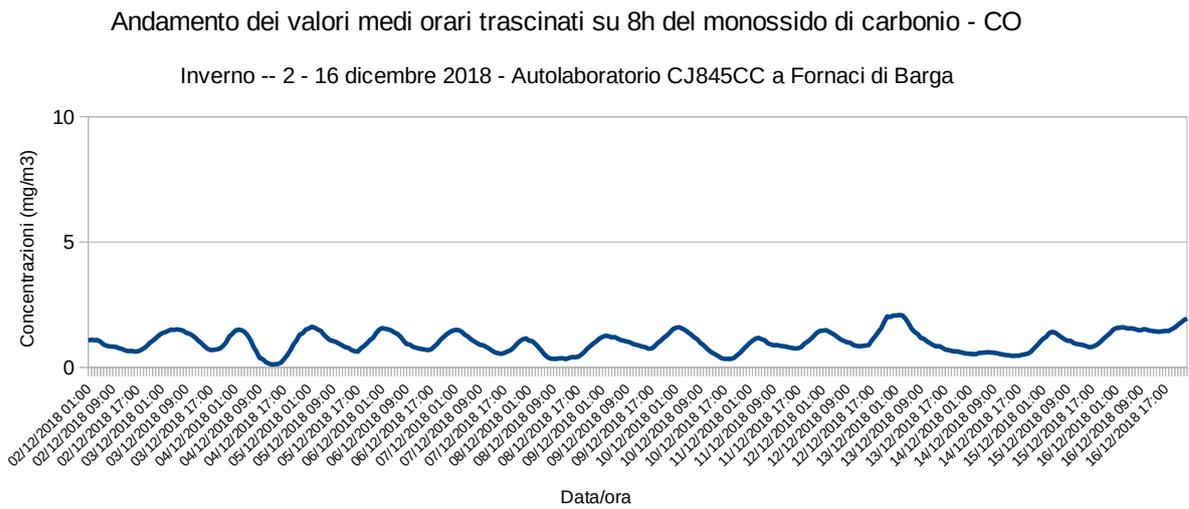


Grafico A.11 – NO2 – Andamento e confronto dei dati orari per la campagna invernale di febbraio

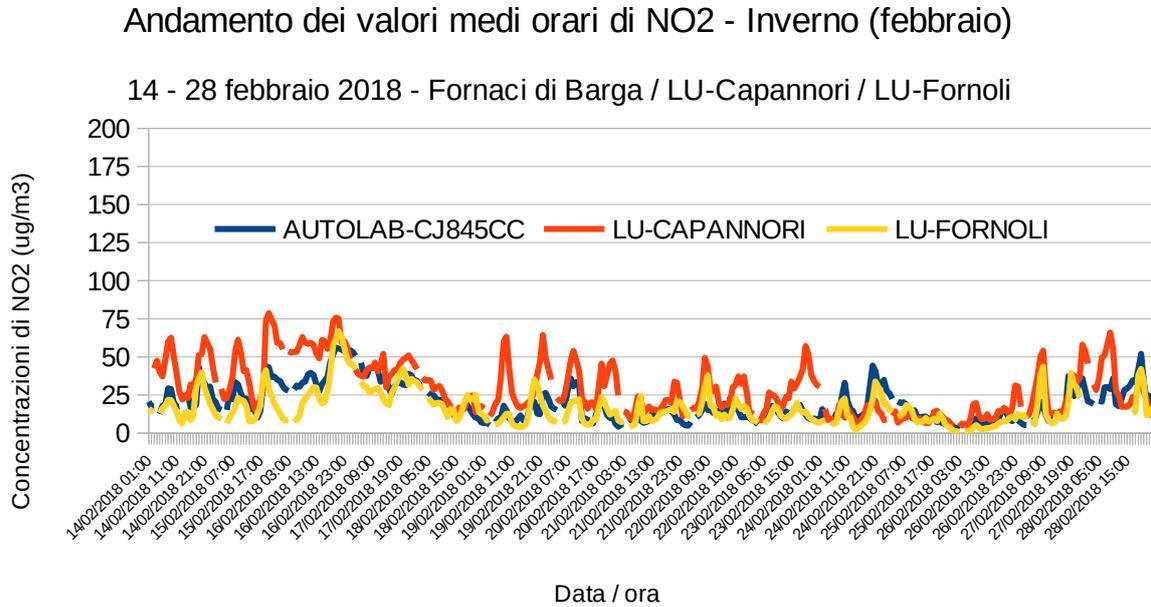


Grafico A.12 – NO2 – Andamento e confronto dei dati orari per la campagna primaverile

