



# **Campagna di monitoraggio del particolato e del biossido di azoto nel Comune di Porcari**

1° dic 2016 – 31 dic 2017

**Settore “Centro regionale per la  
Tutela della qualità dell’aria”**

Pisa, 20 aprile 2018

REPORT

ARIA 



## ***“Campagna di monitoraggio del Particolato e del Biossido di Azoto nel Comune di Porcari”***

Periodo di indagine presso la centralina di LU-Porcari: 1° dicembre 2016 – 31 dicembre 2017.

Centralina ubicata a Porcari in via Francesco Carrara angolo via Fratelli Cavanis

A cura di:

Bianca Patrizia Andreini

*ARPAT – Area Vasta “Toscana Costa”*

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

Autori:

Dennis Dalle Mura, Roberto Fruzzetti

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

Chiara Collaveri

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

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)

**Aprile 2018**

ARPAT Area Vasta Costa- Settore CRTQA  
via Marradi, 114 - 57126 Livorno  
tel. 055.32061, fax 055.5305615 - p.iva 04686190481

[www.arpat.toscana.it](http://www.arpat.toscana.it) - [urp@arpat.toscana.it](mailto:urp@arpat.toscana.it) - [PEC: arpat.protocollo@postacert.toscana.it](mailto:arpat.protocollo@postacert.toscana.it)

## SINTESI

La valutazione dei dati acquisiti nel monitoraggio del particolato effettuata nell'ambito della convenzione tra il Comune di Porcari ed ARPAT indica che:

**PM10:** i dati di PM10 rilevati a Porcari nel periodo della campagna concordano con la valutazione della qualità dell'aria fatta per la zona sulla base delle stazioni di rete regionale, in particolare della stazione di Capannori, alla quale si fa riferimento per la gestione degli episodi critici.

Le medie sul periodo tardo autunnale e invernale sono superiori nel contesto Capannori/Porcari, anche rispetto alla stessa stazione lucchese di San Concordio che presenta valori più contenuti, piuttosto in linea con i valori tipici del contesto del Cuoio, con PI-Santa Croce "Coop" come stazione rappresentativa. I valori di PI-Passi si stabilizzano su una fascia inferiore di 10-13  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  rispetto ai valori medi restituiti dagli ultimi due siti di misura citati.

I valori medi sul periodo estivo sono omogenei nella zona (20-21  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) nelle stazioni LU-Capannori, LU-San Concordio e Pisa-Passi, mentre rimangono più elevati (24-25  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) su Santa Croce S/A e la stessa Porcari, valori poco più elevati molto probabilmente a causa di pressioni localizzate nell'intorno del punto di misura.

**NO<sub>2</sub>:** gli indicatori relativi all'anno 2017, utili ai fini del confronto con i limiti normativi, emerge che tutte le serie trattate sono valide (raccolta dati > 90%) e che i valori medi annuali di tutte le centraline della Piana Lucchese sono ampiamente al di sotto del limite annuale ( $\text{VL}(\text{NO}_2) = 40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Inoltre, Porcari mostra una media annuale inferiore sia a Capannori che a San Concordio (23  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  contro i 25  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  di Capannori e i 26  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  di San Concordio).

Le medie mensili di NO<sub>2</sub> a Porcari sono solitamente inferiori o in linea con quelle di Capannori e San Concordio, ad eccezione dei mesi di gennaio e ottobre.

L'andamento del giorno medio rispecchia l'andamento orario tipico del Biossido di Azoto, con valori massimi orari o picchi incentrati sulle 8 del mattino e la fascia oraria 19-20 serale. I valori sfiorano o stanno di poco sopra ai 30  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

**Venti e rose dell'inquinamento:** I valori medi orari di velocità del vento hanno avuto punte di circa 7 m/s (circa 25 km/h) nel mese di dicembre 2017. Le fasce di velocità registrate sono le seguenti:

- fenomeni di calma di vento (o bava di vento) con  $v \leq 1,5 \text{ m/s}$  corrispondono a circa il 78% degli eventi orari sull'anno solare 2017;
- alla stessa stregua, i valori con  $v \geq 3,5 \text{ m/s}$  si sono registrati per circa il 3% del tempo.

Stagionalmente, si evince una serie di eventi con velocità medie orari maggiori di 6 m/s soprattutto nei mesi estremi della linea temporale, vale a dire gennaio/febbraio e novembre/dicembre, con

invece prevalenza di brezze - in fascia di velocità tra 2 e 4 m/s - tipicamente dai settori Nord-Occidentali nei mesi centrali dell'anno, specialmente in estate.

Gli eventi di maggiore concentrazione di Biossido di Azoto non sono correlabili ad alcuna direzione prevalente dei venti.

**OPC:** in base ai dati ottenuti tramite l'OPC, si ha una prevalenza del contributo della frazione fine, soprattutto PM1, al PM10 totale. La corrispondenza dei dati ricavati dal contatore ottico con quelli del metodo ufficiale è molto buona in inverno e più scarsa in estate, quando i valori sono più bassi e la componente grossolana è più importante. Grazie alla presenza del contatore ottico è stato possibile analizzare il profilo giornaliero del particolato e la composizione granulometrica.

Il profilo giornaliero medio del PM10 è anch'esso molto diverso tra estate ed inverno. In inverno esso è caratterizzato da un leggero aumento di concentrazione che si sviluppa dalle prime ore del mattino, da un minimo nelle prime ore del pomeriggio in corrispondenza delle ore del giorno in cui la dispersione atmosferica è maggiore, infine da una fase di accumulo notturno rilevante dalle ore 17 in poi. Si osserva la presenza negli orari centrali della giornata e nelle prime ore serali (circa fino alle 22.00) di una serie di picchi frastagliati caratterizzati da una netta prevalenza delle componenti più grossolane del particolato.

Per quanto riguarda l'estate si osserva che il PM 10 ha due massimi giornalieri di cui il primo alle 9.00 del mattino è il più rilevante; il secondo si verifica circa alle 14.00. Non si osserva più il picco di accumulo notturno e le percentuali di PM2,5 e PM1 sono nettamente inferiori rispetto all'inverno. Analizzando i conteggi nelle diverse classi granulometriche si osserva che in estate il numero di particelle nelle classi più grossolane è superiore, pur essendo il totale delle particelle molto più alto in inverno. La classe più fine è nettamente prevalente in entrambe le stagioni. I contributi al PM delle varie classi granulometriche sono diversi in estate ed in inverno. Ciascuna classe granulometrica assume inoltre caratteristiche differenti nelle 2 stagioni. Sia la diversa composizione dell'aerosol che il diverso comportamento delle particelle in atmosfera dipendono dal diverso grado di rimescolamento dell'atmosfera che in estate è più dinamica mentre in inverno favorisce l'accumulo degli inquinanti. Dalla relazione tra andamento dei conteggi e andamento dei parametri meteorologici, si evincono chiaramente la capacità dilavante sia del vento che della pioggia.

Al fine puramente descrittivo l'andamento dei conteggi della classe 0,3  $\mu\text{m}$  è stato ricostruito a posteriori utilizzando una funzione che tiene conto di più componenti. La buona concordanza tra il modello adottato e l'andamento effettivo avvalorava l'interpretazione sulla presenza di una linea di base che descrive il fenomeno di accumulo giornaliero e di una componente di ciclicità giornaliera che è ben rappresentata dal giorno tipo. Studiando le correlazioni tra gli andamenti delle diverse frazioni granulometriche si deduce che queste componenti attribuite alla classe 0,3 sono presenti anche nelle altre frazioni in proporzioni diverse a seconda della grandezza delle particelle.

# SOMMARIO

## Campagna di monitoraggio del Particolato nel comune di Porcari

### INDICE

1. Descrizione della campagna
  - 1.2 Descrizione del contesto territoriale
2. Limiti normativi
3. Obiettivo di qualità dei dati
  - 3.1 Raccolta minima dei dati
4. Dati rilevati alla centralina di Porcari (1° dicembre 2016 – 31 dicembre 2017)
  - 4.1 *PM10 - Confronto dei dati misurati con i dati della zona*
  - 4.2 *NO<sub>2</sub>: medie orarie e confronti*
  - 4.3 *NO<sub>2</sub>: medie mensili (anno 2017)*
  - 4.4 *NO<sub>2</sub>: Giorno tipo e giorno tipo sulla settimana*
  - 4.5 *NO<sub>2</sub>: Rosa dell'inquinamento*
5. *Dati meteorologici*
6. *Approfondimento sul PM attraverso i dati misurati dall'OPC*
  - 6.1 *Confronto con il metodo ufficiale UNI 12341*
  - 6.2 *Analisi del PM su base oraria e contributo delle diverse frazioni*
7. *Considerazioni sul numero di particelle*
  - 7.1 *Numero di particelle*
  - 7.2 *Distribuzione di frequenza del numero di particelle*
  - 7.3 *Distribuzioni per classe granulometrica*
  - 7.4 *Comportamento delle diverse frazioni in relazione a stabilità atmosferica e andamento del PM10*
  - 7.5 *Individuazione di componenti nella serie temporale della fraz. 0,3 µm*

### CONCLUSIONI

# Campagna di monitoraggio del Particolato nel comune di Porcari dicembre 2016 – dicembre 2017

Di seguito si riporta una sintesi del monitoraggio del particolato nella campagna annuale che va da inizio dicembre 2016 a tutto l'anno 2017, nell'ambito della convenzione tra il Comune di Porcari ed ARPAT.

## 1. Descrizione della campagna

La campagna di monitoraggio si è svolta nel periodo che va dal 1° dicembre 2016 al 31 dicembre 2017, nel sito della ex stazione provinciale di LU-Porcari, ed ha riguardato il particolato, PM10 e sue frazioni granulometriche, e gli ossidi di azoto (NO<sub>2</sub>). Per gli ossidi di azoto è stato utilizzato un API 200E, strumento a chemiluminescenza conforme alle norme tecniche per il monitoraggio in continuo di questo inquinante in aria ambiente.

Il particolato è stato determinato utilizzando un contatore ottico di particelle GRIMM OPC (Optical Particle Counter), affiancato da un campionatore Tecora Skypost per la determinazione gravimetrica del PM10 secondo il metodo UNI EN 12341/2014, indicato dal D.Lgs 155/2010 e DM 26.01.2017.

Lo Skypost ha campionato per due periodi distinti nell'ambito della campagna di misura, ovvero dal 3 al 21 dicembre e dal 30 dicembre al 12 gennaio per quanto riguarda l'inverno 2016/17, dal 12 luglio al 9 agosto per quanto riguarda l'estate 2017 e dal 21 novembre al 12 dicembre per quanto concerne il periodo tardo-autunnale / invernale 2017.

## 1.2 Descrizione del contesto territoriale

La stazione di **LU-PORCARI** è collocata in una via periferica, immediatamente al di fuori del centro cittadino di Porcari, ad una quota di circa 12 metri s.l.m. e posizionata a circa 9 km a Est del capoluogo di provincia. Il Comune di Porcari ha poco meno di 9000 abitanti, un'estensione di circa 18 km<sup>2</sup> e una densità abitativa di circa 490 abitanti/km<sup>2</sup>.

Nella figura 1 si riporta la posizione del comune di Porcari rispetto al comune di Lucca.

Figura 1

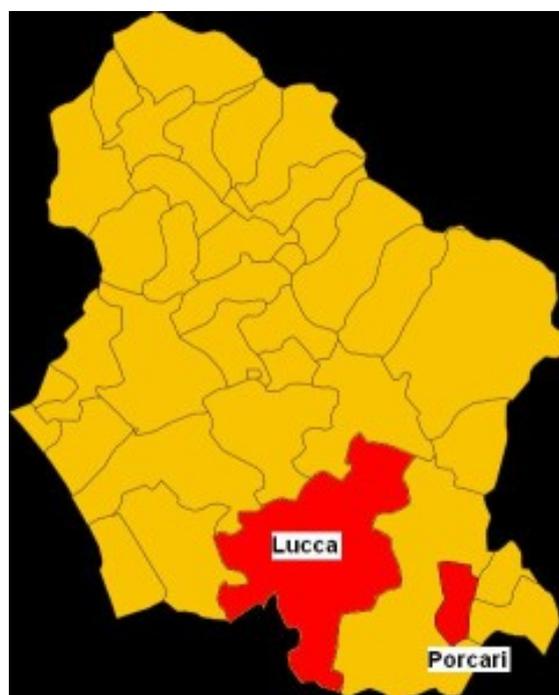


Figura 2: immagine della centralina di Porcari, nel suo contesto territoriale



Figura 3: la stazione di monitoraggio con installazione a fianco del campionatore gravimetrico "Skypost" per la determinazione delle concentrazioni di PM10



## 2. 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, pubblicato nella G.U. n° 216 del 15 settembre 2010.

**Tabella 2.1 BLOSSIDO DI AZOTO – normativa e limiti**

	<b>Periodo di mediazione</b>	<b>Valore limite</b>
Valore limite orario per la protezione della salute umana	1 ora	200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ da non superare più di 18 volte per l'anno civile
Valore limite annuale per la protezione della salute umana	Anno civile	40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Soglia di allarme	Superamento di 3 ore consecutive	400 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

**Tabella 2.2.1 OSSIDI DI AZOTO – normativa e limiti**

	<b>Periodo di mediazione</b>	<b>Valore limite</b>
Valore limite orario annuale per la protezione della vegetazione	Anno civile	30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

**Tabella 2.3 Materiale particolato PM10 – normativa e limiti**

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

### **3. Obiettivo di qualità dei dati**

#### **3.1 Raccolta minima dei dati**

In Tabella 3.1 vengono riportati le percentuali dei dati orari - e giornalieri per PM10 – validi, elaborati secondo i criteri definiti dalla normativa (D.Lgs. 155/2010). Ai fini della valutazione della qualità dell'aria su base annua, per ogni inquinante misurato in continuo, l'insieme dei dati raccolti è considerato conforme alla normativa ed utilizzabile per il calcolo dei parametri statistici che caratterizzano gli indicatori di Qualità dell'Aria qualora la raccolta minima dei dati (rendimento strumentale) sia almeno pari al 90% per SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub>, NO<sub>2</sub>, PM10, PM2,5, Pb, Benzene, CO ed O<sub>3</sub> (Allegato I D.Lgs. 155/2010). La raccolta minima dei dati, è calcolata come percentuale dei dati generati e validati rispetto al totale teorico, al netto delle tarature periodiche e dell'attività di manutenzione ordinaria (per es. 365 medie giornaliere oppure 8760 dati orari teorici all'anno da cui è detratto il 5% corrispondente alle attività di controllo automatico giornaliero, di taratura periodica, di controllo di attendibilità dei dati e delle operazioni di manutenzione ordinaria, preventiva e straordinaria).

La stazione di LU-Porcari ha quindi restituito una percentuale (superiore al 95%) rispondente alle richieste normative per quanto riguarda il Biossido di Azoto relativamente all'anno 2017, gli indicatori ottenuti saranno pertanto confrontabili con quelli delle centraline regionali prese a riferimento (LU-Capannori e LU-San Concordio). Naturalmente, il PM10, essendo stato misurato su campagne stagionali non complete (sono stati indagati 54 giorni in inverno e 21 giorni in estate) non ha rispettato quella uniformità di distribuzione all'interno dell'anno che richiede il DLgs. 155/2010, dato che l'interesse da parte dell'Ente richiedente consisteva essenzialmente in un confronto stagionale prettamente invernale ed estivo rispetto alle altre centraline di fondo della Piana Lucchese.

#### 4. Dati rilevati alla centralina di Porcari (1° dicembre 2016 – 31 dicembre 2017)

##### **4.1 PM10 - Confronto dei dati misurati con i dati della zona**

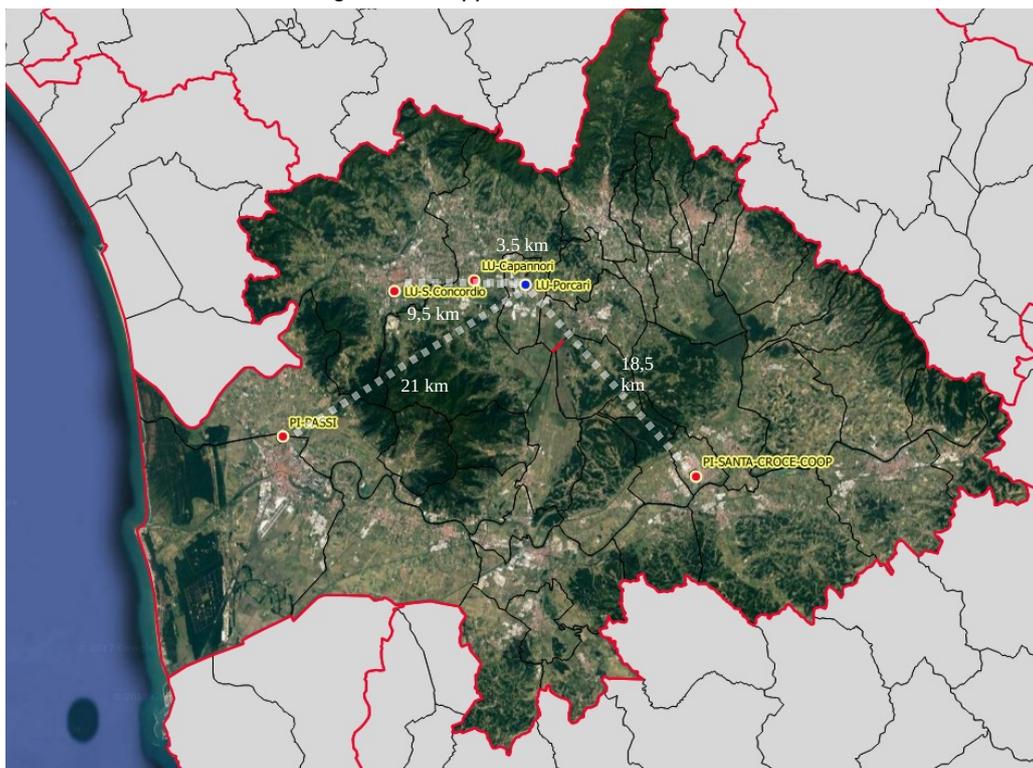
La Delibera di Giunta Regionale n.964/2015 definisce la nuova zonizzazione e classificazione del territorio regionale. Il Comune di Porcari appartiene alla zona del Valdarno pisano e Piana lucchese. Le stazioni di rete regionale classificate come stazioni di fondo appartenenti a questa zona sono le seguenti (Tabella 1):

Tabella 1 – Stazioni di rete regionale e loro distanza dal sito di Porcari

Stazione	Classificazione	Comune	Distanza
LU-S.Concordio	Urbana fondo	Lucca	9,5 km
LU-Capannori	Urbana fondo	Capannori	3,5 km
PI-Passi	Urbana fondo	Pisa	21 km
PI- S.Croce-COOP	Suburbana fondo	S.Croce sull'Arno	18,5 km

Il sito di Porcari, come evidenziato in Figura 1, si colloca in linea d'aria ad una distanza molto contenuta<sup>1</sup> dalla stazione di Capannori e dalla stazione di San Concordio. Rispetto a queste stazioni, il sito di Porcari si trova anche in continuità territoriale e di tessuto urbano. Le altre stazioni di fondo, PI-Passi e PI-S.Croce-Coop si trovano ad una distanza dal sito di Porcari di 20 km circa e ne risultano separate rispettivamente dal Monte Pisano e dai boschi delle Cerbaie.

Figura 4 – Mappa dei siti considerati



<sup>1</sup> Come parametro di riferimento si può considerare la rappresentatività spaziale stimata per il PM10 che, calcolata su un'area circolare con il metodo  $\beta$ , risulta essere pari a 10 km per la stazione di Capannori e 5 km per la stazione di S.Concordio [rif]

Premesso che in generale i valori di fondo di PM10 risultano abbastanza omogenei per l'intera zona, non è sorprendente trovare le ottime corrispondenze riportate di seguito tra gli andamenti del PM10 determinato con lo Skypost e i dati rilevati in particolare nella stazione di LU-Capannori. La zona presenta livelli medi di fondo abbastanza omogenei ed elevati (cfr. Grafici 2 e 4, invernale 2016/17 e autunno-inverno 2017). In questa zona sono presenti 2 aree di superamento (una delle quali comprende il comune di Porcari) ed i valori rilevati durante l'inverno superano spesso il limite sulla media giornaliera. Nel periodo tardo autunnale e invernale, le concentrazioni sono state molto spesso superiori ai 50  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Gli andamenti sono simili in tutte le stazioni con le situazioni di picco più accentuate per la stazione di Capannori.

Ovviamente, non è possibile confrontare i dati misurati a Porcari con i limiti normativi, mediante le campagne sotto riportate (83 giorni su circa 13 mesi, dal 2 dicembre 2016 all'11 dicembre 2017), dato che non sono state effettuate almeno 8 settimane di campionamento distribuite uniformemente sull'anno solare.

Tabella 2 – Sintesi dati rilevati nel periodo totale di funzionamento dello Skypost a Porcari e nelle stazioni regionali della Zona omogenea Valdarno Pisano e Piana Lucchese

INTERO PERIODO (3-21/12/16; 30/12/16-12/01/17; 12/07-09/08/17; 21/11-11/12/17)					
Centralina	n° dati validi	Media [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	Massimo [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	Minimo [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	# medie > 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
LU-Porcari (Skypost)	82 su 83	51	121	10	38
LU-Capannori	83 su 83	49	140	9	38
LU-San Concordio	82 su 83	38	104	10	23
PI-Passi	81 su 83	29	85	8	8
PI-Santa Croce "Coop"	83 su 83	38	94	4	24

Grafico 1 – PM10 confronto degli andamenti giornalieri rilevati a Porcari e nelle stazioni regionali di fondo della Piana Lucchese nel periodo 1° dicembre 2016 – 31 dicembre 2017

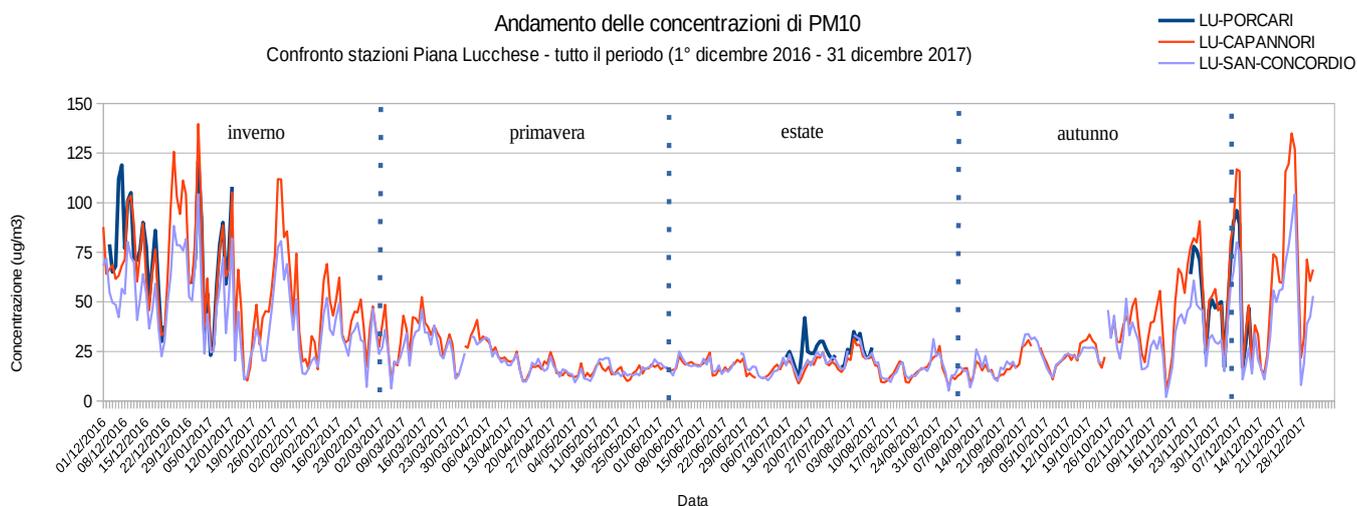


Tabella 3 – Sintesi dati rilevati nel periodo invernale 2016/17 di funzionamento dello Skypost a Porcari e nelle stazioni regionali della Zona omogenea Valdarno Pisano e Piana Lucchese

PERIODO INVERNALE (3-21/12/16; 30/12/16-12/01/17)					
Centralina	n° dati validi	Media [ug/m3]	Massimo [ug/m3]	Minimo [ug/m3]	# medie > 50 ug/m3
LU-Porcari (Skypost)	33 su 33	73	121	23	28
LU-Capannori	33 su 33	69	140	26	26
LU-San Concordio	33 su 33	52	104	23	18
PI-Passi	33 su 33	36	85	8	6
PI-Santa Croce "Coop"	33 su 33	49	94	4	16

Grafico 2  
– PM10  
confronto  
degli  
andamenti  
giornalieri

rilevati a Porcari e nelle stazioni regionali di fondo della Piana Lucchese nel periodo 1° dicembre 2016 – 31 gennaio 2017

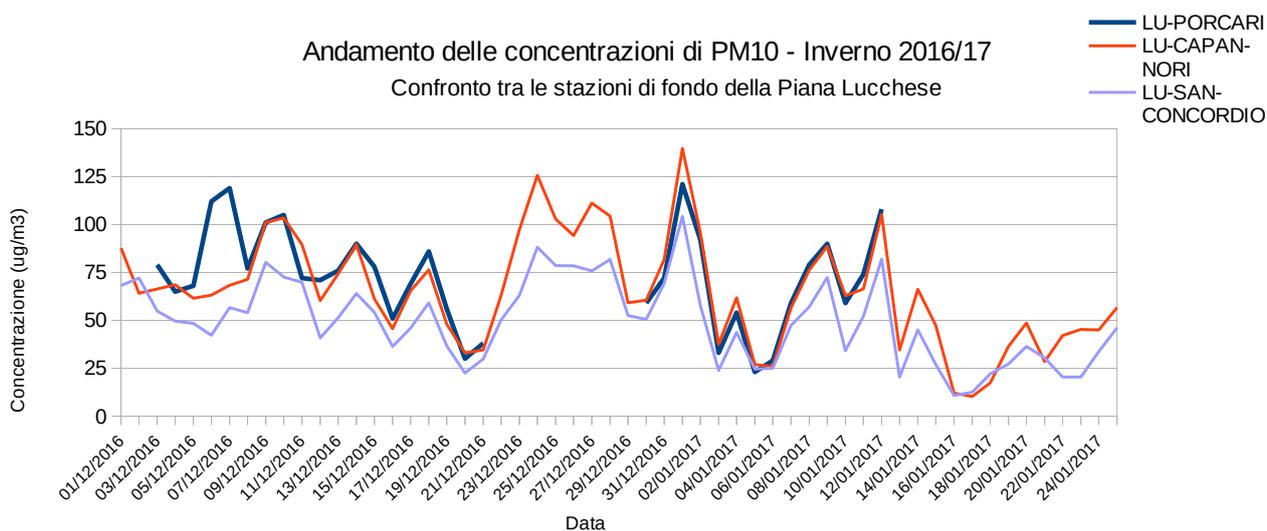


Tabella 4 – Sintesi dati rilevati nel periodo estivo di funzionamento dello Skypost a Porcari e nelle stazioni di regionali della Zona omogenea Valdarno Pisano e Piana Lucchese

PERIODO ESTIVO (12/07-09/08/17)					
Centralina	n° dati validi	Media [ug/m3]	Massimo [ug/m3]	Minimo [ug/m3]	# medie > 50 ug/m3
LU-Porcari (Skypost)	28 su 29	25	42	10	0
LU-Capannori	29 su 29	20	31	9	0
LU-San Concordio	28 su 29	21	33	10	0
PI-Passi	27 su 29	21	32	9	0
PI-Santa Croce "Coop"	29 su 29	24	38	13	0

Grafico 3 – PM10 confronto degli andamenti giornalieri rilevati a Porcari e nelle stazioni regionali di fondo della Piana Lucchese nel periodo estivo di funzionamento dello Skypost a Porcari

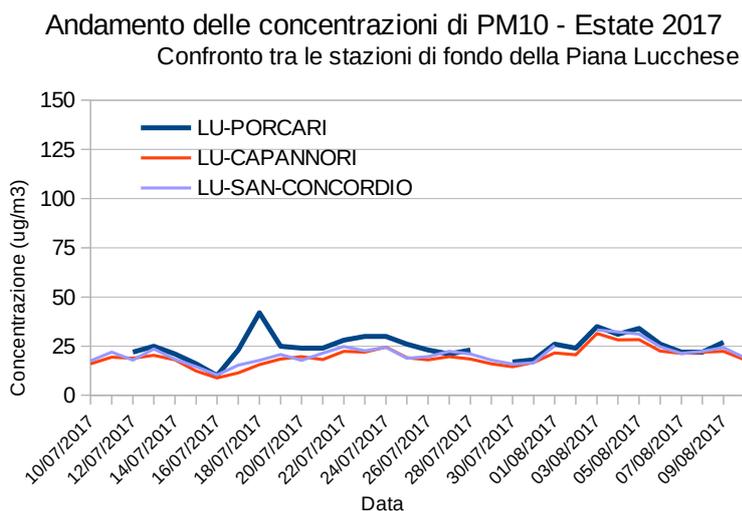
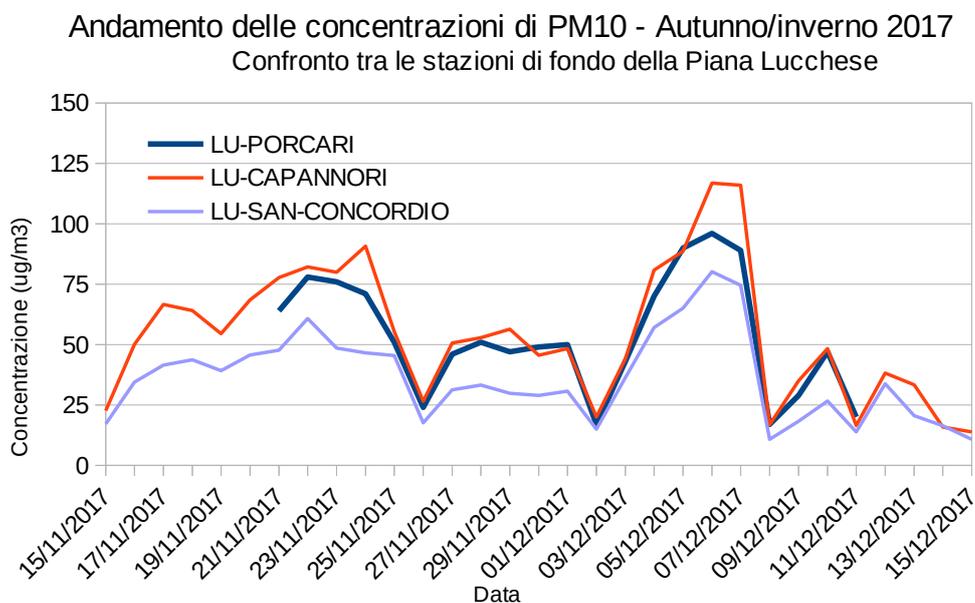


Tabella 5 – Sintesi dati rilevati nel periodo autunno/inverno 2017 di funzionamento dello Skypost a Porcari e nelle centraline della Zona omogenea Valdarno Pisano e Piana Lucchese

PERIODO AUTUNNO-INVERNO (21/11-11/12/17)					
Centralina	n° dati validi	Media [ug/m3]	Massimo [ug/m3]	Minimo [ug/m3]	# medie > 50 ug/m3
LU-Porcari (Skypost)	21 su 21	54	96	17	10
LU-Capannori	21 su 21	59	117	17	12
LU-San Concordio	21 su 21	39	80	11	5
PI-Passi	21 su 21	28	62	10	2
PI-Santa Croce "Coop"	21 su 21	38	76	10	8

Grafico 4 – PM10 confronto degli andamenti giornalieri rilevati a Porcari e nelle stazioni regionali di fondo della Piana Lucchese nel periodo autunno/inverno 2017 di funzionamento dello Skypost a Porcari



Sono state riportate le tabelle degli indicatori sui periodi di campionamento dello Skypost a Porcari per tutte le centraline regionali di fondo della zona omogenea Valdarno Pisano e Piana Lucchese, mentre per una più rapida visualizzazione, nei grafici, sono stati considerati solamente i valori medi giornalieri di PM10 delle stazioni di interesse della Piana Lucchese, oltre alla stazione di Porcari, oggetto della presente relazione.

I dati, come si vede anche dai grafici, e come accennato sopra, riportano il fatto che le medie sul periodo tardo autunnale e invernale (Tabelle 3 e 5) sono assai superiori nel contesto Capannori/Porcari, anche rispetto alla stessa stazione lucchese di San Concordio che presenta valori più contenuti, piuttosto in linea con i valori tipici del contesto del Cuoio, con PI-Santa Croce "Coop" come stazione rappresentativa. I valori di PI-Passi si stabilizzano su una fascia inferiore di 10-13  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  rispetto ai valori medi restituiti dagli ultimi due siti di misura citati.

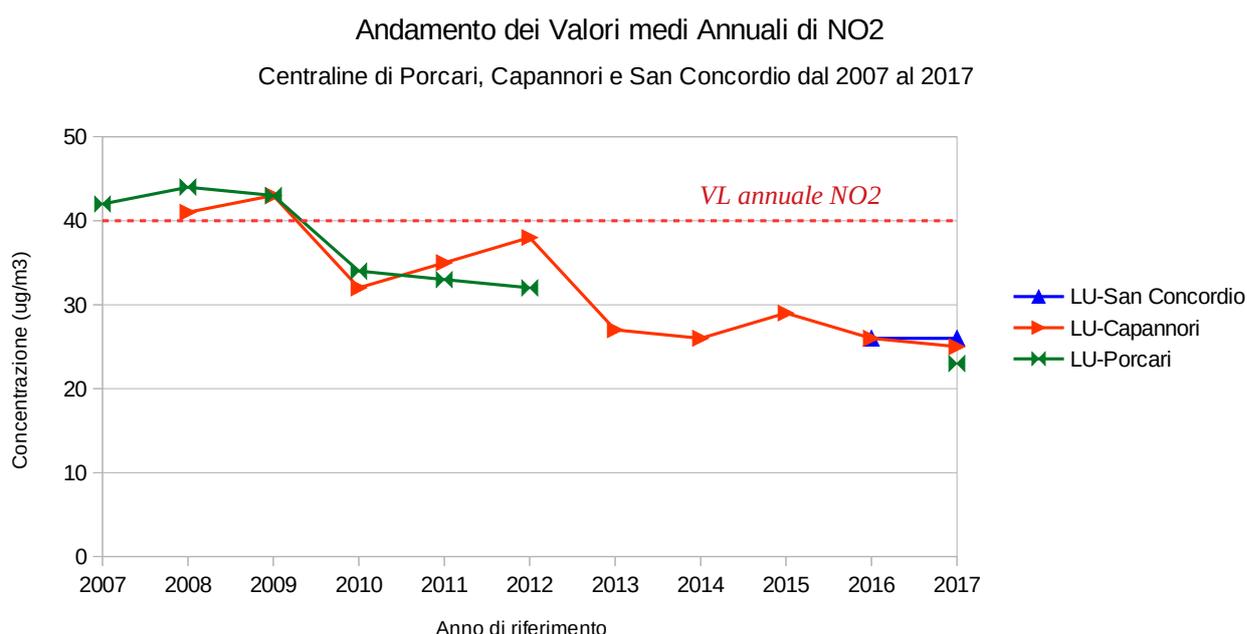
I valori medi sul periodo estivo (Tabella 4) sono molto simili (20-21  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) nelle stazioni di LU-Capannori, LU-San Concordio e Pisa-Passi, mentre rimangono più elevati (24-25  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) su Santa Croce S/A e la stessa Porcari, valori poco più elevati molto probabilmente a causa di pressioni localizzate nell'intorno del punto di misura.

## 4.2 NO<sub>2</sub>: medie orarie e confronti

Tabella 6 – Indicatori riguardanti le misure annuali 2017 di Biossido di Azoto

ANNO 2017 – NO <sub>2</sub>		LU-Porcari	LU-Capannori	LU-San Concordio
Grafico 4	N. dati	8111	8231	8242
	Percentuale dati validi	98	99	99
Confronto	Valore medio annuale	23	25	26
	Valore massimo orario	110	128	151
	Data / ora del valore max	27/01/2017 ore 21	27/01/2017 ore 20	26/01/2017 ore 20
	n° superamenti valore medio orario > 200 µg/m <sup>3</sup>	0	0	0

dell'andamento dei valori medi annuali di Biossido di Azoto sulla centralina di Porcari e quelle regionali di LU-Capannori e LU-San Concordio prese a riferimento. Dati ove disponibili dal 2007 al 2017. LU-San Concordio attivata nel corso del 2015; serie valide dal 2016.



Dalla Tabella relativa all'anno 2017, da cui sono desunti gli indicatori utili ai fini del confronto con i limiti normativi, emerge che tutte le serie trattate sono valide (raccolta dati > 90%) e che i valori medi annuali di tutte le centraline della Piana Lucchese sono ampiamente al di sotto del limite annuale (VL(NO<sub>2</sub>) = 40 µg/m<sup>3</sup> come riportato nel paragrafo 2).

Inoltre, Porcari mostra una media annuale inferiore sia a Capannori che a San Concordio (23 µg/m<sup>3</sup> contro i 25 µg/m<sup>3</sup> di Capannori e i 26 µg/m<sup>3</sup> di San Concordio).

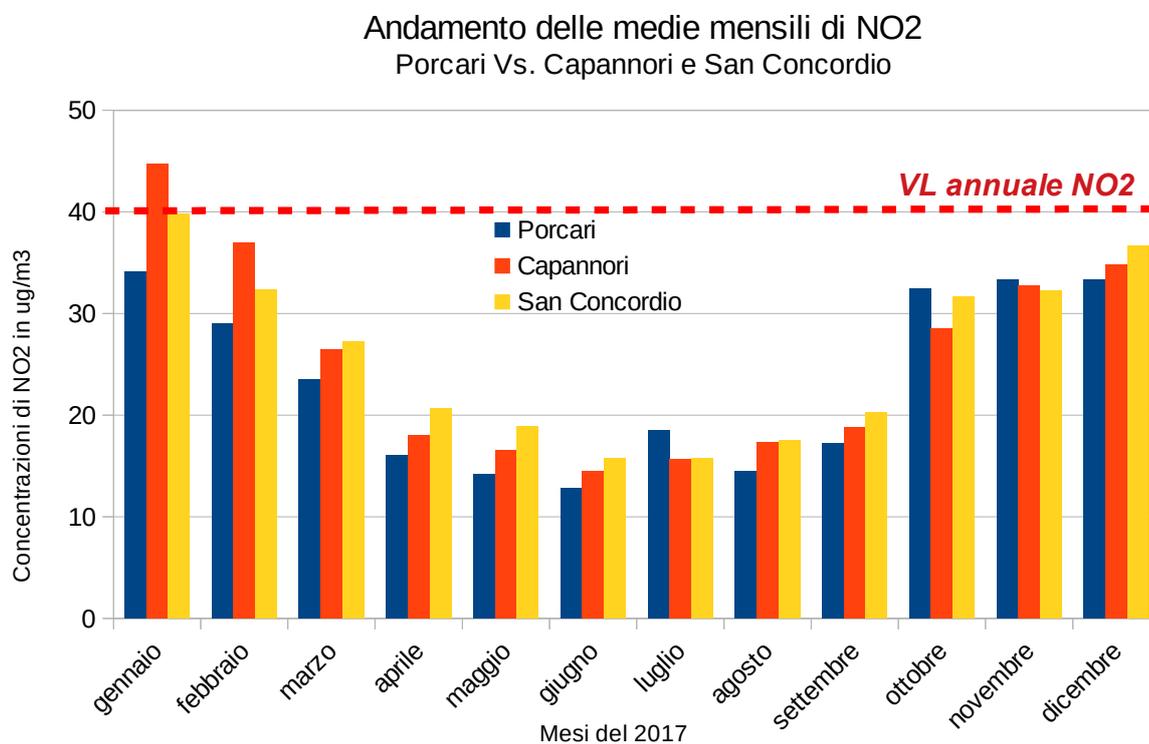
Nel grafico si vede inoltre la serie storica delle media annuali dal 2007: vi sono addirittura superamenti del VL annuale per Porcari e Capannori fino al 2009, un rispetto dei limiti dal 2010 in poi. San Concordio mostra serie storiche valide dal 2016, essendo stata attivata nel marzo 2015.

### 4.3 NO<sub>2</sub>: medie mensili (anno 2017)

Tabella 6 – Tabella di confronto delle medie mensili di NO<sub>2</sub> registrate a Porcari, Capannori e San Concordio

Medie mensili di Biossido di Azoto (in ug/m3)			
Mese	Porcari	Capannori	San Concordio
gennaio	34	45	40
febbraio	29	37	32
marzo	24	26	27
aprile	16	18	21
maggio	14	17	19
giugno	13	14	16
luglio	18	16	16
agosto	15	17	18
settembre	17	19	20
ottobre	32	29	32
novembre	33	33	32
dicembre	33	35	37

Grafico 5 – PM<sub>10</sub> confronto degli andamenti delle concentrazioni medie mensili tra Porcari, Capannori e San Concordio (anno 2017)



Dalla Tabella, ma soprattutto dal grafico a istogramma, si deduce che le medie mensili di NO<sub>2</sub> a Porcari sono solitamente inferiori a quelle di Capannori e San Concordio, ad eccezione dei mesi di luglio, ottobre e novembre, in cui esse risultano in linea o leggermente superiori.