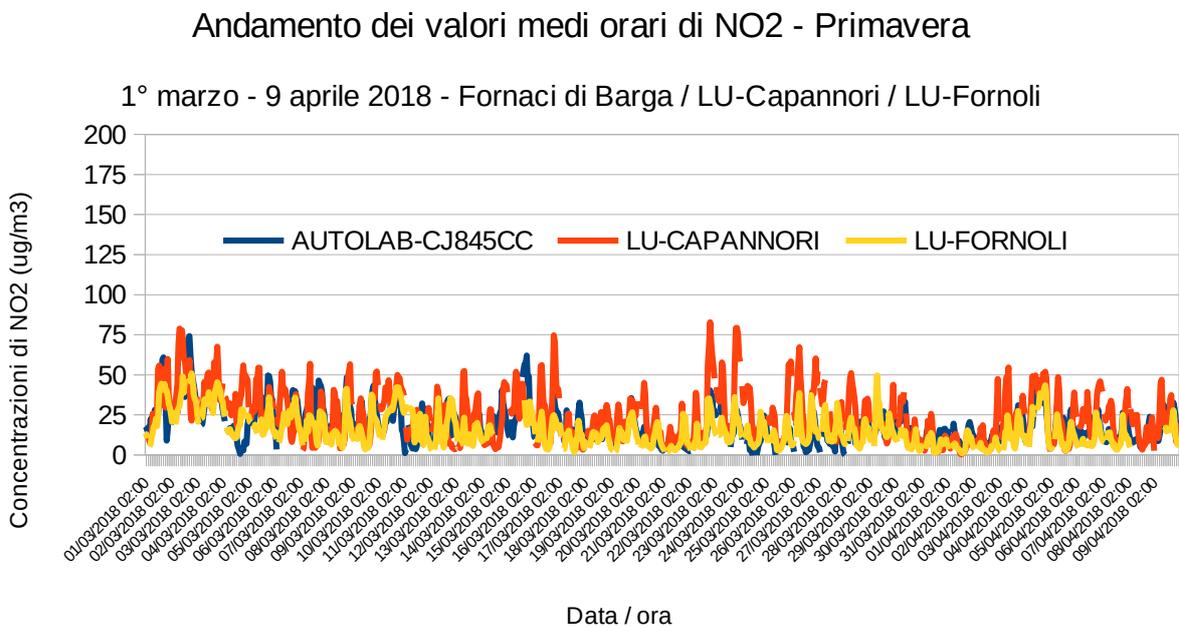


Grafico A.13 – NO₂ – Andamento e confronto dei dati orari per la campagna estiva

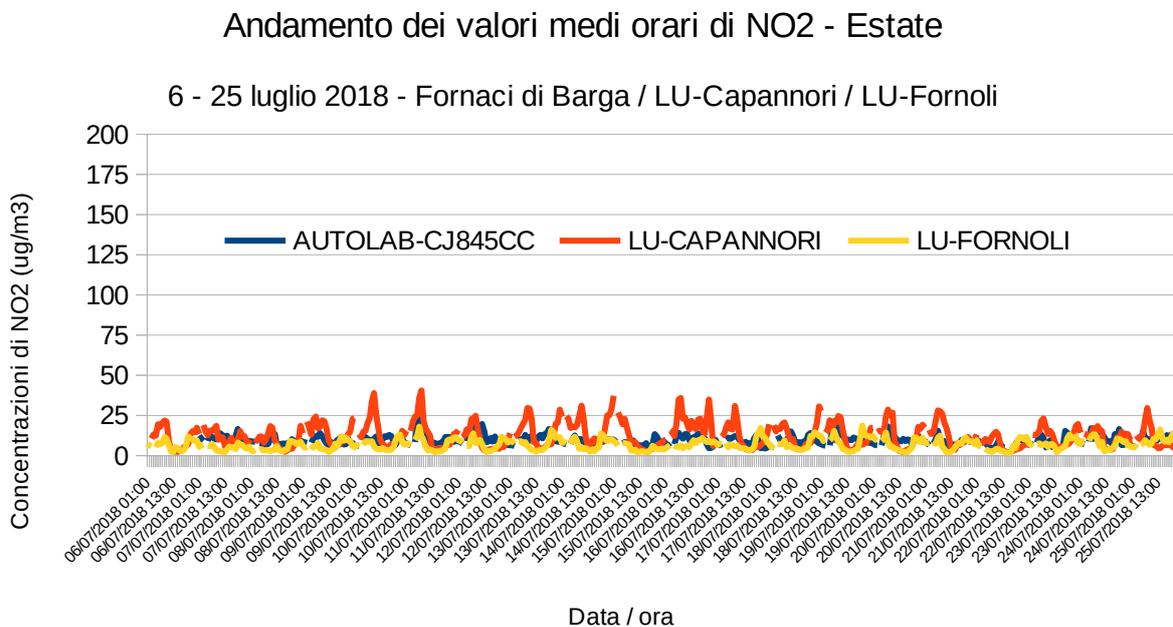


Grafico A.14 – NO₂ – Andamento e confronto dei dati orari per la campagna d'autunno

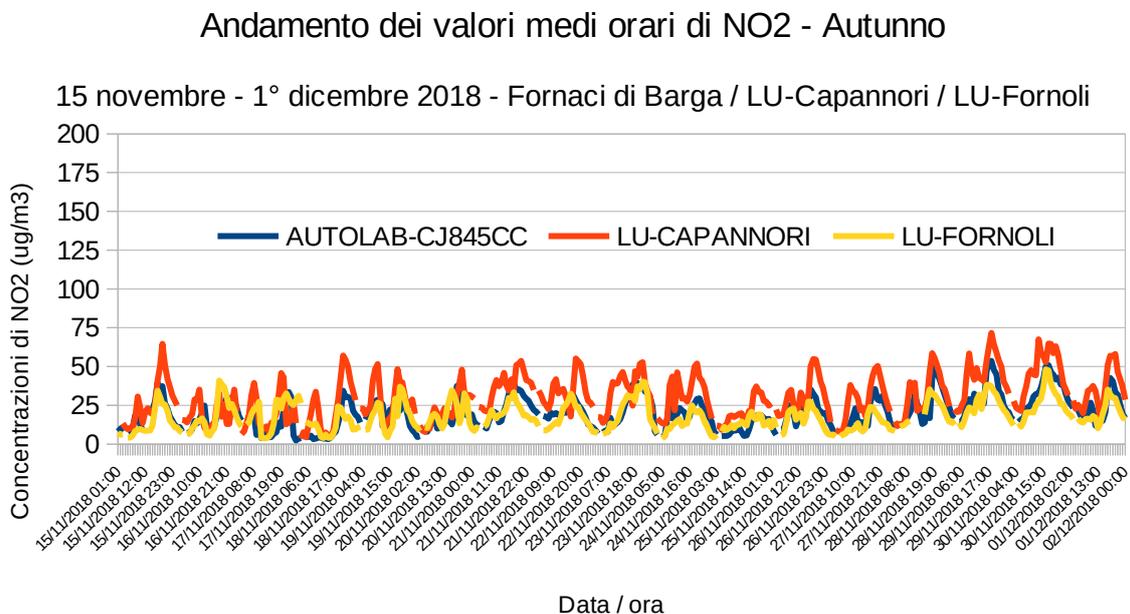
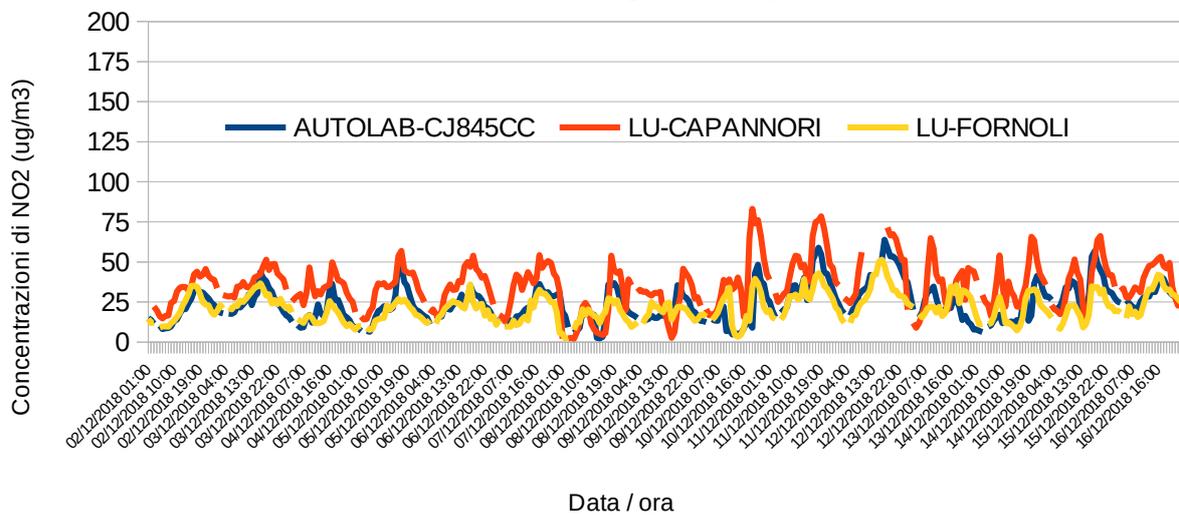