#### 4.4 NO<sub>2</sub>: Giorno tipo e giorno tipo sulla settimana

Grafico 6 – *Giorno tipo (anno 2017) per le concentrazioni medie orarie di NO<sub>2</sub> rilevate a Porcari*

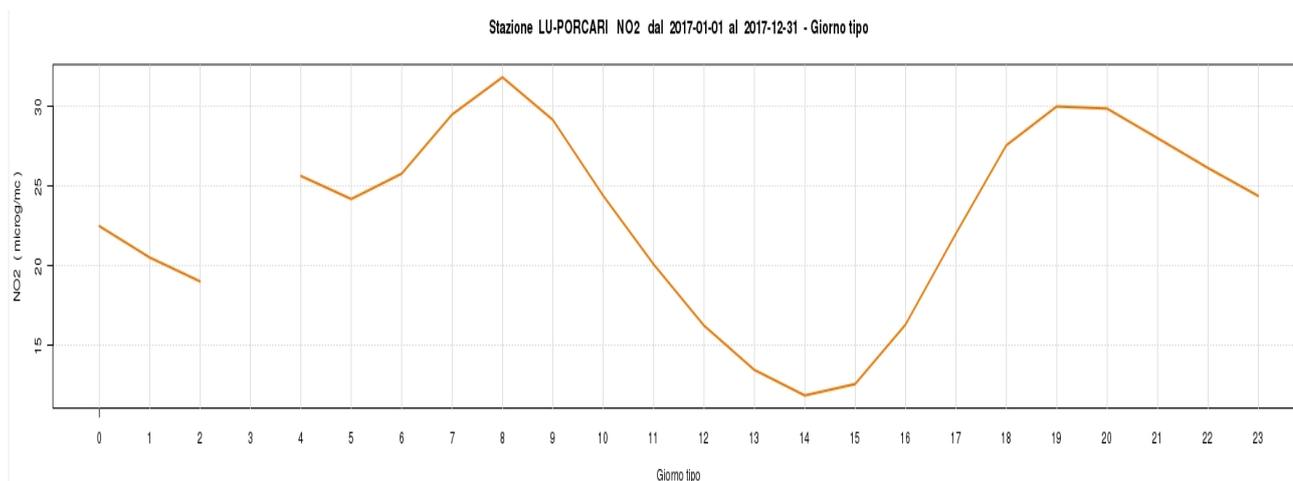
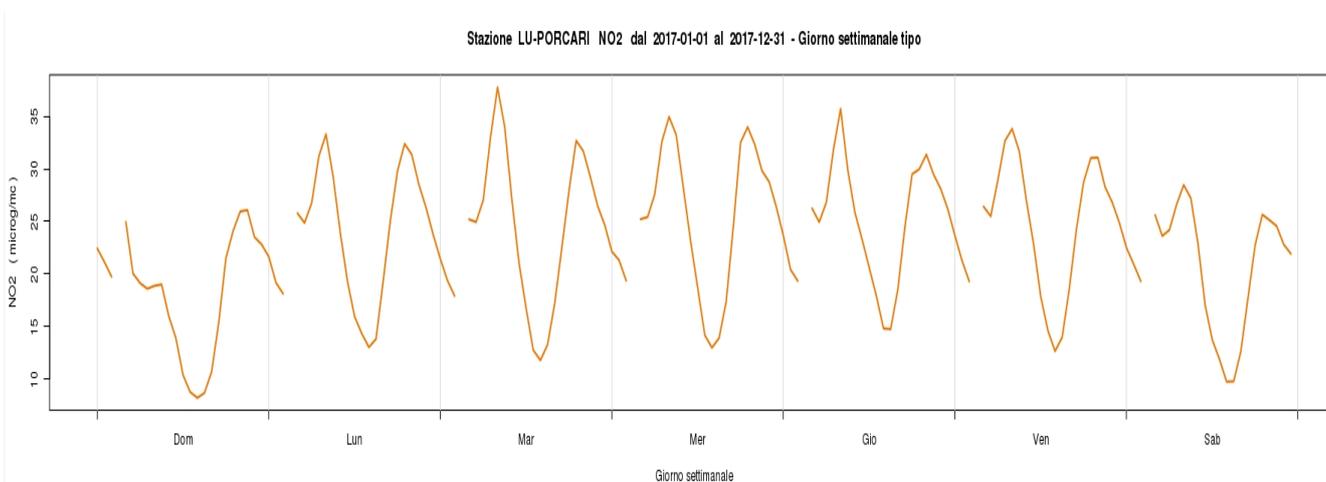


Grafico 7 – *Andamento dei valori medi orari di NO<sub>2</sub> nel giorno solare suddivisi per giorno della settimana*

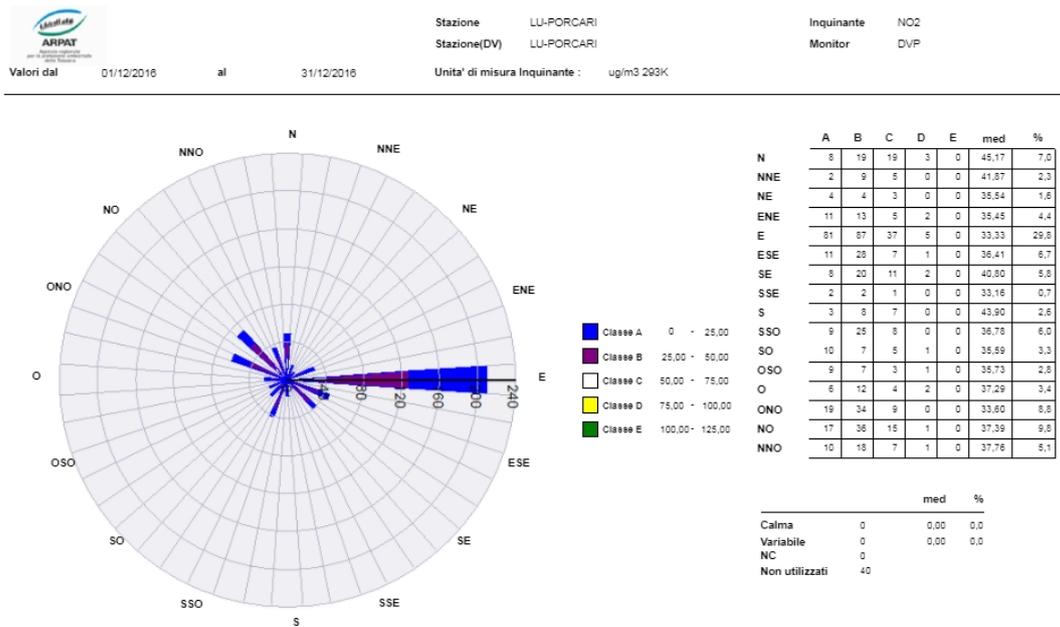


Da questi grafici è possibile vedere come variano mediamente i valori medi orari di NO<sub>2</sub> a Porcari nel corso delle ore del giorno, facendo la media per ogni ora su tutti i giorni dell'anno solare 2017. L'andamento è tipico del Biossido di Azoto, con valori massimi orari o picchi incentrati sulle 8 del mattino e la fascia oraria 19-20 serale. I valori sfiorano o stanno di poco sopra ai 30 µg/m<sup>3</sup>.

Nel secondo grafico, si vede come invece variano i valori medi giornalieri all'interno del giorno, ma selezionati per giorno della settimana. Si vedono quindi picchi maggiori al centro della settimana (martedì – giovedì) e valori più bassi il sabato e la domenica, in linea con i ritmi consueti delle attività indotte dalle scuole e della maggior parte delle attività lavorative. Si osserva che la centralina sorge appunto nelle immediate pertinenze di un plesso scolastico.

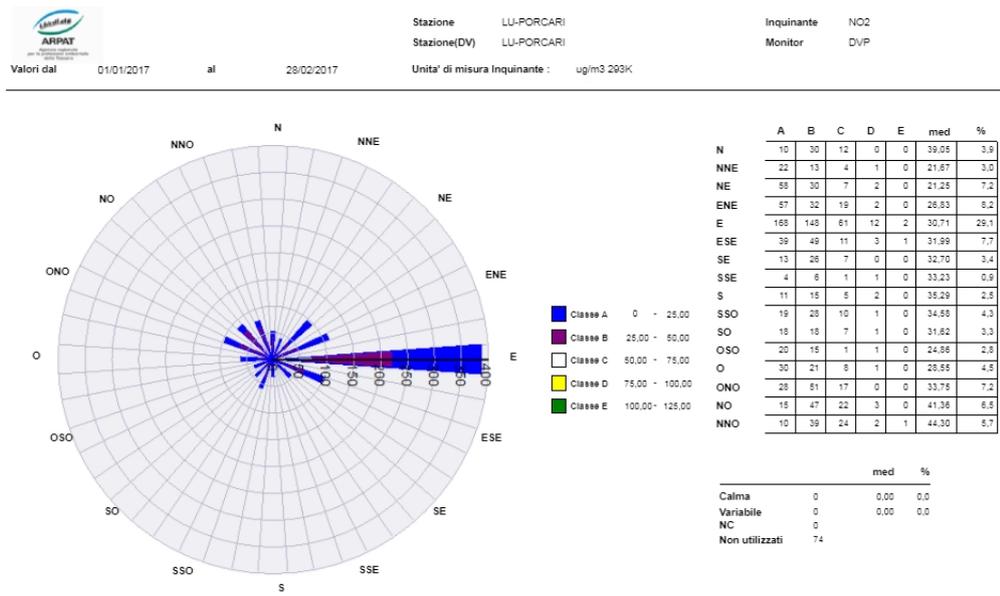
## 4.5 NO<sub>2</sub>: Rosa dell'inquinamento

Grafico 8 – Rosa dell'inquinamento (NO<sub>2</sub>) per il periodo dicembre 2016 (inverno)



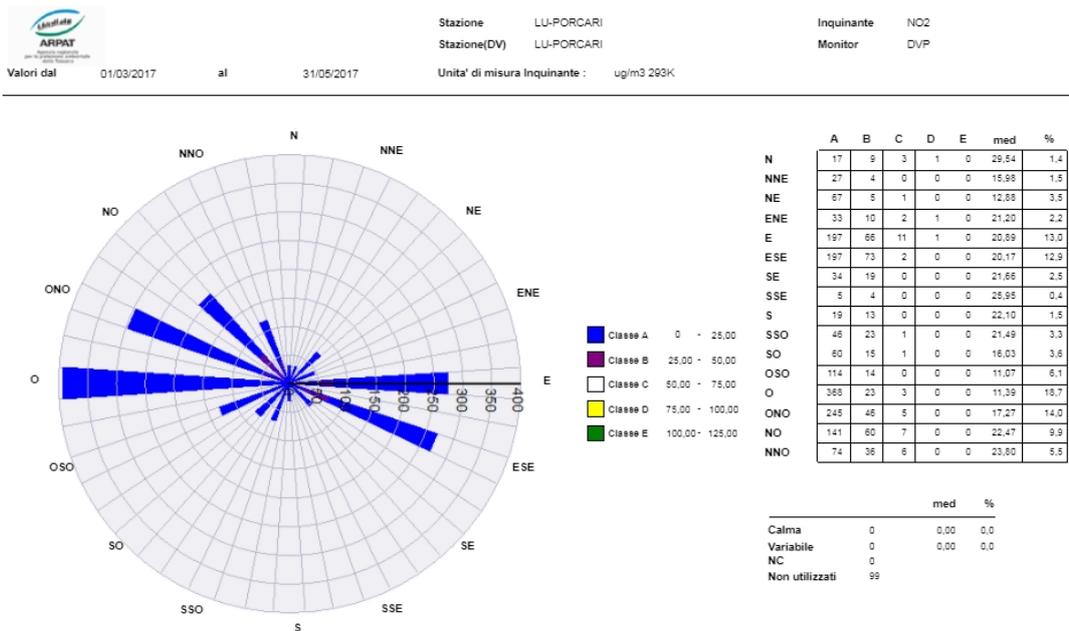
Project Automation S.p.A.

Grafico 9 – Rosa dell'inquinamento (NO<sub>2</sub>) per il periodo 1° gennaio – 28 febbraio 2017 (inverno)



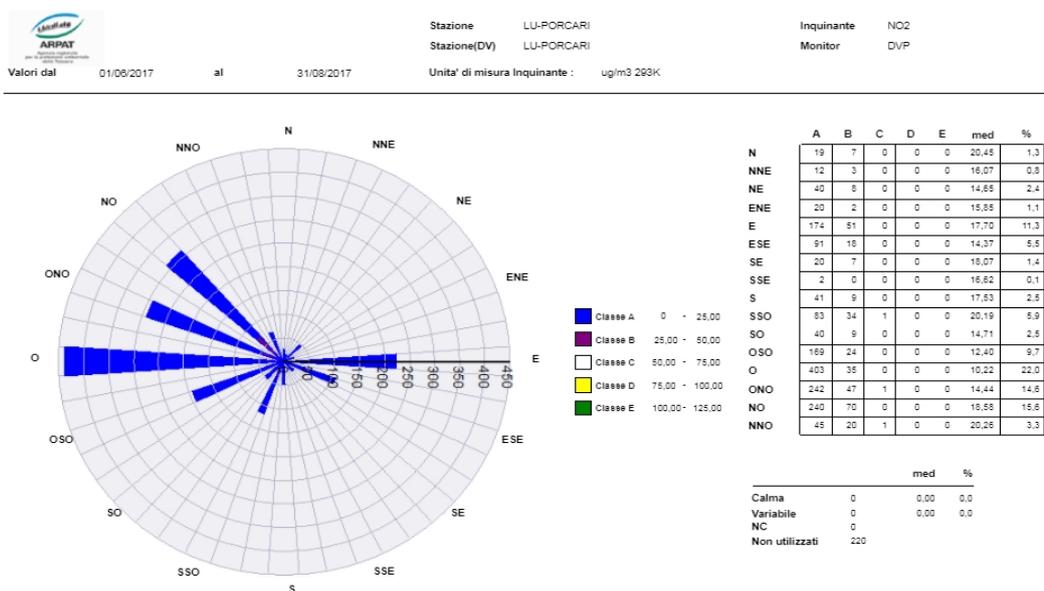
Project Automation S.p.A.

Grafico 10 – Rosa dell'inquinamento (NO2) per il periodo 1° marzo – 31 maggio 2017 (primavera)



Project Automation S.p.A.

Grafico 11 – Rosa dell'inquinamento (NO2) per il periodo 1° giugno – 31 agosto 2017 (estate)



Project Automation S.p.A.

Grafico 12 – Rosa dell'inquinamento (NO2) per il periodo 1° settembre – 30 novembre 2017 (autunno)

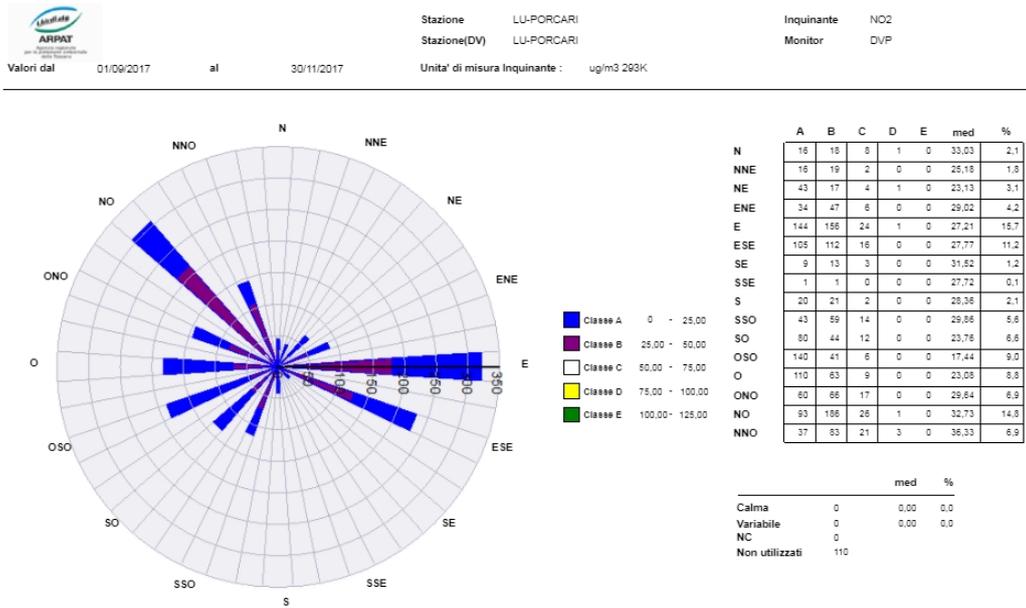
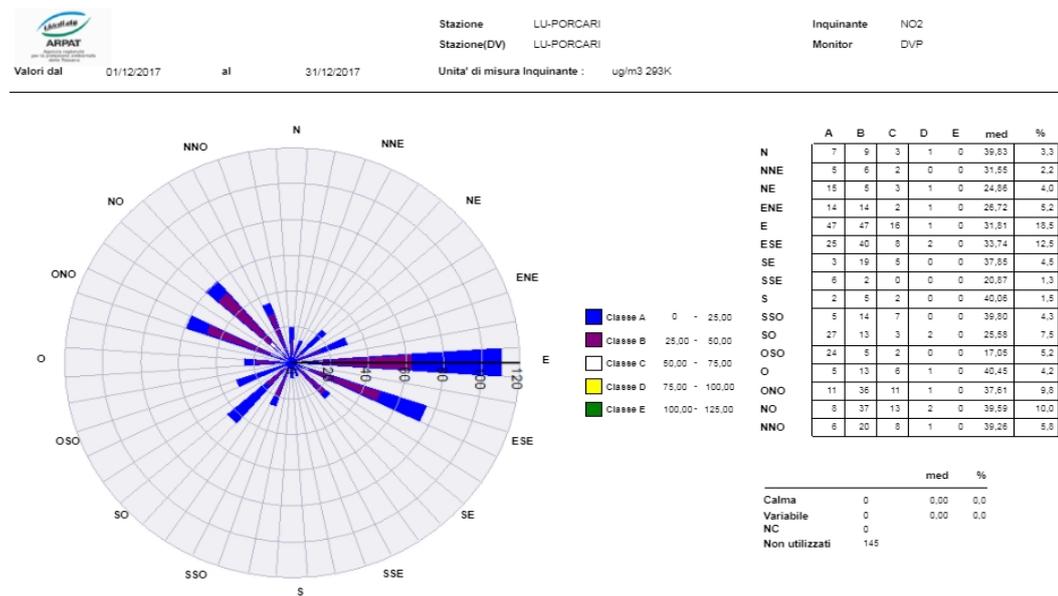


Grafico 13 – Rosa dell'inquinamento (NO2) per il periodo dicembre 2017 (inverno)



Da queste rose dell'inquinamento dedicate all'NO<sub>2</sub>, inquinante monitorato a Porcari per 13 mesi da dicembre 2016 a tutto il 2017, si evincono i seguenti fatti:

- le direzioni dei venti sono da Ovest ed Est nei mesi estivi, in concomitanza con fenomeni più frequenti di concentrazioni medie orarie di NO<sub>2</sub> sotto i 50 µg/m<sup>3</sup>, mentre si assestano sugli assi Nord-Ovest ed Est/Est-Sud-Est nel periodo autunnale, nel periodo invernale sono provenienti essenzialmente da Est.

Nell'intervallo autunnale, 1° settembre – 30 novembre 2017, si evince una concomitanza dei fenomeni di concentrazione di NO<sub>2</sub> sotto i 50 µg/m<sup>3</sup> di Classe A Blu e Classe B Viola, sia da Est che dal quadrante Nord-occidentale.

Gli eventi invece di maggiore concentrazione di Biossido di Azoto sono disparati, in tutti i periodi dell'anno, in maniera più o meno equa su diverse direzioni, e non se ne desume una direzione privilegiata - colonne D, E con colori non discernibili nella rosa dell'inquinamento per la rarità degli eventi stessi e che nelle tabelle corrispondono alla fascia 75 – 125 µg/m<sup>3</sup>.

Si nota solamente una direzione privilegiata (Est) degli eventi con NO<sub>2</sub> maggiore di 75 µg/m<sup>3</sup> nel periodo invernale 2016/17 (primi due grafici della serie del presente paragrafo).

Come riportato nel paragrafo 5 (Grafico 17), i valori medi orari di velocità del vento hanno avuto punte di circa 7 m/s (circa 25 km/h) nel mese di dicembre 2017. Le fasce di velocità registrate sono le seguenti:

- fenomeni di calma di vento (o bava di vento) con  $v \leq 1,5$  m/s corrispondono a circa il 78% degli eventi orari sull'anno solare 2017;
- alla stessa stregua, i valori con  $v \geq 3,5$  m/s si sono registrati per circa il 3% del tempo.

Nel grafico 17 riportato nel paragrafo successivo, sono riportate i valori medi giornalieri di velocità del vento in m/s in blu, mentre in arancione è riportato graficamente il valore medio orario massimo sul giorno corrispondente.

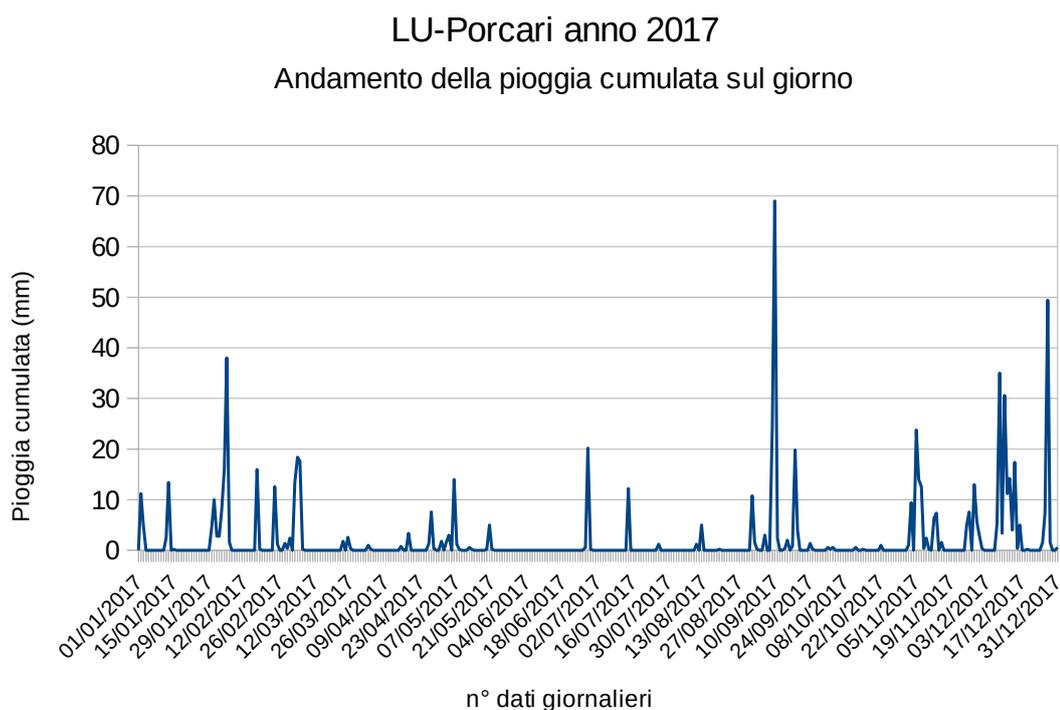
Stagionalmente, si evince una serie di eventi con velocità medie orarie maggiori di 6 m/s soprattutto nei mesi estremi della linea temporale, vale a dire gennaio/febbraio e novembre/dicembre, con invece prevalenza di brezze - in fascia di velocità tra 2 e 4 m/s - tipicamente dai settori Nord-Occidentali nei mesi centrali dell'anno, specialmente in estate.

## 5. Dati meteorologici

Come ormai noto, le condizioni meteorologiche influenzano in maniera importante i livelli di inquinamento in atmosfera, in particolar modo per quanto riguarda il particolato.

Nella stazione di Porcari sono disponibili dati meteo con risoluzione oraria: pioggia (mm), Press (mbar), temp (°C), Velocità del vento (m/s), Direzione prevalente del vento (Settore), Radiazione totale (W/m<sup>2</sup>) e Radiazione netta (W/m<sup>2</sup>). Occorre precisare che i valori misurati sono puramente indicativi in quanto la misurazione è stata effettuata con strumentazione e in una posizione che non è completamente rispondente alle norme tecniche internazionali WMO<sup>2</sup> e EPA<sup>3</sup>.

Grafico 14 – Pioggia cumulata su base giornaliera in mm sull'anno solare 2017



2 Quality Assurance Handbook for Air Pollution Measurement Systems - Volume IV: Meteorological Measurements (EPA-454/B-08-002), par. 0.2.2 (table 0.12), par. 2.4  
([https://www3.epa.gov/ttn/amtic/files/ambient/met/Volume\\_IV\\_Meteorological\\_Measurements.pdf](https://www3.epa.gov/ttn/amtic/files/ambient/met/Volume_IV_Meteorological_Measurements.pdf))

3 WMO GUIDE TO METEOROLOGICAL INSTRUMENTS AND METHODS OF OBSERVATION, par. 5.9  
([https://library.wmo.int/opac/doc\\_num.php?explnum\\_id=3177](https://library.wmo.int/opac/doc_num.php?explnum_id=3177))

Grafico 15 – Andamento delle temperature su base giornaliera: sono riportate la media giornaliera, il valore medio orario massimo sul giorno e il valore medio orario minimo sul giorno

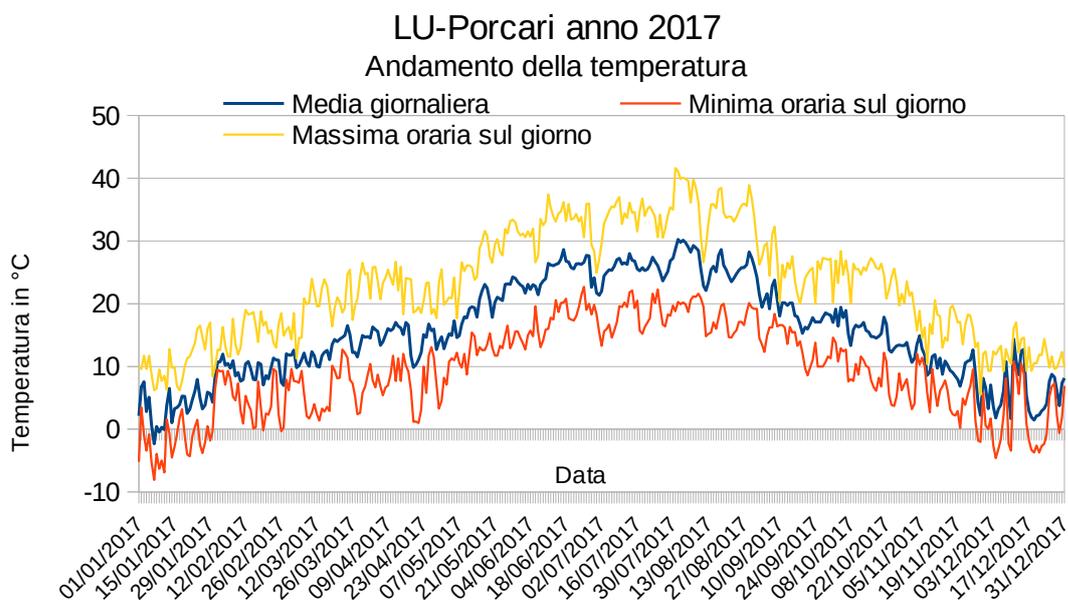


Grafico 16 – Andamento dei valori medi giornalieri di umidità relativa (U.R. %) nell'anno 2017

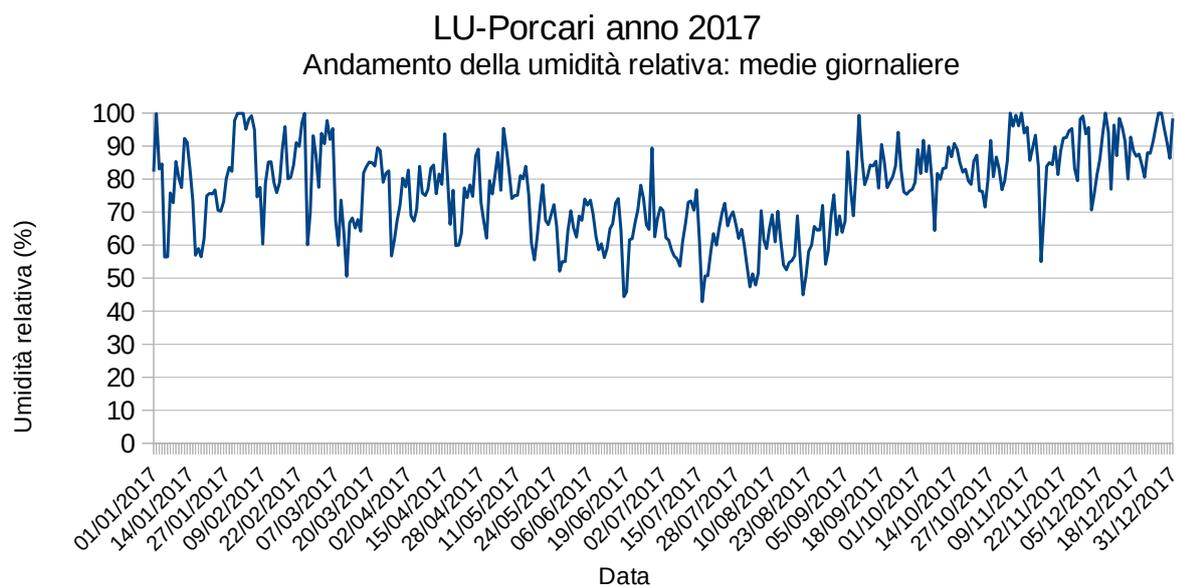


Grafico 17 – Andamento dei valori medi giornalieri della velocità del vento (VVP) in m/s con evidenziati i valori massimi orari sul giorno

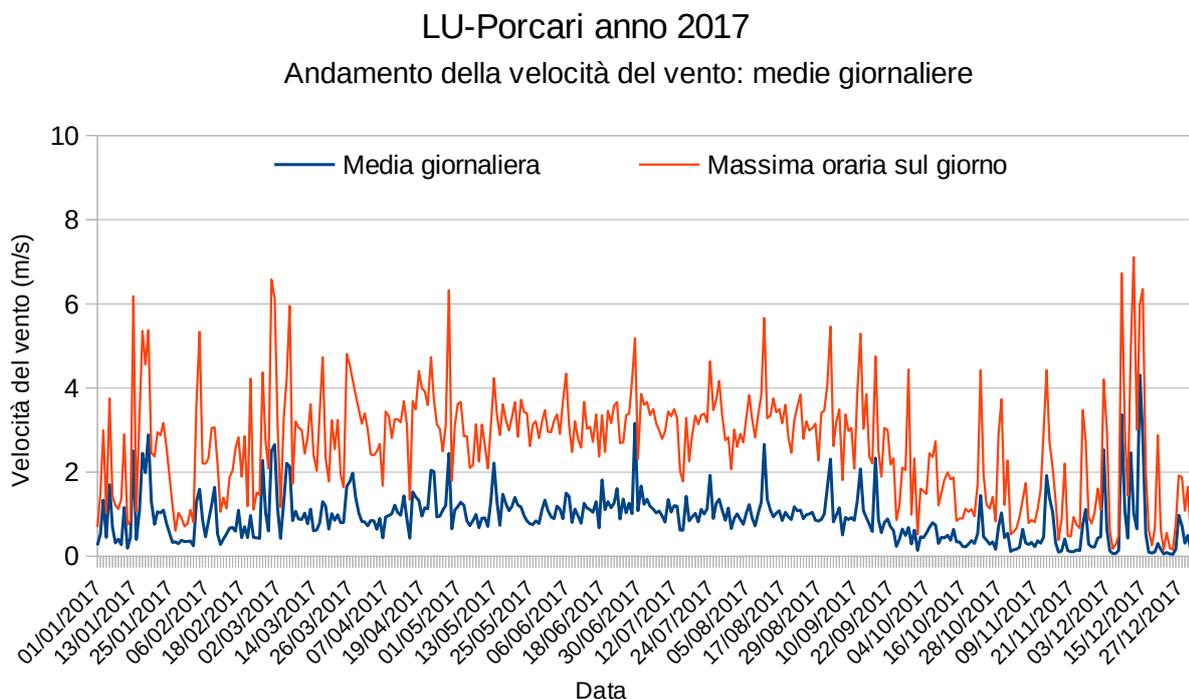
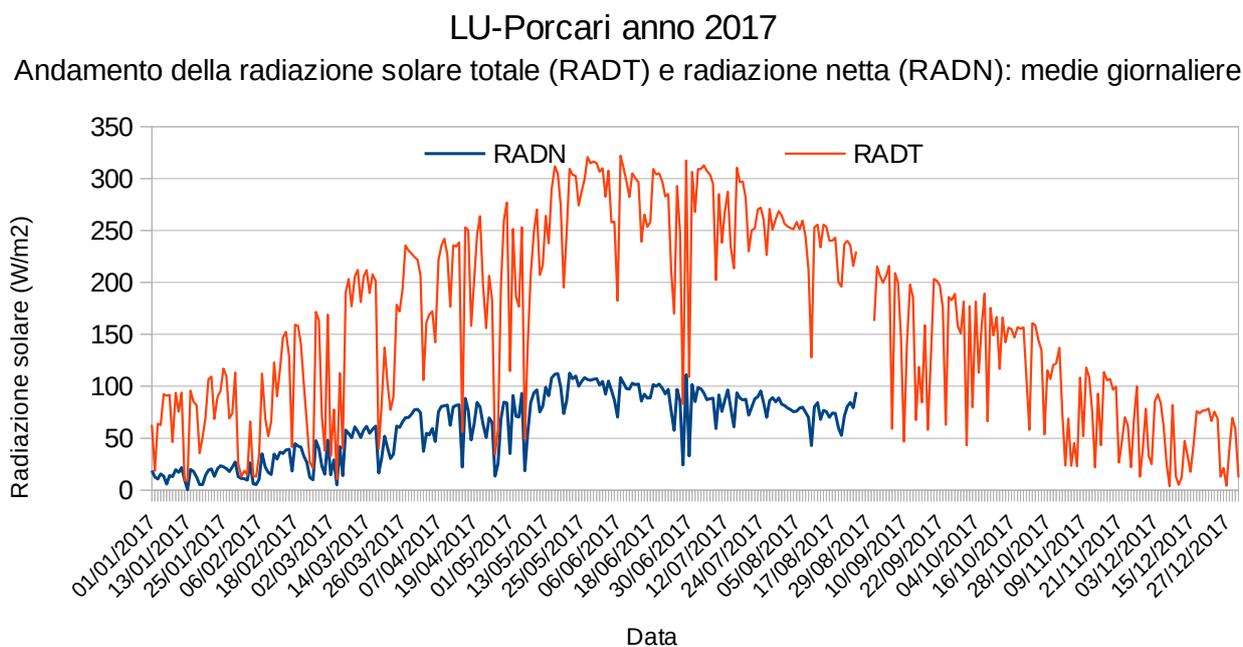


Grafico 18 – Andamento della radiazione totale e della radiazione netta su base giornaliera in  $W/m^2$ . I dati di Radiazione netta si sono fermati al 25 di agosto, a causa di un malfunzionamento non riparabile allo strumento di misura interessato.



Seppur a livello preliminare e molto indicativo, come parametro di sintesi è stata calcolata la classe di stabilità di Pasquill con un metodo di classificazione già utilizzato da ARPAT<sup>4</sup> in studi passati. La classe di stabilità è indicata da un lettera (da A ad F) che fornisce una indicazione qualitativa del livello di stabilità dell'atmosfera che è crescente da A verso F.

Classe	Definizione	Classe	Definizione
A	Molto instabile	D	Neutrale
B	Instabile	E	Leggermente stabile
C	Leggermente instabile	F	Stabile

Un'atmosfera più stabile corrisponde ad una maggiore possibilità di accumulo degli inquinanti. Poiché la classe di stabilità ha anch'essa un andamento giornaliero, una preliminare analisi di questo parametro può essere molto utile per capire gli andamenti giornalieri degli inquinanti. Nei grafici di seguito riportati sono esaminate le ricorrenze delle diverse classi di Pasquille su base oraria relative rispettivamente a: periodo invernale dicembre-gennaio 2016-17 (grafico 19) e periodo estivo 23 giugno-24 luglio 2017 (grafico 20). Per quanto riguarda il periodo invernale si può chiaramente notare come le classi più instabili, la B e la C, siano ripartite esclusivamente nelle ore centrali del giorno ovvero dalle 10.00 del mattino alle 17.00 di sera. Questa distribuzione corrisponde a quanto noto sulla fisica dell'atmosfera che vede di notte l'instaurarsi di condizioni più tendenti alla stabilità.

Dalla prima analisi dei dati orari dei 62 giorni osservati per l'inverno si può notare che la classe A, atmosfera molto instabile e quindi molto favorevole alla dispersione degli inquinanti, non compare mai. La classe nettamente prevalente è la D (circa il 75%), atmosfera neutrale, e il restante 25 % si ripartisce tra le classi B, C e F .

Nel grafico relativo all'estate, si ha chiaramente evidenza che le caratteristiche di rimescolamento dell'atmosfera cambiano nettamente con la stagione. Nelle ore diurne (dalle 7 di mattina alle 18 la sera) prevalgono le classi A, B e C relative all'atmosfera instabile. La classe A non solo è presente in estate ma è addirittura la più frequente nelle ore di maggiore insolazione (10-14).

---

<sup>4</sup> ARPAT, "Rete meteorologica di monitoraggio della provincia di Firenze; stazioni, sensori, grandezze elaborate, attività di controllo e manutenzione", ARPAT, Dipartimento provinciale di Firenze, U.O. Fisica Ambientale, Sezione Regionale di Modellistica, Climatologia e Meteorologia, 2001.

Classi di Pasquill calcolate con metodo ARPAT

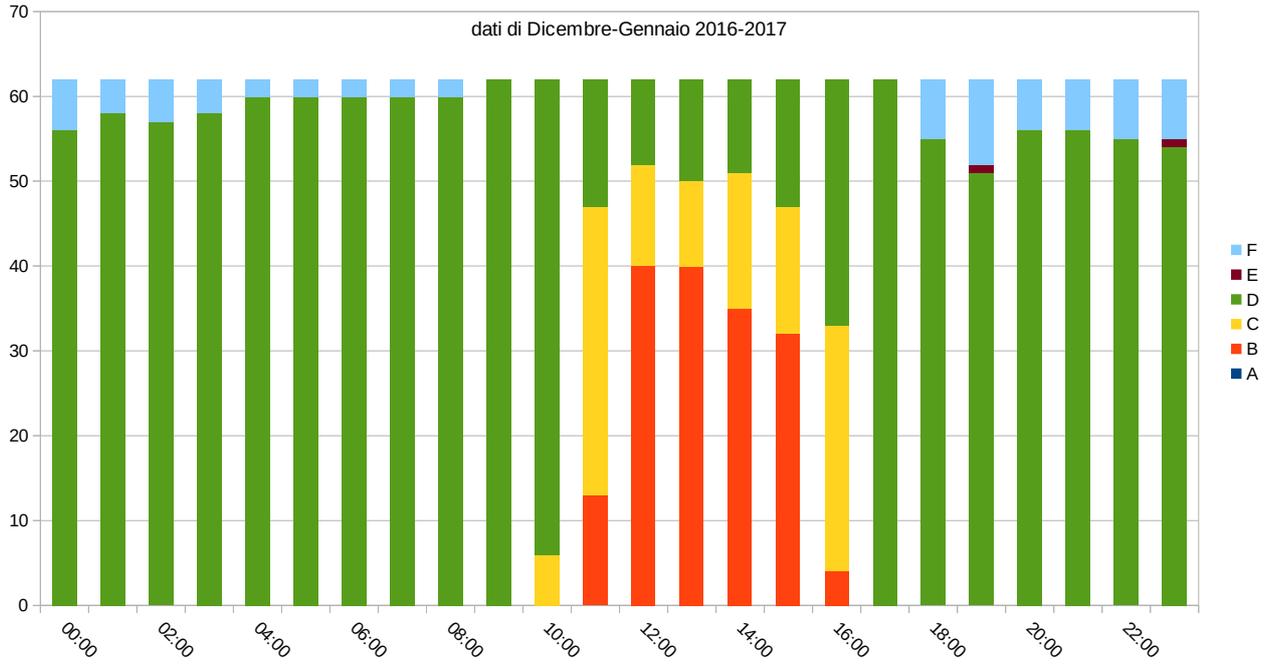
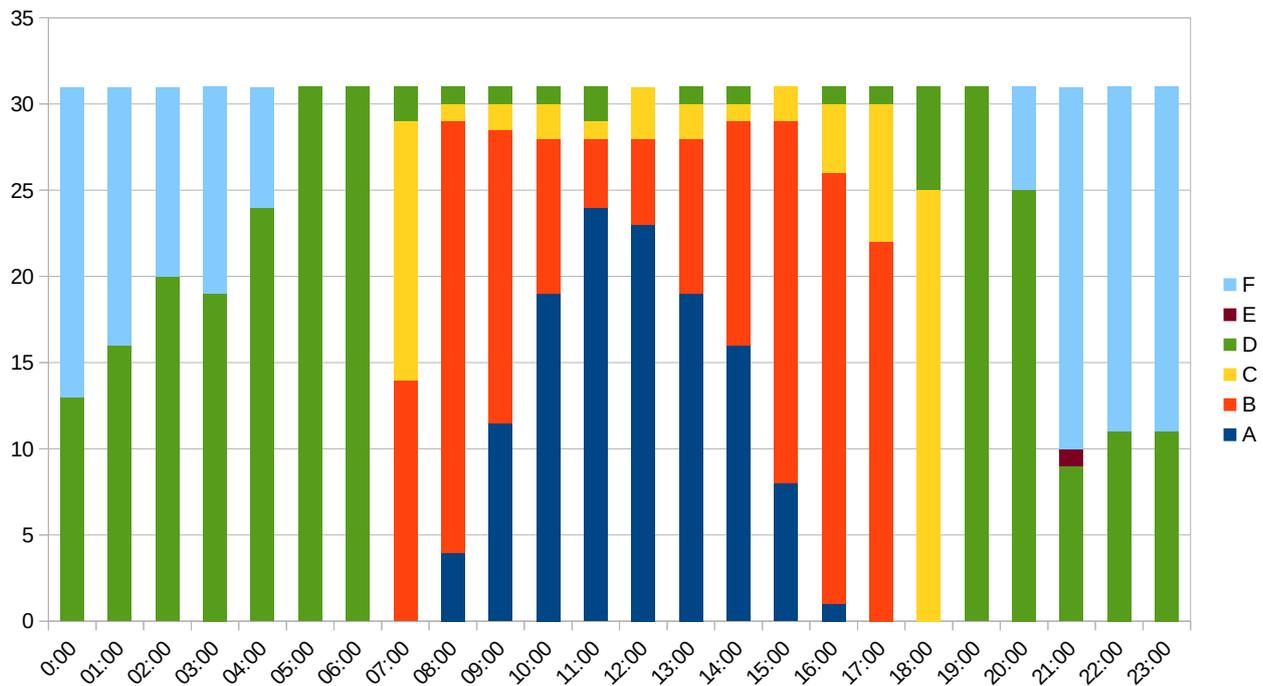