Grafico A.15 – NO2 – Andamento e confronto dei dati orari per la campagna invernale di dicembre

Andamento dei valori medi orari di NO2 - Inverno (dicembre)

2 - 16 dicembre 2018 - Fornaci di Barga / LU-Capannori / LU-Fornoli



ALLEGATO C: dati meteorologici

E' 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.

Il laboratorio mobile è attrezzato con sensori per il rilevamento dei seguenti parametri meteorologici:

Direzione del vento (DV)

Velocità del vento (VV)

Il posizionamento dei sensori non rispetta in modo rigoroso 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

Parametro	Marca modello	Principio Metodo	Limite rivelabilità	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 B.1 Rosa dei venti – Fornaci di Barga – Inverno (14 – 28 febbraio 2018)

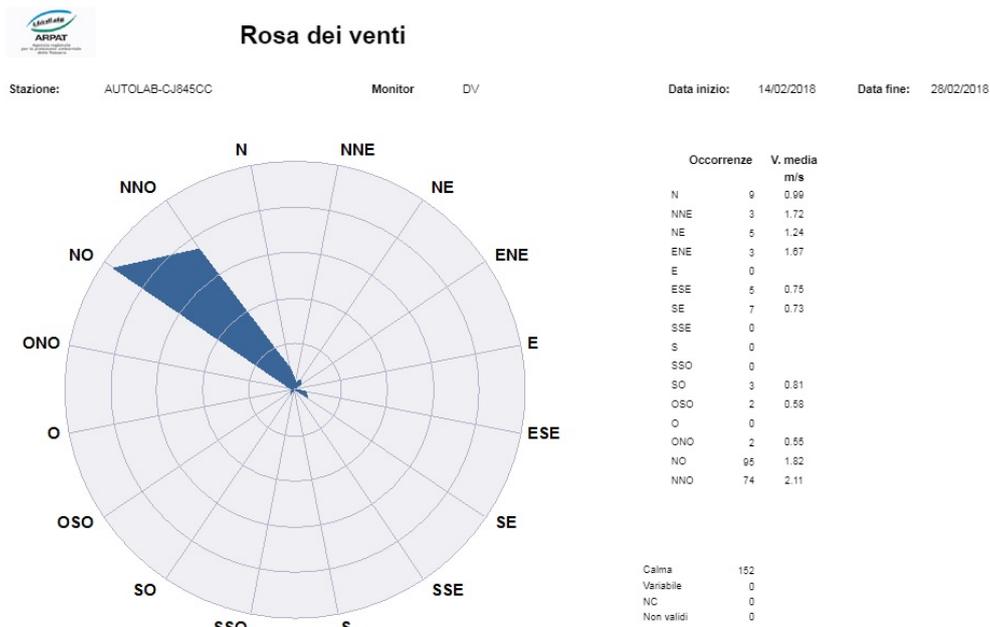


Grafico B.2 Rosa dei venti – Fornaci di Barga – Primavera (1° - 20 marzo 2018)

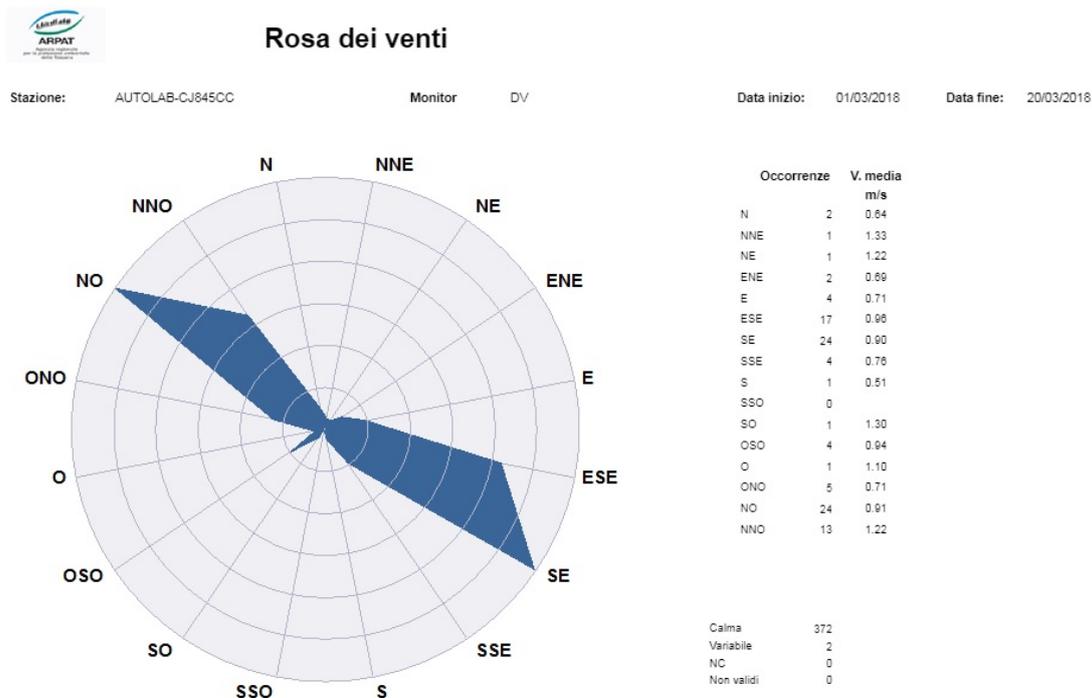


Grafico B.3 Rosa dei venti – Fornaci di Barga – Primavera (21 marzo - 9 aprile 2018)