Grafico 19 – Frequenza delle classi di Pasquill nelle diverse ore del giorno in riferimento al periodo della campagna invernale. Dati di dicembre 2016-gennaio 2017

Grafico 20 – Frequenza delle classi di Pasquill nelle diverse ore del giorno in riferimento al periodo della campagna estiva. Dati di giugno-luglio 2017



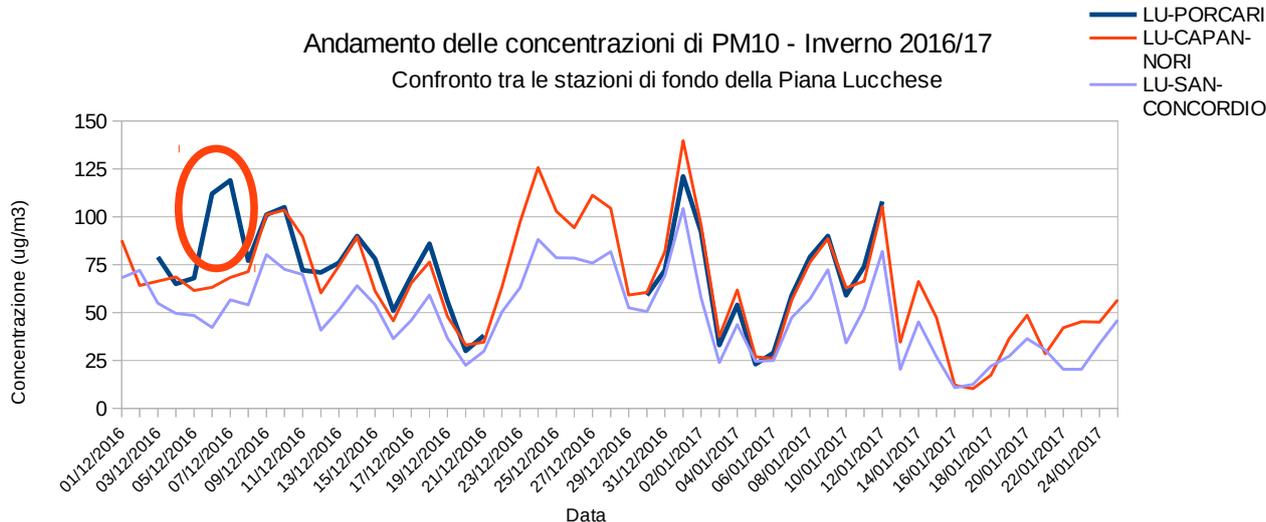
## 6. Approfondimento sul PM attraverso i dati misurati dall'OPC

L'utilizzo di un contatore ottico nella campagna, anche se non costituisce metodo ufficiale di misura, ha fornito un'opportunità di approfondimento sul PM. Lo strumento fornisce infatti un dettaglio temporale al minuto e questo consente di delineare un andamento giornaliero, in genere non disponibile per le polveri, che è utile per meglio mettere in relazione gli inquinanti con i fenomeni che li generano. Inoltre il contatore ottico effettua la scansione del PM su diverse classi granulometriche e restituisce oltre al PM10 anche PM2,5 e PM1. La speciazione del PM è anche essa indicativa dei fenomeni che governano la concentrazione di particolato in atmosfera.

I contatori ottici trovano ormai da alcuni anni ampia applicazione nelle campagne di monitoraggio effettuate dalle Agenzie ambientali finalizzate ad un supporto agli Enti Locali o dall'Università con finalità di ricerca. Numerosi studi sono stati svolti sia in centri urbani metropolitani, come Milano [1], Torino [2] e Roma [3], sia in aree di studio di particolare interesse come l'area della pianura padana, nell'ambito del progetto PoAir [4],[6] e, in Emilia Romagna, nell'ambito del progetto Supersito [5]. Le campagne svolte sono state sia orientate ad un particolare tipo di inquinamento che allo studio del particolato urbano in generale e, spesso, il monitoraggio con l'OPC è stata accoppiato a quella delle particelle ultrafini o ad analisi di speciazione chimica.

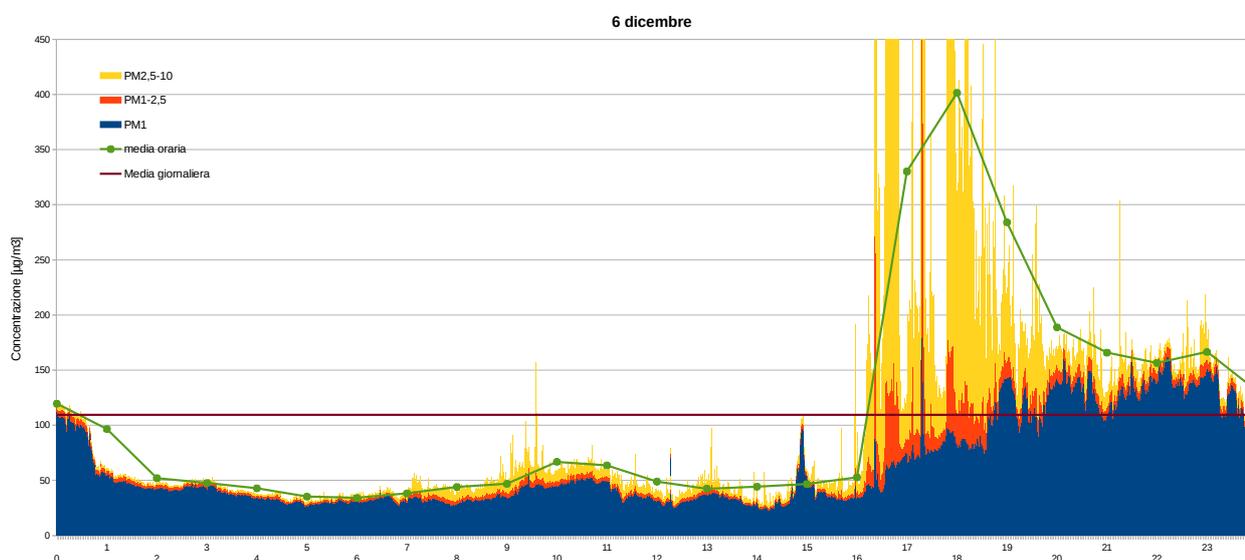
A titolo di esempio di come la presenza del contatore ottico possa concorrere a spiegare nel dettaglio i fenomeni osservati su scala giornaliera, si riporta un caso specifico che si è verificato durante la campagna invernale.

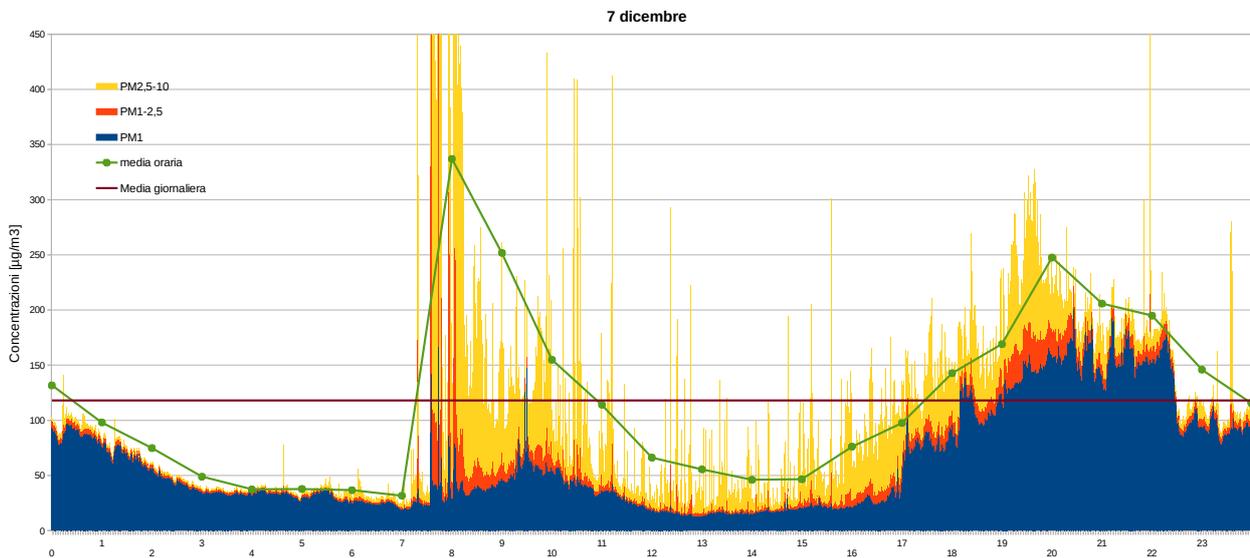
Di seguito è riportato il grafico dell'andamento del PM10 rilevato a Porcari durante le campagne effettuate con campionatore skypost insieme ai dati delle stazioni di rete regionale LU-Capannori e LU-S. Concordio, già presentato in Fig 2. L'unica discordanza che si può osservare tra i dati di Porcari ed i dati di Capannori è evidenziata nel grafico e si verifica nei giorni 6 e 7 dicembre in cui il dato di Porcari presenta un picco non rilevato a Capannori. La affidabilità della misura di Porcari trova conferma nel fatto che in quei giorni erano attivi entrambi gli strumenti per la determinazione del Particolato (OPC e campionatore Skyost) e i dati di PM 10 dei due sistemi sono, per quei giorni, perfettamente coerenti.



La differenza tra i siti di misura è quindi da attribuirsi a sorgenti di tipo locale piuttosto vicine alla stazione. Infatti, come confermato dagli Uffici Comunali, in quei giorni si svolgevano nei pressi della stazione di monitoraggio di Porcari lavori sul manto stradale che possono aver influenzato i livelli di PM10.

L'analisi della composizione granulometrica registrata dall'OPC nei giorni del 6 e 7 dicembre conferma in maniera molto chiara questo dato mettendo in evidenza la presenza di elevate concentrazioni delle frazioni più grossolane del PM proprio negli orari diurni in cui si verificavano i lavori (Fig. 21 e Fig 22). Nei grafici di Fig. 21 e 22 sono rappresentati gli andamenti del PM come diagrammi impilati in cui sono sovrapposti i diversi contributi: in blu frazione del PM1, in rosso frazione da PM1 a PM2,5 in giallo frazione tra PM2,5 e PM10. La curva verde riporta il valore della media oraria (riferita ai dati minuto precedenti) mentre la linea marrone rappresenta la media giornaliera.





Di seguito è riportata una analisi generale e anche complessiva dei dati ottenuti con il contatore ottico durante tutta la campagna e sono presentate alcune delle informazioni che se ne possono ricavare. Questa analisi si articola in 3 passaggi:

1. Confronto con il metodo ufficiale UNI 12341 (par 6.1)

Come più volte specificato, trattandosi di un metodo di misura alternativo, passaggio obbligato per comprendere il livello di affidabilità dei dati che si vanno a trattare è quello di confrontarsi con il metodo ufficiale a livello di medie giornaliere.

2. Analisi del PM su base oraria e contributo delle diverse frazioni (par 6.2)

Sono analizzati i dati che il contatore fornisce in termini di concentrazioni di PM10, PM2,5 e PM1. In questo caso l'analisi è svolta su base oraria e vengono elaborati giorni tipo di riferimento per ciascuna frazione sia per l'estate che per l'inverno.

3. Considerazioni sul numero delle particelle (par 7)

La misura diretta dell'OPC è il conteggio del numero delle particelle per ciascuna frazione granulometrica che successivamente viene trasformato in concentrazione mediante un apposito algoritmo. Le classi granulometriche sono in tutto 15 e vanno da un minimo di 0,3 µm fino a 20 µm. I dati dei conteggi sono analizzati con la massima risoluzione registrata, ovvero come dati al minuto.

### 6.1 Confronto con il metodo ufficiale UNI 12341

Nel periodo invernale il campionamento con il metodo UNI 12341 (di seguito definito skypost) è stato effettuato per due periodi distinti nell'ambito della campagna di misura, ovvero dal 3 al 21 dicembre e dal 30 dicembre al 12 gennaio, mentre l'OPC è stato attivo per tutto il periodo. Durante l'estate il periodo di campionamento con l'OPC è andato dal 24 giugno al 23 luglio 2017 mentre il campionamento con metodo UNI è stato effettuato dal 12 luglio al 23 luglio.

Di seguito è riportato il confronto degli andamenti dei dati ottenuti con i due sistemi.

Grafico 1 – PM10 andamenti giornalieri rilevati a Porcari 2-21 dicembre

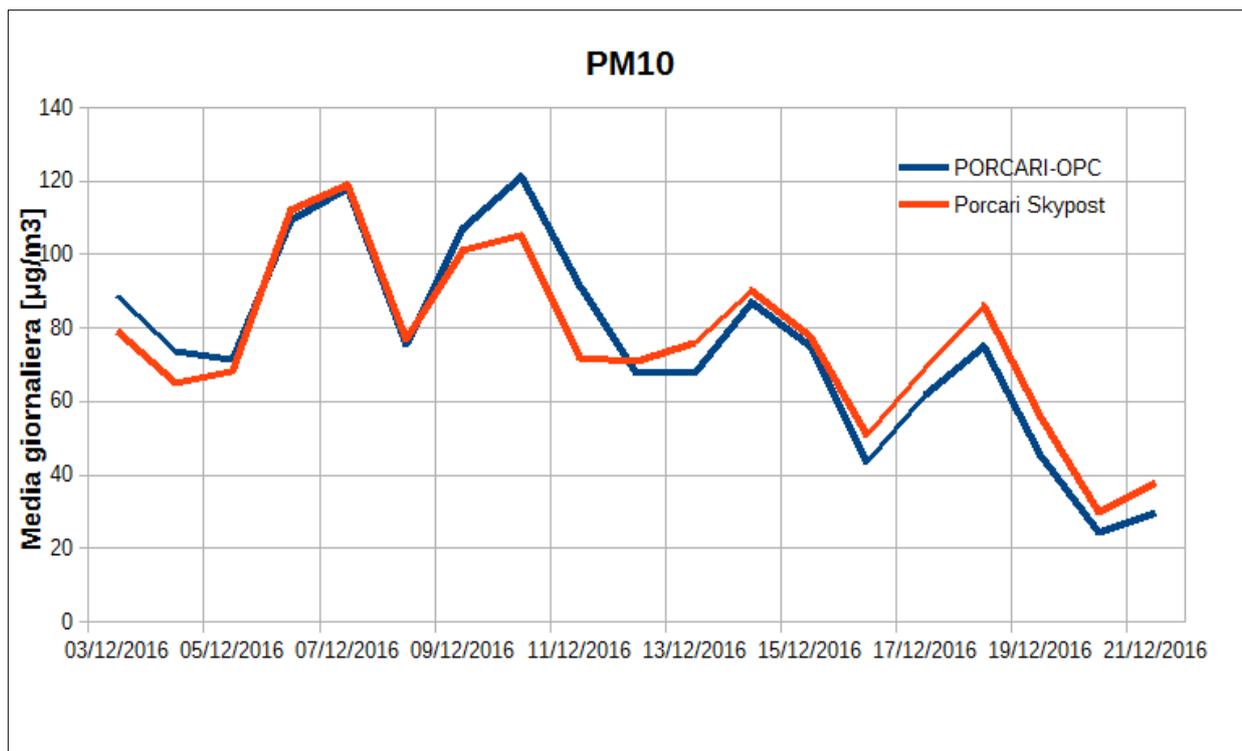


Grafico 2 – PM10 andamenti giornalieri rilevati a Porcari 30 dicembre-12 gennaio

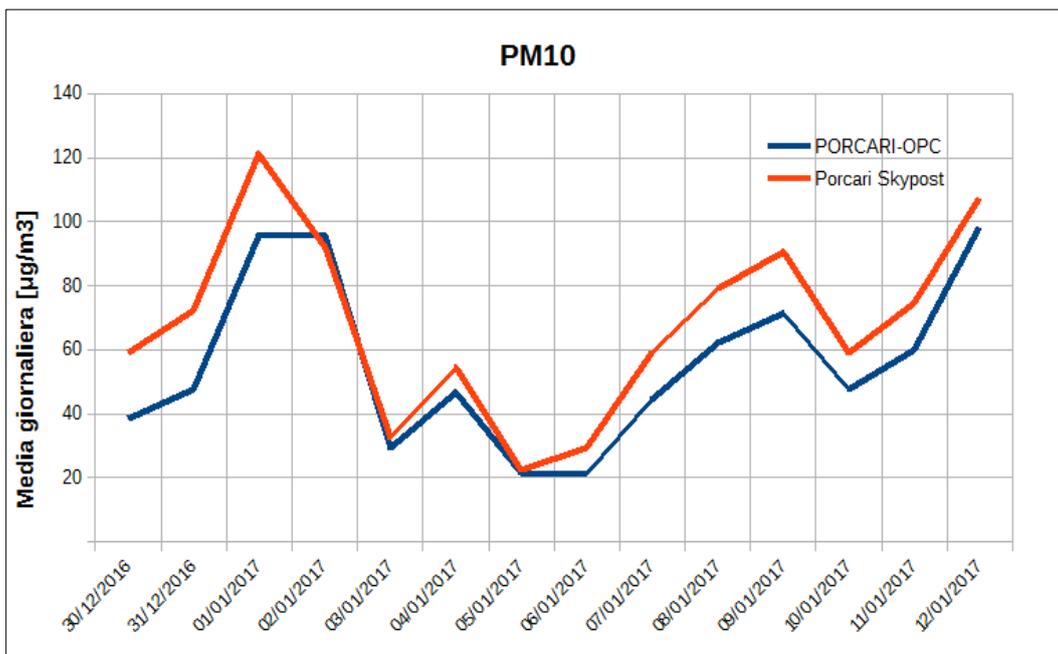
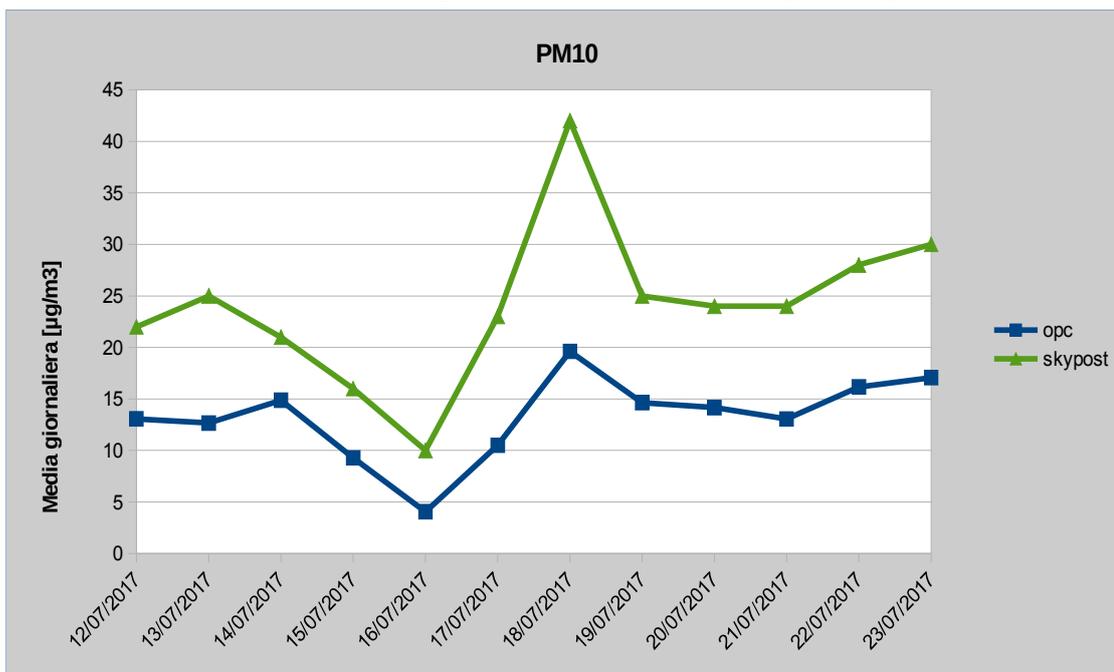
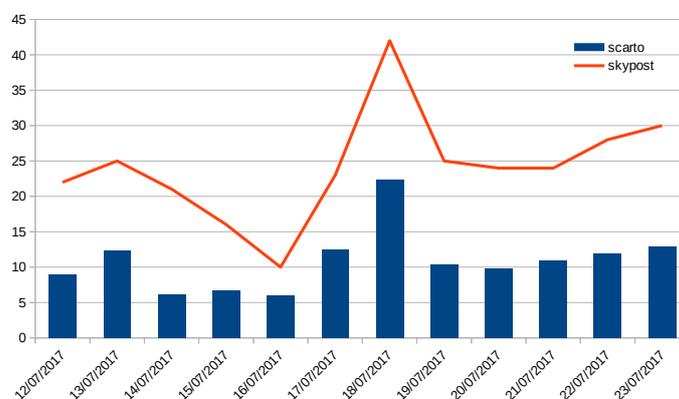


Grafico 3 – PM10 andamenti giornalieri rilevati a Porcari 12 luglio-23 luglio



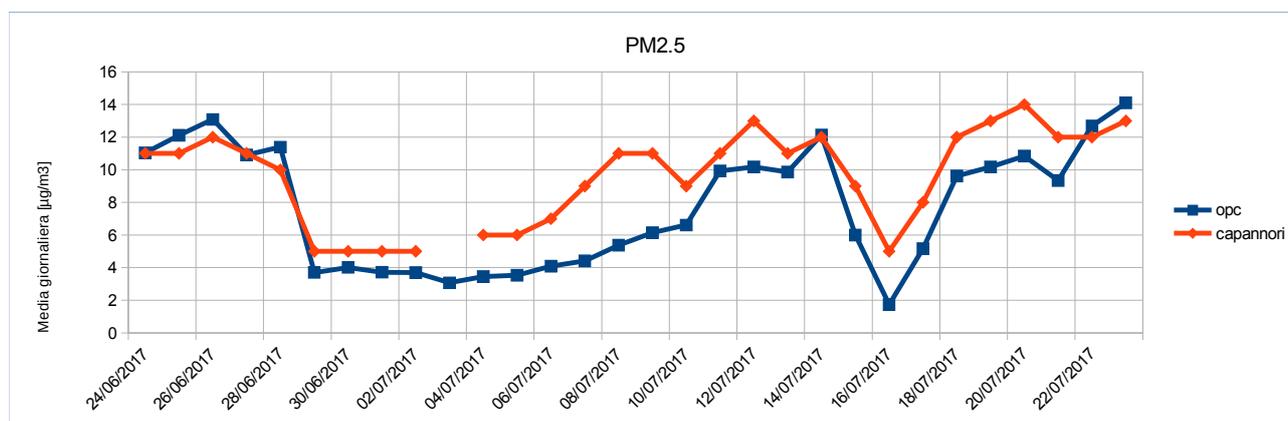
Come è possibile desumere in maniera qualitativa dai grafici degli andamenti, il contatore ottico, oltre a fornire la misura del numero delle particelle a diversa granulometria, fornisce per quanto riguarda l'inverno anche una risposta molto buona, almeno in termini indicativi, sulle concentrazioni medie giornaliere di PM10. Altrettanto chiaramente risulta evidente per il periodo

estivo una sottostima abbastanza significativa da parte dell'OPC rispetto ai risultati ottenuti con il metodo ufficiale gravimetrico. Per quanto riguarda l'andamento si riscontra una buona concordanza tra le due curve con scostamenti contenuti tra i 5 e i 13  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  in termini assoluti, con l'eccezione del 18/07 quando il campionamento con metodo ufficiale ha registrato una media giornaliera di 42  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  contro i 20  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  misurati dall'OPC.



Lo scostamento medio percentuale rispetto al dato del metodo ufficiale risulta del 45% anche se a questo proposito occorre sottolineare che le concentrazioni medie giornaliere relative al periodo sono molto basse.

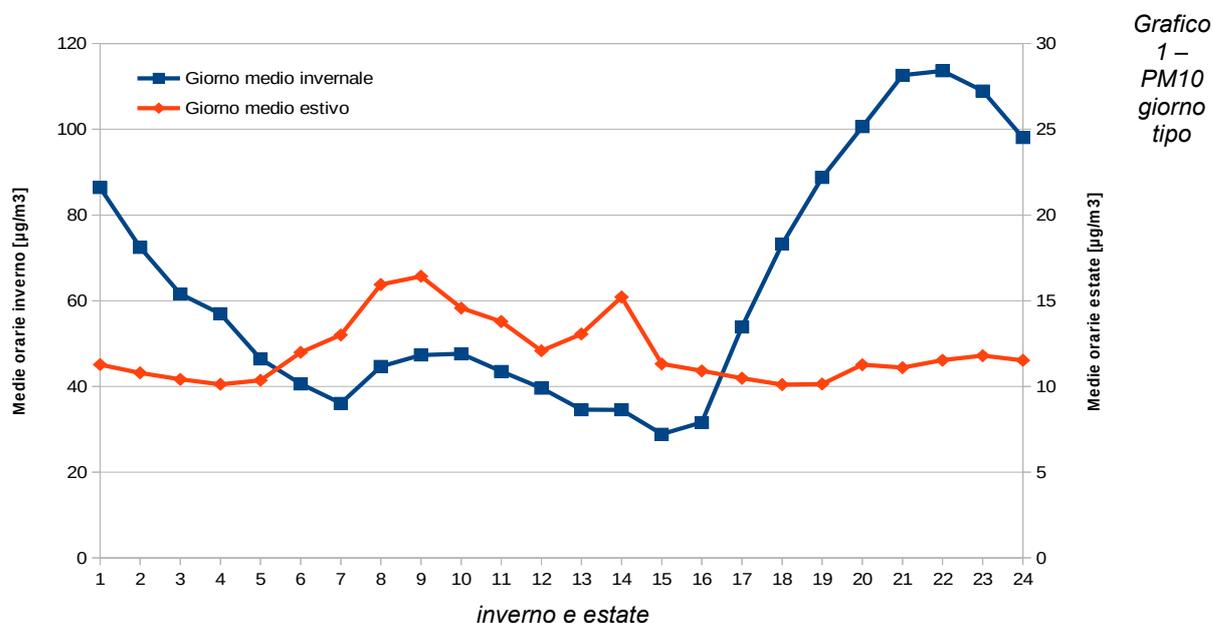
Questo tipo di prestazione del contatore ottico, ovvero fornire stime della massa migliori in inverno che in estate, è stato riscontrato anche in campagne effettuate presso altri siti ed è sostanzialmente riconducibile, come più evidente nel seguito, ad una minore percentuale della frazione di PM<sub>2,5</sub> durante la stagione estiva. I contatori ottici sono infatti in generale più affidabili nella stima del PM<sub>2,5</sub> che nella stima del PM<sub>10</sub>. In questo caso non abbiamo un confronto con il PM<sub>2,5</sub> da metodo ufficiale, ma si può riscontrare una buona corrispondenza con l'andamento del PM<sub>2,5</sub> misurato nel sito di Capannori.



Lo scostamento medio tra la concentrazione della frazione granulometrica associata a 2,5  $\mu\text{m}$  dell'OPC e la concentrazione del PM<sub>2,5</sub> rilevato nella stazione di Capannori per l'intero periodo di misura dell'OPC (24/06-23/07) è inferiore in termini assoluti a 2  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Trattandosi di due diversi siti di misura la differenza osservata può essere attribuita ad un gradiente spaziale oltre che alla metodica utilizzata; ciò costituisce una conferma indiretta di quanto affermato ovvero che, almeno la stima delle frazioni più fini, fino al PM<sub>2,5</sub>, misurate con OPC può essere considerata attendibile, sempre a livello indicativo, anche in estate. Queste verifiche di congruenza tra dati derivanti dall'OPC espressi in concentrazione e dati di PM 2,5 e PM 10 ottenuti con metodi ufficiali di campionamento sono come premesso necessarie prima di utilizzare i dati dell'OPC per meglio indagare la natura del particolato. Nei paragrafi seguenti sono quindi analizzati andamenti temporali e contributo delle varie frazioni al PM e ripartizione nelle diverse classi dimensionali del numero di particelle conteggiate dallo strumento.

### 6.2 Analisi del PM su base oraria e contributo delle diverse frazioni

Di seguito è riportato, in grafico 1, l'andamento del giorno tipo o giorno medio calcolato per la campagna estiva e per quella invernale a partire dalle medie orarie di ciascun giorno di monitoraggio. Per il giorno medio invernale ciascun dato orario è calcolato come media di 49 giorni mentre per il giorno medio estivo i dati orari disponibili sono relativi a 30 giorni di campagna. Essendo le concentrazioni sostanzialmente diverse nelle due stagioni, le curve sono riportate con doppia scala per una migliore confrontabilità. Infatti nel giorno medio il minimo valore invernale (pari a 28  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) è poco meno del doppio del massimo valore orario estivo (16  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Oltre alla differenza tra i livelli, è subito evidente dal grafico 1 anche un diverso sviluppo giornaliero delle concentrazioni.



Nonostante la definizione delle classi di Pasquill sia un sistema datato e indicativo, la descrizione pur approssimativa, in quanto basata su un semplice algoritmo dei dati meteorologici, della stabilità dell'atmosfera e della sua variazione nelle ore del giorno fornisce una chiave interpretativa interessante per gli andamenti del PM.

Nel giorno tipo invernale si distingue chiaramente l'influenza di quanto discusso nella caratterizzazione meteorologica (par 5) riguardo alle condizioni di stabilità dell'atmosfera: le ore centrali del giorno, nonostante le attività antropiche, sono quelle con le concentrazioni medie orarie più basse mentre, a partire dalle 17.00 le concentrazioni crescono fino ad un massimo orario notturno. È inoltre probabile che l'incremento delle concentrazioni a partire dalle ore 17.00 cada in concomitanza di un innalzamento delle emissioni dovuto all'incremento dell'attività antropica (accensione dei riscaldamenti domestici, incremento del traffico veicolare...). Il fenomeno di accumulo notturno non si verifica nel giorno tipo estivo in cui si distinguono invece in maniera più pronunciata i picchi di concentrazione diurni dovuti alle attività antropiche. Le concentrazioni più basse in estate trovano interpretazione nella maggiore dinamicità dell'atmosfera tipica della stagione estiva che specialmente nelle ore di massimo irraggiamento favorisce la dispersione degli inquinanti.

Calcolando il giorno tipo anche per PM<sub>2,5</sub> e PM<sub>1</sub> si ricostruisce l'andamento medio del PM<sub>10</sub> nelle sue componenti principali per l'inverno (grafico 2) e per l'estate (grafico 3).

Grafico 2 – PM<sub>10</sub> e sue frazioni (PM<sub>2,5</sub> e PM<sub>1</sub>) in inverno – giorno tipo

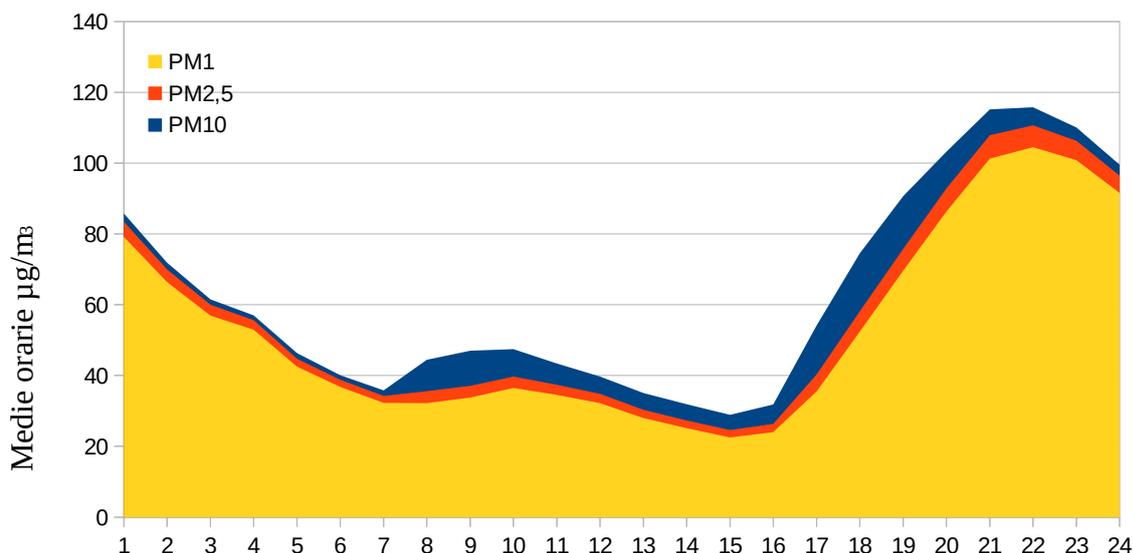
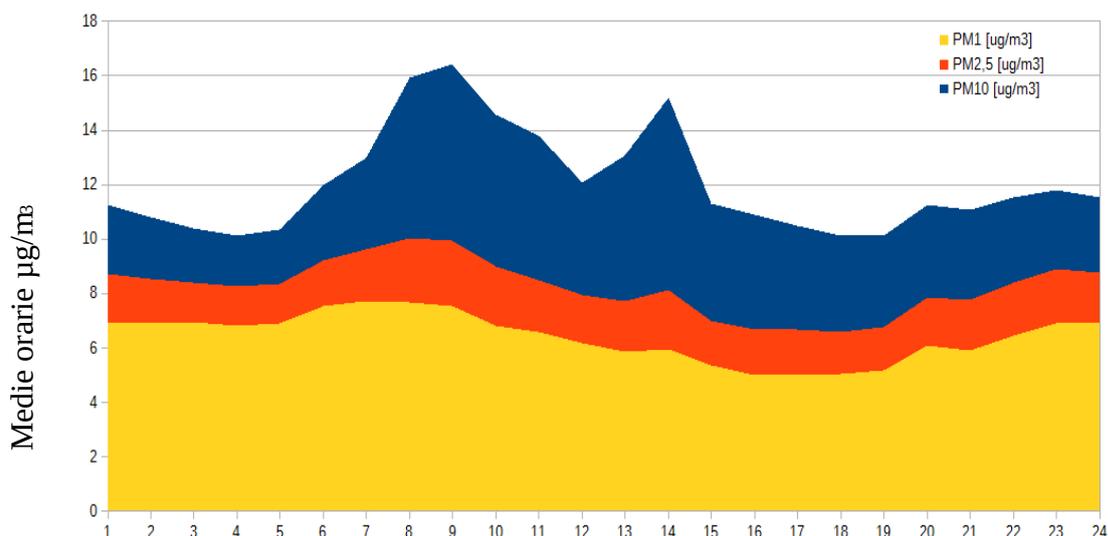


Grafico 3 – PM10 e sue frazioni (PM2,5 e PM1) in estate – giorno tipo



Anche rispetto alla composizione, il particolato nel giorno tipo ha un profilo diverso in inverno ed in estate. Entrambe le stagioni mostrano la netta prevalenza delle frazioni più fini rispetto a quelle più grossolane, che risulta però molto più accentuata in inverno rispetto all'estate. Nel giorno tipo d'estate il valore minimo del rapporto percentuale tra PM2,5 e PM10 è 53% e il valore massimo è 82% mentre per l'inverno il valore del rapporto percentuale PM2,5/PM10 va da 75% a 98% (grafici 4 e 5). Sia in estate che in inverno il maggior contributo delle particelle più grossolane si verifica negli orari diurni relativi al maggiore contributo antropico diretto ed in entrambe le stagioni la percentuale PM1/PM2,5 segue un andamento proporzionale al rapporto tra PM2,5 e PM10.

Grafico 4– Rapporti % tra PM10 e sue frazioni (PM2,5 e PM1) in inverno

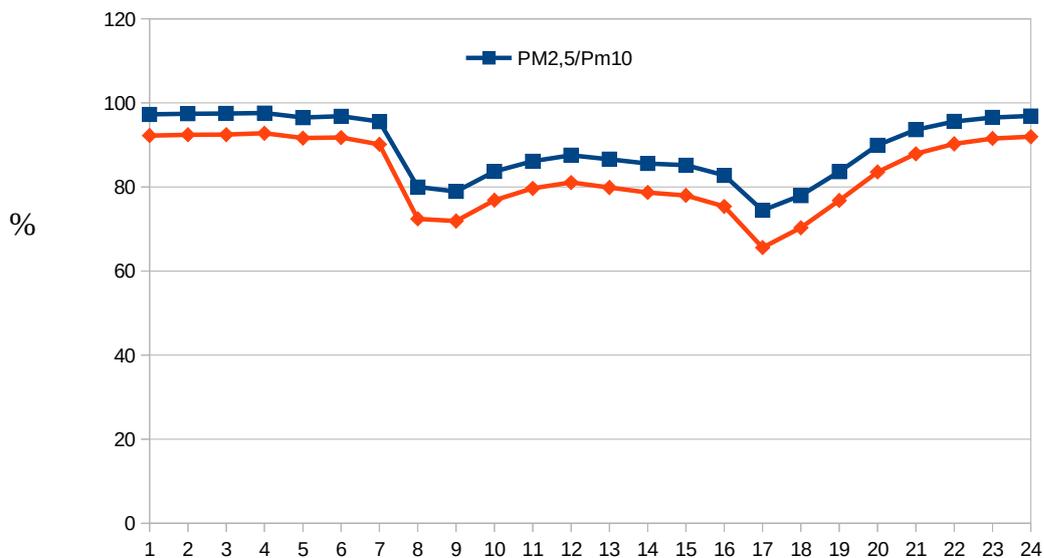
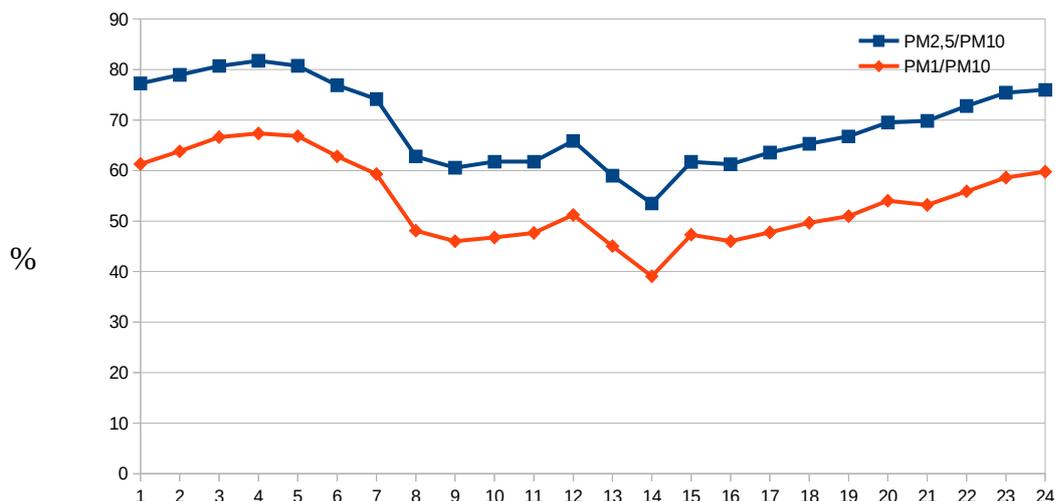


Grafico 5– Rapporti % tra PM10 e sue frazioni (PM2,5 e PM1) in inverno



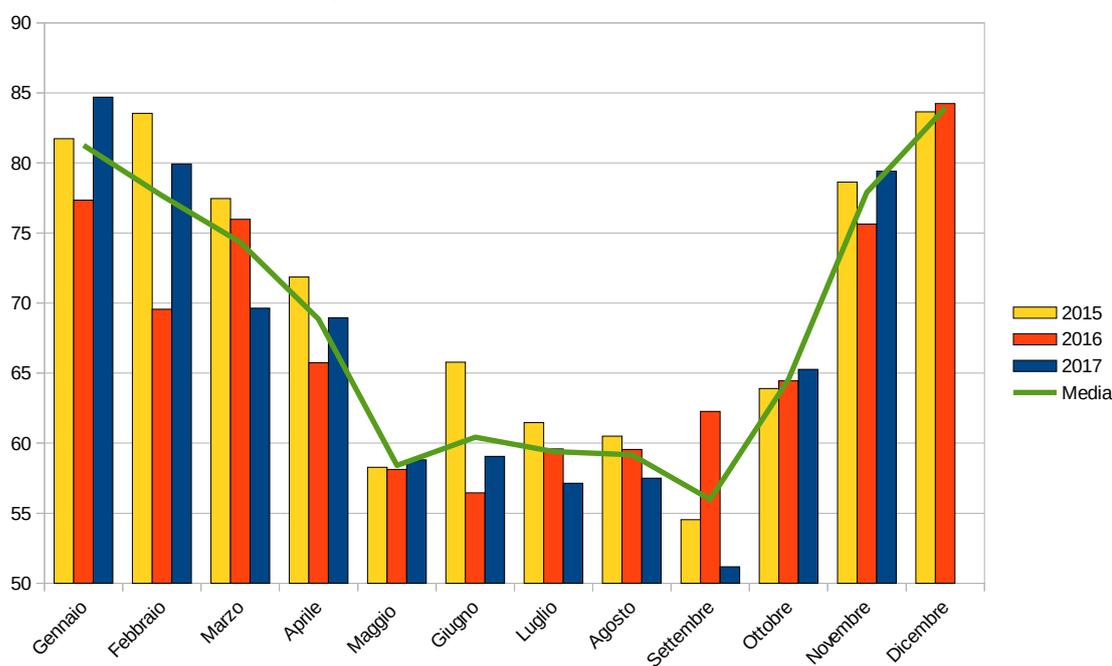
Durante i giorni di campagna è stato calcolato il rapporto medio tra PM2,5 e PM10 nel sito di Porcari (OPC) e nel sito di Capannori (stazione di rete regionale), con il seguente risultato:

Campagna estiva: Porcari 64% Capannori 58%

Campagna invernale: Porcari 91% Capannori 85%

Utilizzando i dati di Capannori su un triennio (grafico 6) si dà inoltre evidenza del comportamento stagionale della composizione del particolato che, pur su anni meteorologici differenti, mantiene la sua caratteristica generale di avere una frazione fine più importante nella stagione invernale.