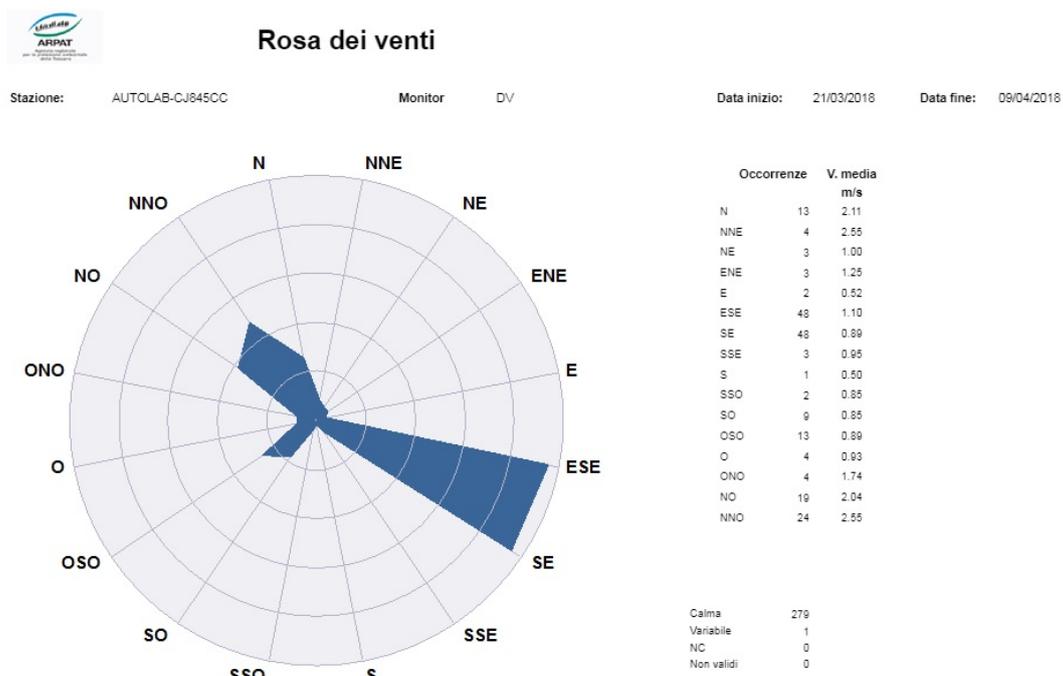


Grafico B.4 Rosa dei venti – Fornaci di Barga – Estate (6 - 25 luglio 2018)

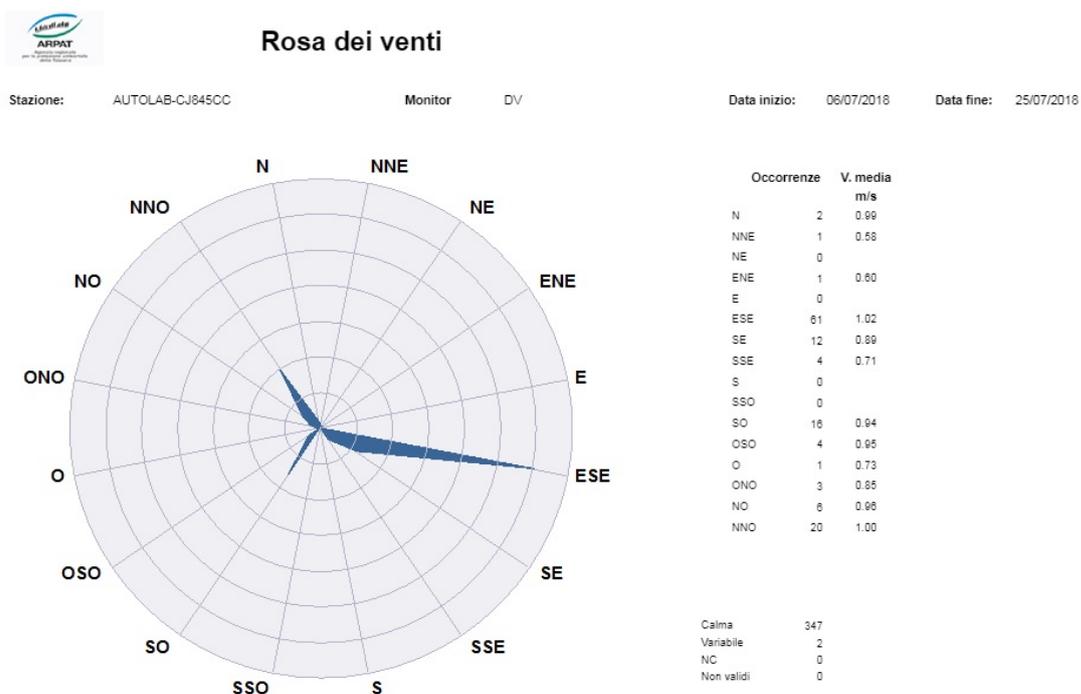


Grafico B.5 Rosa dei venti – Fornaci di Barga – Autunno (15 dicembre – 1° dicembre 2018)