Grafico 6– Capannori andamento mensile delle frazioni del PM10



## 7. Considerazioni sul numero di particelle

La misura diretta dell'OPC è il conteggio del numero delle particelle per ciascuna frazione granulometrica che successivamente viene trasformato in concentrazione mediante un apposito algoritmo.

Le frazioni granulometriche in cui è suddiviso il conteggio nell'OPC sono riportate in tabella 1. Per ogni classe il diametro ottico riportato è quello inferiore. In tutto il documento le classi sono citate prendendo l'estremo inferiore dell'intervallo per cui, ad esempio, quando si fa riferimento alla classe 0,3  $\mu\text{m}$  si intendono le particelle con diametro ottico nell'intervallo tra 0,3 e 0,4  $\mu\text{m}$ .

In questo e nei seguenti paragrafi viene effettuata una analisi del numero di particelle; nella conversione da numero di particelle a concentrazione in  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , oltre al numero incidono volume e densità delle particelle in una determinata classe. Perciò occorre tener presente che le particelle piccole, che tendenzialmente sono in numero maggiore, pesano meno. Un altro aspetto della trasformazione da numero a peso che va tenuto in considerazione sono le particelle al di sotto degli 0,3  $\mu\text{m}$ . Queste particelle non sono conteggiate dal nostro strumento, ma il loro contributo viene stimato nell'algoritmo di conversione a  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  per migliorare le stime di PM. Poiché in questa sezione si analizza il numero di particelle è necessario premettere che la somma di tutte le classi analizzate non è esaustiva della composizione reale dell'aerosol.

I dati presi in considerazione per l'analisi dei conteggi sono quelli delle campagne dal 22/12/2016 al 20/01/2017 per l'inverno e dal 24/06/2017 al 23/07/2017 per l'estate.

In tabella 1 è riportato, per ciascuna delle campagne, il numero di dati minuto raccolti che sia per la campagna estiva che per quella invernale supera i 40.000 (circa 30giorni x 24ore x 60minuti).

Per ciascuna frazione granulometrica sono riportati i conteggi medi minimi e massimi. È subito evidente che il contributo delle diverse frazioni va a decrescere dalle frazioni più fini e più numerose a quelle più grossolane che sono mediamente assenti. Un altro dato significativo e subito evidente riguarda la variabilità molto ampia dei valori di conteggio associata a ciascuna classe granulometrica.

Tabella 1 - conteggi del numero di particelle per frazione granulometrica

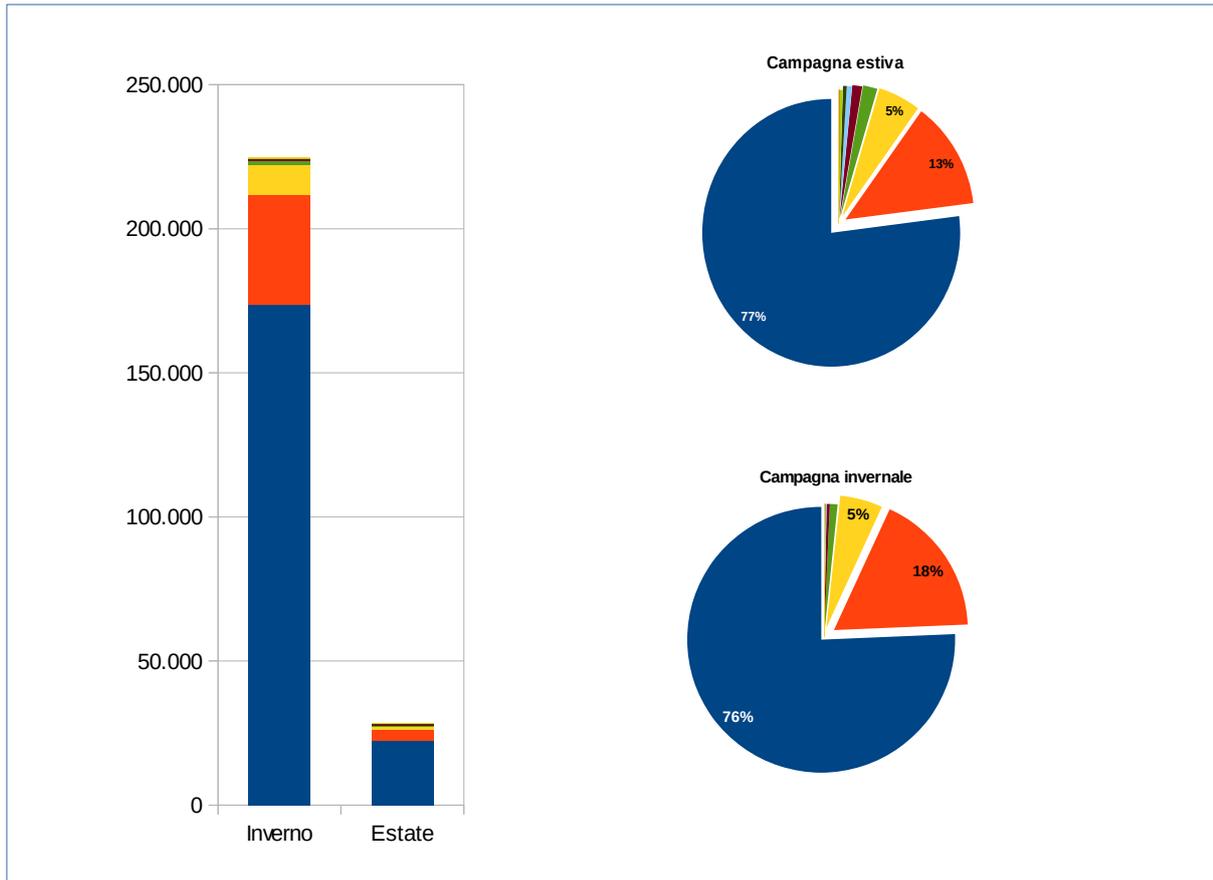
Frazione	Estate # particelle				Inverno # particelle			
	media	minimo	massimo	totale dati	media	minimo	massimo	totale dati
0,3 µm	22.499	1.206	219.089	44.484	173.691	2.687	1.318.472	41.810
0,4 µm	3.568	325	53.770		38.179	685	389.115	
0,5 µm	1.225	140	38.998		10.143	240	160.142	
0,65 µm	367	25	21.084		1.595	45	25.235	
0,8 µm	238	5	22.814		549	5	9.051	
1 µm	126	0	14.260		192	0	6.370	
1,6 µm	86	2	21.363		84	0	6.969	
2 µm	71	0	19.560		53	0	4.122	
3 µm	12	0	4.587		11	0	1.348	
4 µm	5	0	2.727		4	0	570	
5 µm	3	0	1.852		2	0	342	
7,5 µm	1	0	563		1	0	212	
10 µm	1	0	335		0	0	727	
15 µm	0	0	87		0	0	341	
20 µm	0	0	61		0	0	169	

## 7.1 Numero di particelle

In prima approssimazione, osservando i grafici di figura 1 si deduce che la differenza sostanziale tra la campagna estiva e quella invernale risiede nel numero totale di particelle, mentre non si osservano differenze rilevanti nelle distribuzioni percentuali medie tra le varie classi granulometriche. Questo avviene perché il numero delle particelle nella classe 0,3 µm è comunque prevalente e, in entrambe le stagioni, rappresenta più del 75% del totale.

Tuttavia già dai grafici di fig. 1 si può notare una differenza interessante nella seconda classe granulometrica (0,4µm) che passa da un contributo percentuale in numero pari a 18% per l'inverno ad una percentuale del 13% l'estate. La "quota mancante" in estate si ripartisce nelle classi granulometriche più grossolane (da 1,6 µm a 20 µm), infatti per la classe 0,5 µm si riscontra di nuovo lo stesso peso in inverno e in estate (5%).

Figura 1 e 2 - Conteggi: confronto tra campagna estiva e campagna invernale- valori assoluti (numero di particelle e % (blu- 0,3µm, arancio – 0,4µm, giallo – 0,5µm, altri colori classi da – 0,65 a 20 µm)

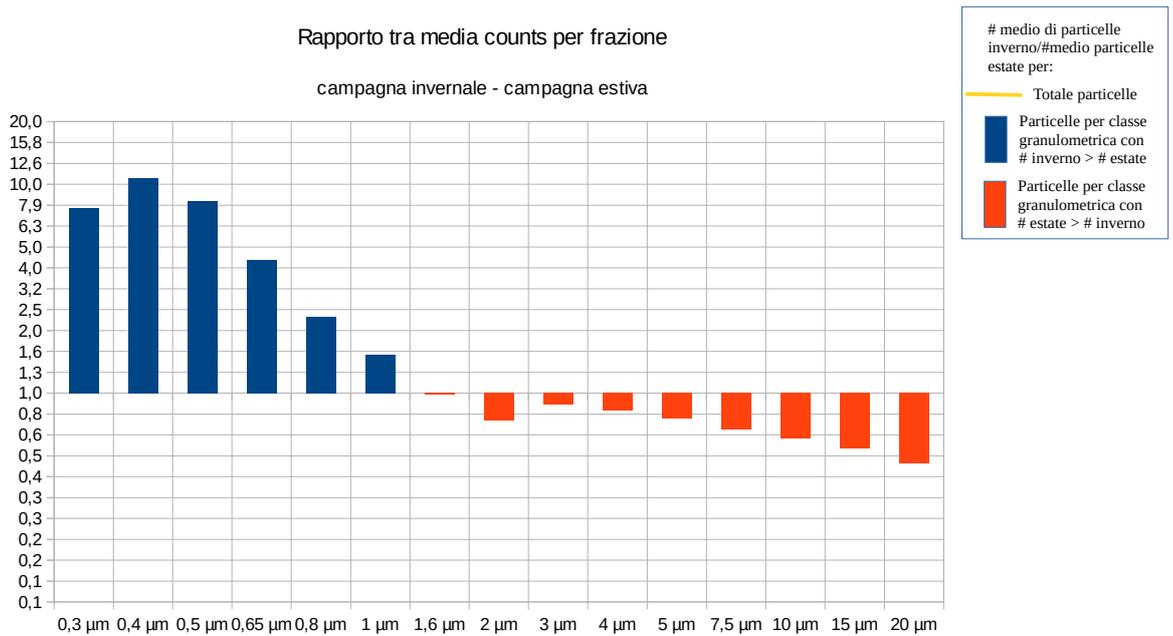


Per un'analisi di maggior dettaglio, in figura 3 sono riportati i rapporti tra n. di particelle medi in ciascuna classe granulometrica nelle 2 campagne, estiva ed invernale. Per la classe più fine (0,3 µm) , ed anche per il totale delle particelle, il numero medio di particelle rilevato in inverno è quasi 8 volte quello rilevato in estate. Nel grafico di Fig 3 sono riportati i rapporti tra medie dei conteggi in inverno e in estate per tutte le classi granulometriche. L'origine dell'asse è sul valore 1 che corrisponde ad un uguale numero medio di particelle nelle due campagne. Le classi granulometriche con valori maggiori di 1 (istogramma blu) sono quelle per cui il numero di particelle in inverno è superiore a quello in estate. Le classi con valori inferiori a 1 (istogramma rosso) hanno presentato, al contrario, maggiori conteggi in estate che in inverno. Poiché la scala è logaritmica ( $1/10 \equiv 10$ ) istogramma blu e rosso sono confrontabili.

La linea gialla rappresenta il rapporto tra il numero di particelle totali in inverno e in estate che essendo maggiormente influenzato dalla classe 0,3 µm è pari a 8.

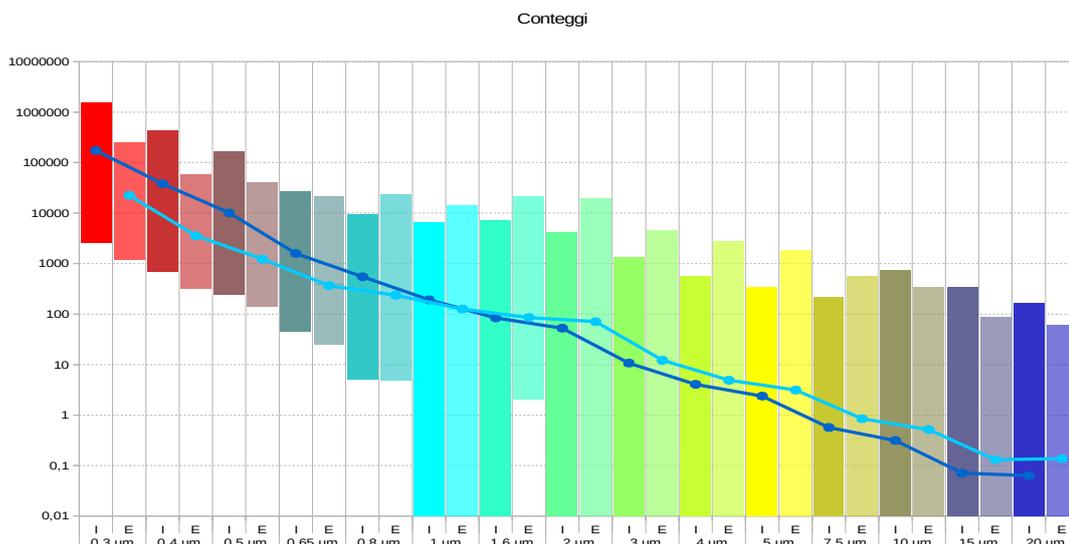
Risulta interessante notare in figura 3 che a partire dalla classe 1,6 µm, ed in maniera più accentuata andando verso le frazioni più grossolane, il numero medio di particelle è più alto in estate che in inverno.

Figura 3. Conteggi: confronto tra campagna estiva e campagna invernale – rapporti tra n. particelle



Fino a questo momento le valutazioni hanno riguardato il numero medio di particelle anche se, come visto già dai dati riportati in tabella 1, le escursioni tra minimo e massimo conteggio sono per tutte le classi molto elevate. A questo proposito, di nuovo con lo scopo di mettere in evidenza le differenze tra il comportamento estivo ed invernale del PM nel sito, di seguito sono prese in esame le distribuzioni dei valori medi, massimi e minimi dei conteggi per le varie classi granulometriche nelle due campagne stagionali.

Fig. 4 - Conteggi massimi minimi e medi per le varie classi granulometriche in inverno e in estate



Il grafico in figura 4, in scala logaritmica, consente di confrontare simultaneamente tutte le classi granulometriche in esame che hanno conteggi che differiscono per ordini di grandezza.

Le due curve blu e azzurra tracciano le medie dei conteggi rispettivamente in inverno ed in estate, al variare della classe granulometrica. Per ciascuna classe granulometrica l'escursione tra valore minimo e valore massimo è rappresentata dalla barra di un istogramma. Si può osservare quanto già messo in evidenza per i valori medi, ovvero che a partire dalla classe granulometrica 1,6 µm il numero di conteggi è maggiore in estate che in inverno (intersezione tra la curva blu e quella azzurra), ma già a partire dalla classe granulometrica 0,8 µm il valore massimo dei conteggi viene registrato in estate. Per le classi da 10 a 20 µm il conteggio massimo torna ad essere quello invernale, anche se in media restano superiori i conteggi della campagna estiva.

**Sintesi su Numero di particelle** : se si analizzano i dati riportati in tabella 1 relativi ai conteggi minimi, massimi e medi di ciascuna classe granulometrica si possono evidenziare differenze tra la composizione dell'aerosol invernale ed estivo. Nell'aerosol invernale c'è, come del resto risulta evidente dalle concentrazioni di PM, un numero complessivamente molto maggiore di particelle a cui contribuiscono soprattutto le prime 4 classi dimensionali (particelle fino alla classe 0,65 µm). In estate il numero di particelle in queste 4 classi diminuisce drasticamente fino ad 1/10 rispetto a quelle invernali. Le particelle di diametro compreso tra 1,6 e 10 µm sono invece in numero mediamente più alto in estate che in inverno.



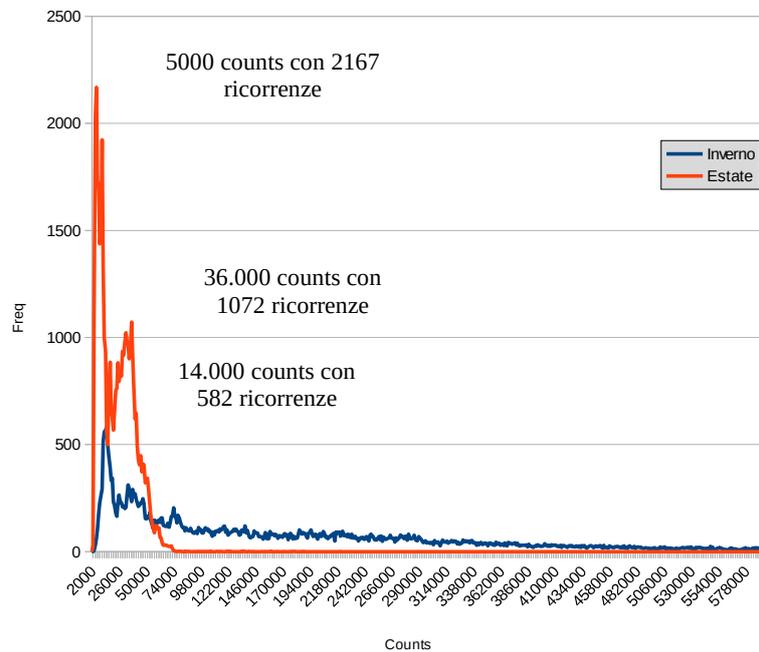


## 7.2 Distribuzione di frequenza del numero di particelle

L'informazione acquisita sul numero di particelle e la ripartizione stagionale risulta interessante e per approfondirne motivazioni e conseguenze, oltre a prendere in esame i dati medi minimi e massimi dei conteggi registrati, è stata valutata la distribuzione di frequenza del numero di particelle per ciascuna classe considerata nei 2 periodi.

In fig. 5 sono riportate le curve di distribuzione relative alla campagna estiva e a quella invernale della classe granulometrica più rilevante in termini numerici, quella inferiore a  $0,3 \mu\text{m}$ .

Fig.5 – Distribuzioni di frequenza dei conteggi della classe  $<0,3 \mu\text{m}$



La differenza più evidente che si riscontra esaminando il grafico di Fig.5 è che la distribuzione estiva è molto meno dispersa rispetto a quella invernale. In estate il conteggio più frequente per le particelle più fini ( $0,3 \mu\text{m}$ ) è tra 4000 e 5000 counts; la distribuzione ha una forma bimodale che mostra un altro massimo tra 35.000 e 36.000 counts.

Conteggi superiori a 75.000 in estate si sono verificati appena in 52 casi su 44.484 dati totali.

La distribuzione invernale ha invece la sua massima frequenza nella classe di conteggi tra 13.000 e 14.000 particelle, con una frequenza pari a 582 ricorrenze che sono circa  $\frac{1}{4}$  di quelle del massimo estivo. Da questo valore massimo la distribuzione degrada molto lentamente tant'è che, in inverno, i conteggi superiori a 75.000 sono ben 25.934 ovvero il 62% dei dati totali e la media stessa dei conteggi nel periodo invernale è pari a 173.691 (vedi tab.1).

Esaminando separatamente le distribuzioni invernale ed estiva in relazione all'andamento della frazione  $0,3 \mu\text{m}$  si possono ricavare alcuni dati interessanti.



Di seguito sono riportati gli andamenti della frazione 0,3  $\mu\text{m}$  durante tutto il periodo della campagna invernale.