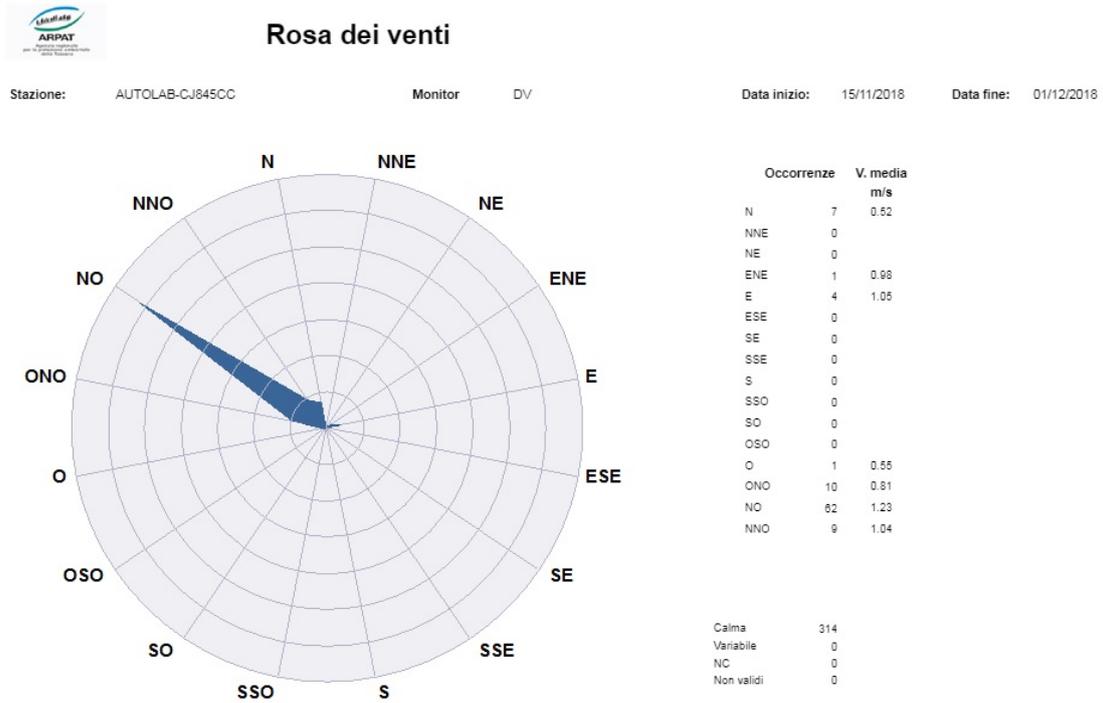


Grafico B.6 Rosa dei venti – Fornaci di Barga – Inverno (2 - 16 dicembre 2018)

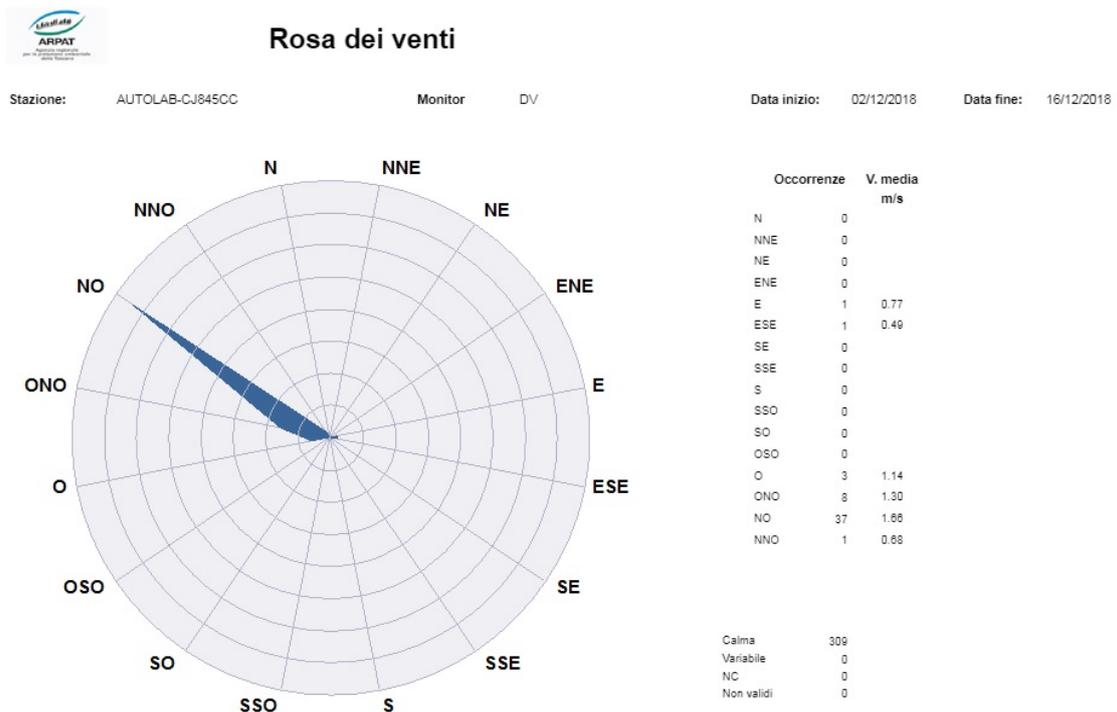


Tabella A.2: frequenza percentuale dei fenomeni di CALMA O BAVA DI VENTO ($v \leq 1,5$ m/s) e di velocità del vento (VV) superiore o uguale a 3,5 m/s

Stagione	Frequenza percentuale VV $\leq 1,5$ m/s	Frequenza percentuale VV $\geq 3,5$ m/s
Inverno (febbraio + dicembre)	79,6%	1,1%
Primavera	91,9%	1,1%
Estate	98,1%	0%
Autunno	93%	0%

Nel sito di Fornaci di Barga si nota che la calma o i fenomeni di bava di vento sono in netta predominanza su tutti i fenomeni ventosi, come ben evidente dalla Tabella A.2 sopra riportata, con maggiore presenza di fenomeni ventosi con VV > 1,5 m/s in inverno.

Nelle varie stagioni monitorate, prendendo in esame i fenomeni con VV maggiore di 0,3 m/s, si nota che nelle stagioni fredde (autunno e inverno) vi è una predominanza di vento da Nord-Ovest (Grafici B.1, B.5. B.6), mentre in primavera vi è una sostanziale parità tra i fenomeni ventosi da Sud-Est (e Est-Sud-Est) e quelli da Nord-Ovest (Grafici B.2 e B.3). In estate si osserva la maggior percentuale di assenza di vento e fenomeni ventosi con VV inferiore o uguale 1,5 m/s; i pochi fenomeni di vento rilevati sono da Est-Sud-Est, in netta superiorità numerica su quelli da Sud-Ovest e Nord-Ovest (Grafico B.4).

ALLEGATO D: Giorno tipo di biossido di azoto e monossido di carbonio

Grafico C.1 – Giorno tipo di NO₂ - stagione invernale (febbraio + dicembre)

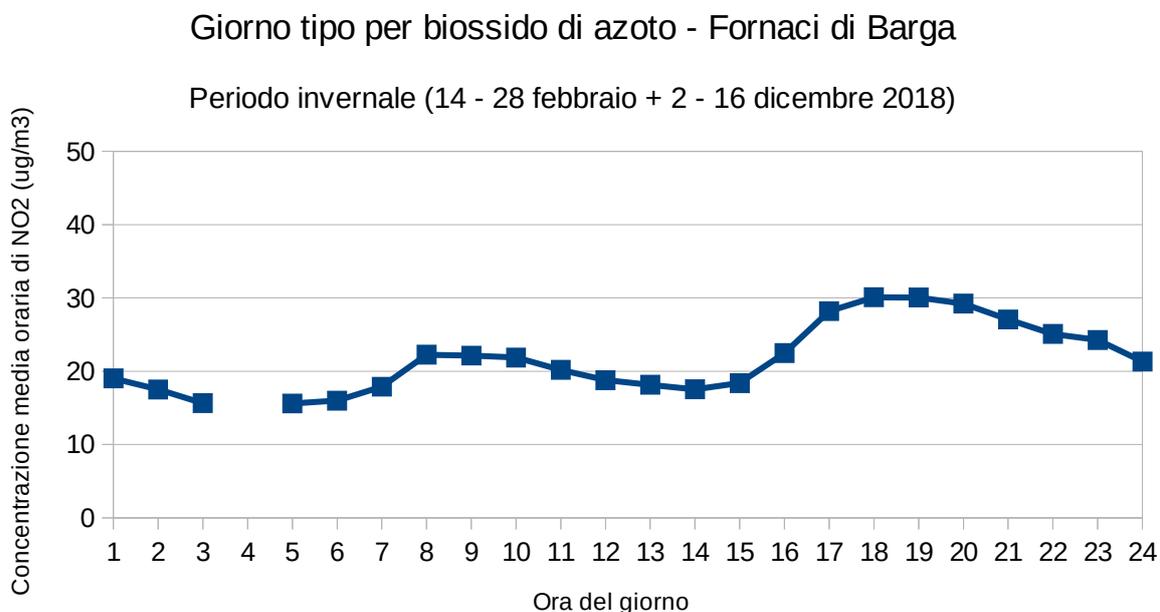


Grafico C.2 – Giorno tipo di NO₂ - periodo primaverile

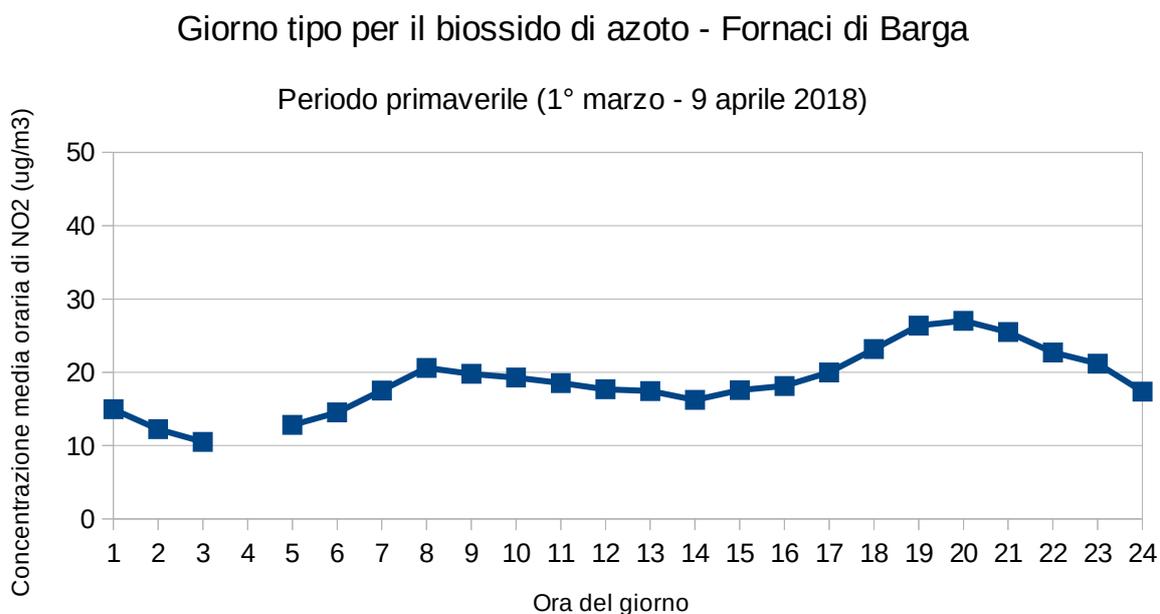


Grafico C.3 – Giorno tipo di NO₂ - periodo estivo

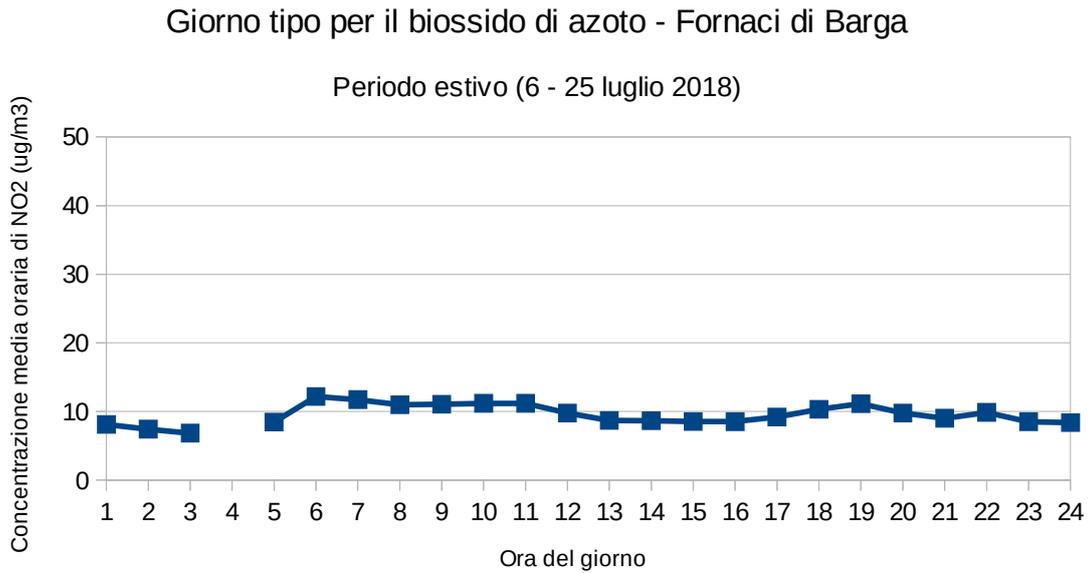
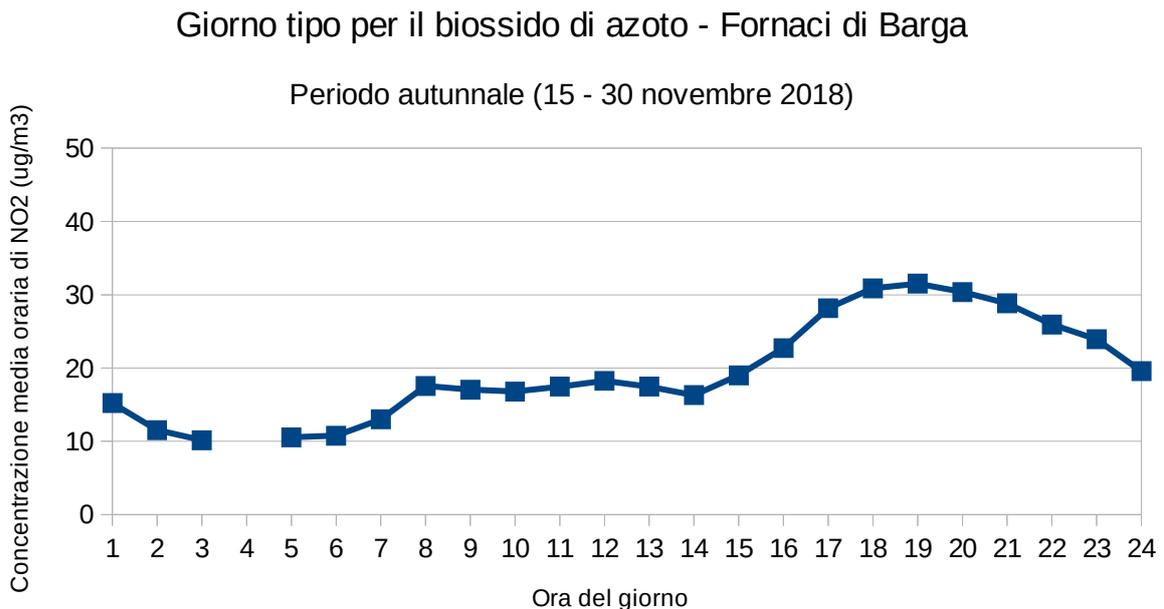


Grafico C.4 – Giorno tipo di NO₂ - periodo autunnale



Dai grafici sopra si evidenzia l'andamento nell'arco della giornata per questo inquinante che fa rilevare un massimo abbastanza evidente nelle ore serali nelle stagioni più fredde. In tutte le stagioni, non vi è il picco netto incentrato sulle ore 8, 9 del mattino che si rileva di solito in un sito urbano e comunque interessato dal traffico veicolare.

Grafico C.5 – Giorno tipo di CO - periodo primaverile

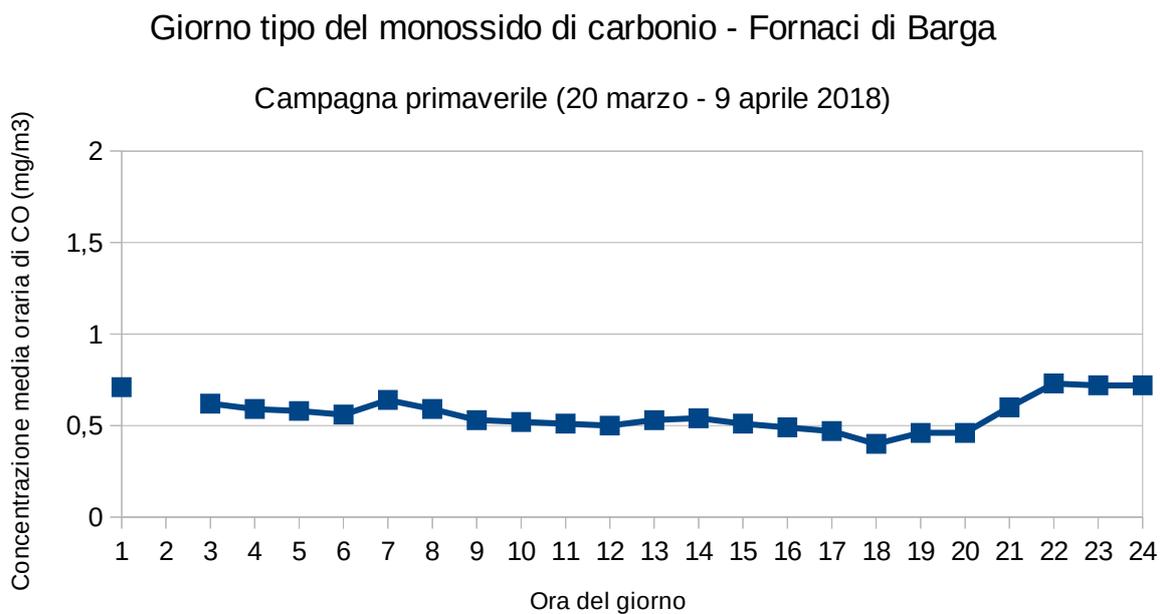


Grafico C.6 – Giorno tipo di CO - periodo estivo

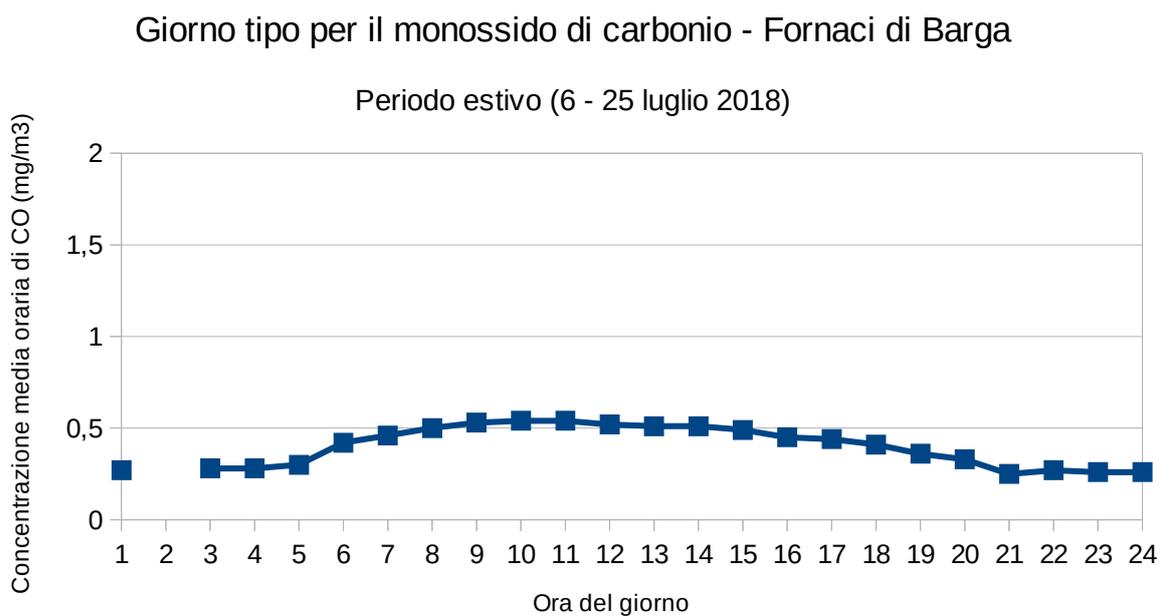


Grafico C.7 – Giorno tipo di CO - periodo autunnale

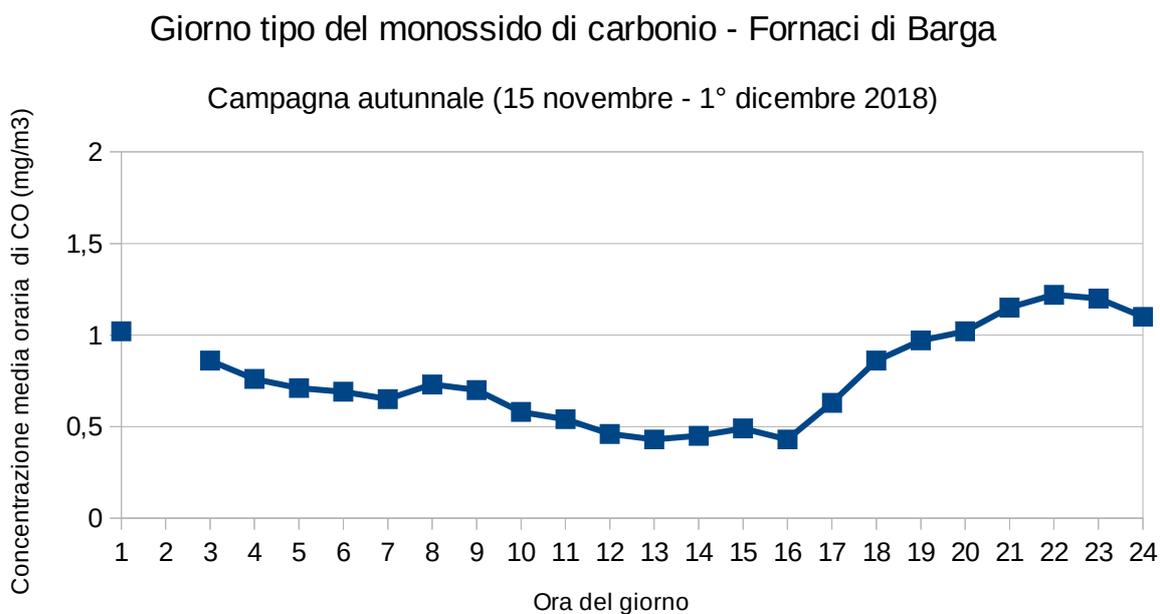
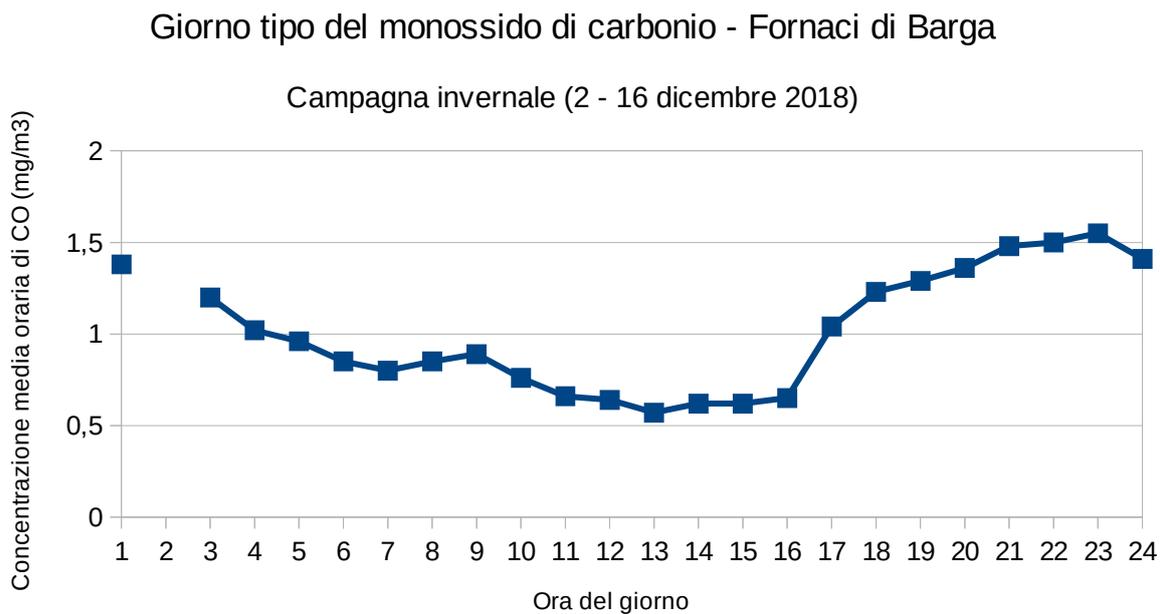


Grafico C.8 – Giorno tipo di CO - periodo invernale



Anche per il monossido di carbonio non vi sono picchi netti all'interno delle ore della giornata, se non un accenno nelle stagioni più fredde incentrato sulle tarde ore della serata (ore 23). Per quanto riguarda primavera ed estate si rilevano andamenti pressoché costanti e con concentrazioni orarie inferiori a 1/10 del VL normativo (=10 mg/m³ sulla media trascinata di 8 ore).

ALLEGATO E: 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 $b < 0$).