Per comodità di analisi e visualizzazione i grafici sono suddivisi in 4 periodi:

22/12/2016 – 31/12/2016 (Fig 7)

01/01/2017 – 09/01/2017 (Fig 8)

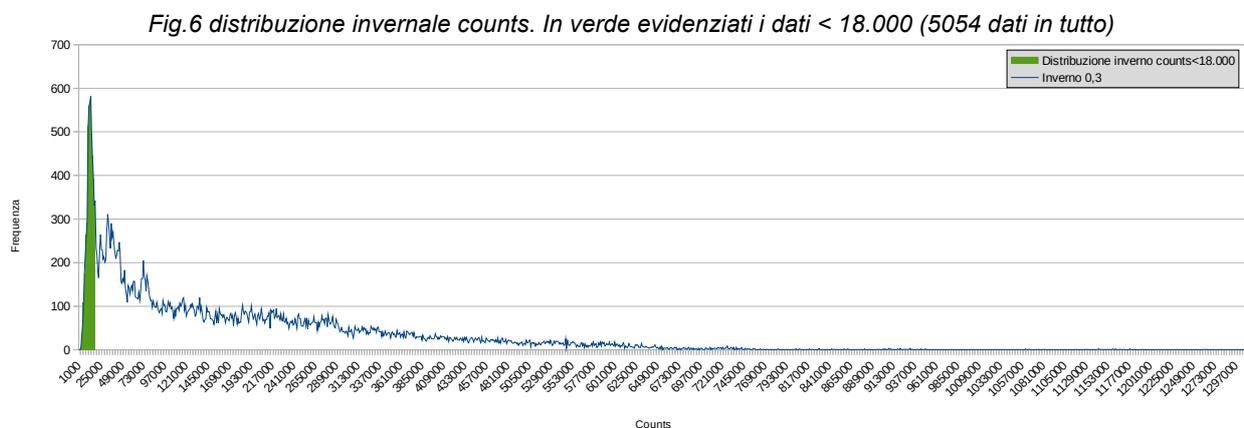
09/01/2017 – 18/01/2017 (Fig 9)

18/01/2017 – 20/01/2017 (Fig 10)

In ciascun grafico sono riportati :

- Andamento al minuto dei conteggi nella classe granulometrica 0,3  $\mu\text{m}$  (asse principale)
- Andamento orario della velocità del vento (in m/s) su scala inversa (asse secondario)
- Quantitativo orario di pioggia (in mm) su scala inversa (asse secondario)

Sono evidenziati con sfondo verde i dati al minuto in cui il conteggio è stato inferiore a 18.000 particelle, ovvero tutti quei dati compresi nel picco iniziale della distribuzione invernale (vedi Fig 5 e - più in dettaglio - Fig. 6).



Come risulta evidente dai grafici di fig 7-10, l'andamento del numero di particelle nella classe 0,3  $\mu\text{m}$  e soprattutto i valori più bassi dei conteggi registrati durante la campagna invernale, sono strettamente correlati agli eventi meteorologici con capacità dilavante dell'atmosfera ovvero il vento e la pioggia al di sopra di una certa intensità.

Prendendo in esame il periodo dal 22/12 al 31/12 2016 (Fig 7) si osserva come i conteggi < 18.000 siano concentrati esclusivamente nei giorni del 29 e 30 dicembre. Questi giorni sono caratterizzati da una linea di base molto bassa e, a livello meteorologico, presentano diverse ore con intensità media oraria del vento superiore ad 1 m/s. In particolare il giorno 29 dicembre risulta chiaramente visibile l'effetto di rimescolamento che si instaura all'insorgere di venti intorno ai 3 m/s (come media oraria) e che provoca una drastica diminuzione delle particelle di diametro 0,3 nell'atmosfera. L'effetto di questo rimescolamento influenza probabilmente anche i valori del giorno successivo che, come detto, presenta anch'esso conteggi inferiori a 18.000 particelle sia perché permangono venti di una certa intensità sia perché la tendenza all'accumulo dei giorni

precedenti è stata interrotta dall'evento meteorologico del 29/12.

Lo stesso tipo di interpretazione si applica al periodo che va dal 01 al 09 gennaio 2017 (Fig.8) in cui gli effetti dispersivi del vento superiore a 1,5 m/s (come media oraria) sono evidenti.

In questo periodo è presente anche un episodio di pioggia di cui è interessante notare gli effetti. L'evento di precipitazione è stato in tutto di 8 mm tra il pomeriggio del 2 e le prime ore del 3 gennaio; gli effetti "dilavanti" della pioggia sul conteggio delle particelle con diametro 0,3  $\mu\text{m}$  sono evidenti già dalle ore serali del 2/01. Il massimo effetto di rimozione si ha la mattina del 3/01 quando la pioggia ha il suo massimo orario (2,4 mm alle ore 5) e si accoppia ad un vento superiore a 1,5 m/s.

Per il periodo dal 10 al 20 gennaio (Fig.9 e Fig.10) si riscontra un altro episodio, il 13 di gennaio, in cui gli effetti del vento e della pioggia sono combinati e sono chiaramente in relazione con il netto abbassamento del numero di particelle. È inoltre presente un periodo di venti mediamente più intensi che mantengono basso il numero di particelle dal 15 al 17 gennaio in tutte le ore del giorno. È interessante notare come nei giorni 18 e 19 pur rimanendo il vento mediamente teso e le concentrazioni basse per tutta l'intera giornata, la linea di base ricomincia a crescere ed i minimi valori giornalieri non scendono più al di sotto dei 18.000 conteggi.

Fig.7 Andamento in counts particelle 0,3  $\mu\text{m}$  in relazione a v media vento (m/s) e pioggia (mm) - dal 22/12 al 31/12 2016. I dati al minuto inferiori a 18.000 sono 408.

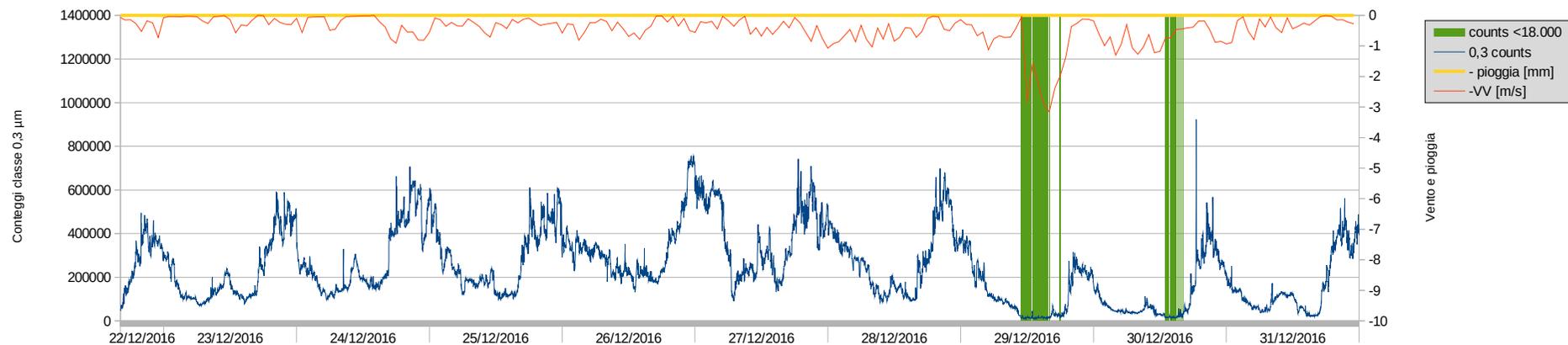


Fig.8 Andamento in counts particelle 0,3  $\mu\text{m}$  in relazione a v media vento (m/s) e pioggia (mm) - dal 1/1 al 9/1 2017. I dati al minuto inferiori a 18.000 sono 1732.

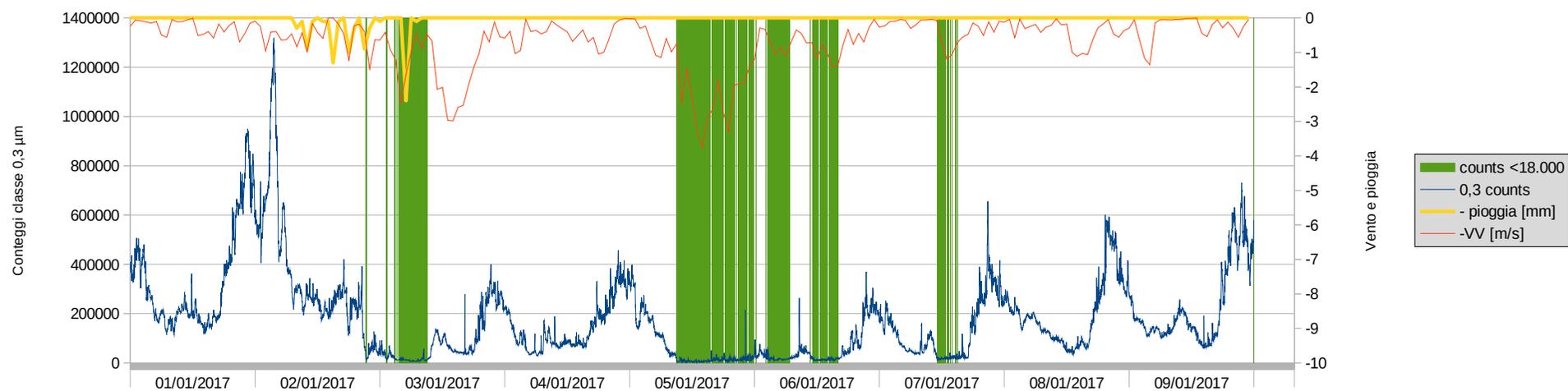


Fig.9 Andamento in counts particelle 0,3  $\mu\text{m}$  in relazione a v media vento (m/s) e pioggia (mm) – dal 10/1 al 18/1 2017. I dati al minuto inferiori a 18.000 sono 2910.

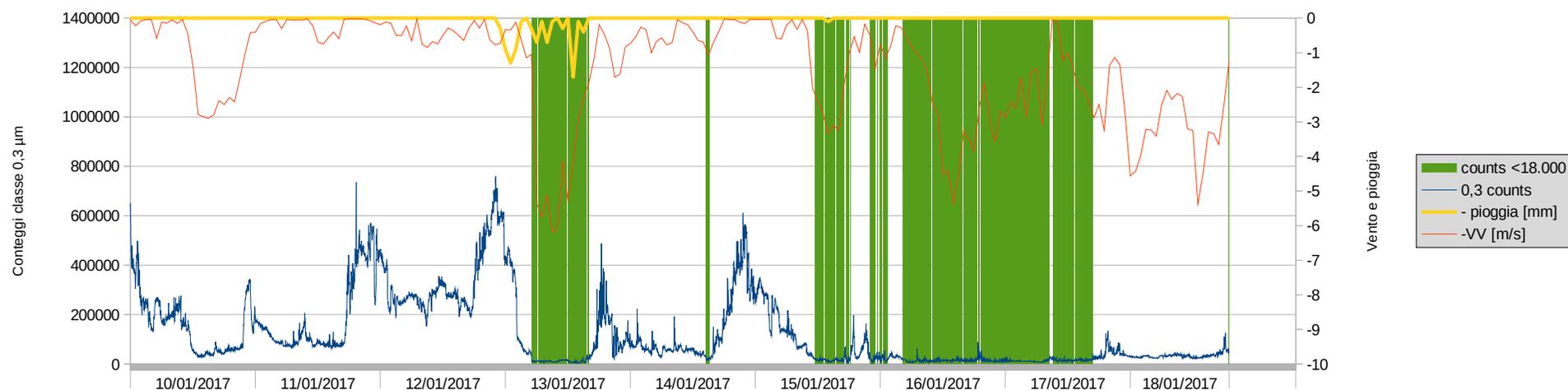


Fig.10 Andamento in counts particelle 0,3  $\mu\text{m}$  in relazione a v media vento (m/s) e pioggia (mm) – dal 18/1 al 21/1 2017. Dati al minuto inferiori a 18.000 sono 4.

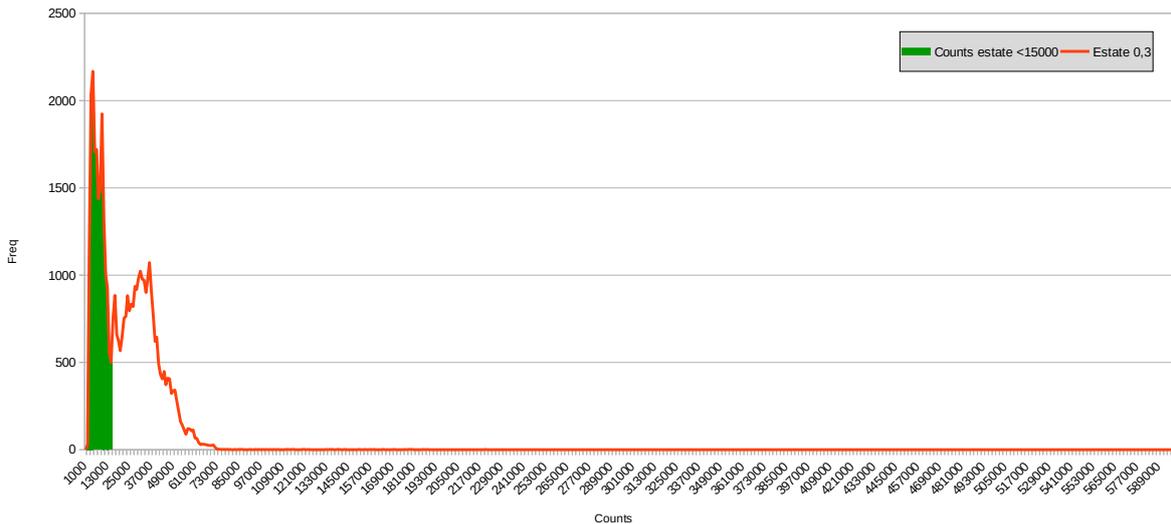


Per quanto riguarda l'estate si prendono in esame separatamente i periodi:

- 23-30 giugno (Fig.15)
- 1-8 luglio (Fig.16)
- 9-16 luglio (Fig.17)
- 17-23 luglio (Fig.18)

Vengono messi in evidenza ed in relazione con gli eventi meteo aventi effetto dispersivo tutti i dati che appartengono al primo picco della distribuzione, ovvero quelli con conteggi <15.000 particelle .

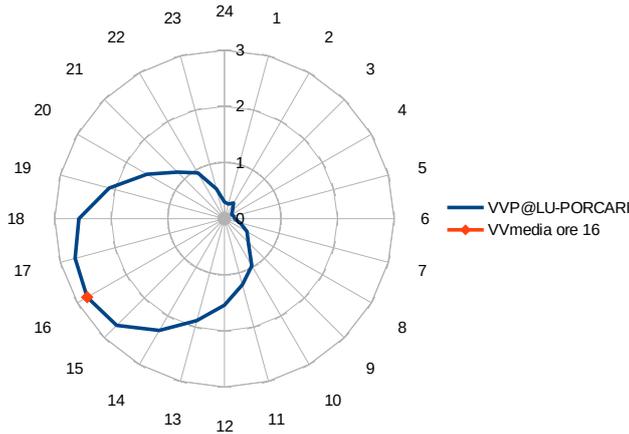
Fig.11 Distribuzione estiva in counts. In verde evidenziati i dati < a 15.000 (17.921 dati in tutto)



Come già sottolineato nel confrontare la distribuzione dei dati estiva e invernale, la distribuzione estiva ha un picco molto più marcato nei bassi valori di conteggio. I dati <15.000 counts sono in totale 17.921. Mentre nel periodo invernale risulta immediato individuare gli episodi che influiscono sul numero di particelle in atmosfera (i venti sono in generale deboli ed i periodi di vento a maggiore intensità sono chiaramente distinguibili), per meglio interpretare gli andamenti in estate è opportuno effettuare una preliminare disamina delle caratteristiche dei venti prevalenti e del loro andamento giornaliero. Questa premessa si rende necessaria perché, come vedremo, nonostante i valori dei conteggi per la classe 0,3  $\mu\text{m}$  siano in generale più bassi in estate, l'influenza delle variabili meteorologiche è apprezzabile anche durante questa stagione.

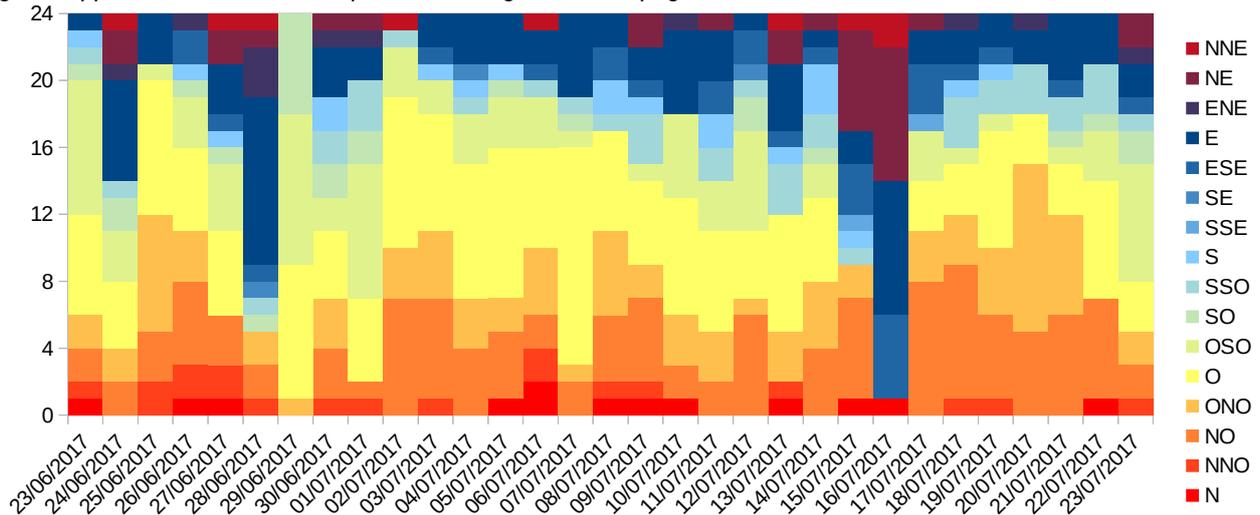
In Fig. 12 è rappresentato il giorno medio estivo della velocità del vento sulle 24 ore. Il vento comincia ad alzarsi nelle prime ore della mattina e già alle 10 supera 1 m/s. Raggiunge il suo massimo (intorno ai 3 m/s) a metà pomeriggio per poi calare sotto 1 m/s alle 22 circa. L'andamento della variabile vento in estate è significativamente diverso da quello invernale ed è molto riproducibile e simile al giorno medio per tutto il periodo osservato (vedi Fig. 13-16) .

Fig. 12 giorno medio e intensità del vento – periodo estivo



Il vento mostra una buona periodicità giornaliera anche per quanto riguarda le direzioni prevalenti, con poche eccezioni nel periodo. In Fig 13 è riportata la ricorrenza in termini orari delle direzioni del vento per ciascun giorno di campagna. In generale la direzione mediamente più presente è O con una rotazione che si divide tra OSO e ONO in proporzioni diverse a seconda dei giorni. Le eccezioni significative, in cui si hanno venti prevalenti dai settori EST si osservano nei giorni 24, 29 giugno, 15 luglio e, soprattutto, 16 luglio.

Fig. 13 rappresentazione dei venti prevalenti nei giorni di campagna



In Fig 14 è riportato il grafico orario dei venti relativo a tutto il periodo in cui sono apprezzabili anche le intensità. Anche in questo caso è possibile osservare chiaramente il giorno 16/07 in cui i venti prevalenti sono dal settore Est anche nelle ore di massima intensità.

Venendo agli andamenti dei conteggi, in Fig 15 è riportato il periodo che va dal 23 al 30 giugno 2017. In questo periodo si osserva un evento di pioggia il giorno 28, che abbassa le concentrazioni sotto i 15.000 counts. Anche il giorno successivo, grazie anche a venti di intensità superiore alla media, i conteggi rimangono livellati su una linea di base molto bassa. L'effetto si protrae fino al 30 e per tutta la settimana successiva (vedi Fig 16). La linea di base, pur avendo una leggera tendenza alla crescita, resta comunque a livelli contenuti, tali per cui i livelli permangono al di sotto dei 15.000 counts più o meno continuamente per tutta la giornata. Solo a partire dal 7 luglio, l'accumulo che si è creato nei giorni precedenti porta i livelli dei massimi giornalieri al di sopra dei 15.000 counts.

Tale rimane la tendenza nei giorni successivi (vedi Fig 17) fino a che il 14/7 si osserva un episodio di pioggia intensa, concentrato all'interno di un'ora. L'effetto sul numero di particelle in atmosfera è chiaramente osservabile (si ha un salto da circa 54.000 a 20.000 conteggi), ma essendo il fenomeno di breve durata, anche il suo effetto sembra produrre conseguenze solo nelle ore immediatamente successive. Si può quindi osservare come il potere dilavante della pioggia dipenda non solo dall'intensità della precipitazione ma anche dalla sua durata. Il giorno successivo 15/7 e in maniera ancora più netta il 16/7 si osserva invece nell'andamento del numero di particelle una netta diminuzione della linea di base. In questo caso il fenomeno non è riconducibile né alla pioggia né all'intensità del vento, ma come osservato nei grafici di Fig. 13 e Fig. 14 dalla direzione prevalente dei venti che in questi due giorni, diversamente dal resto del periodo, hanno spirato da E-NE. Questo abbassamento dei livelli si è protratto fino alla prima metà del giorno successivo (Fig 18), ovvero fino a che i venti non hanno cambiato settore; quindi i livelli sono risaliti molto velocemente. Nel successivo periodo, dal 17 al 23 luglio, non si sono verificati altri episodi meteorologici rilevanti.

**Sintesi su Distribuzione di frequenza del numero di particelle:** per alcune delle frazioni più fini, non sono stati mai osservati conteggi nulli. In altre parole nel periodo osservato si può dire che c'è sempre un quantitativo di particelle di queste classi granulometriche (0,3  $\mu\text{m}$ , 0,4  $\mu\text{m}$ , 0,5  $\mu\text{m}$  e 0,8  $\mu\text{m}$ ) che resta sospeso in atmosfera.

Analizzando i dati disponibili per la frazione 0,3  $\mu\text{m}$ , che risulta essere quella più abbondante sia in estate che in inverno, si possono osservare chiare correlazioni tra eventi meteo ed i valori minimi registrati. Eventi relativi a precipitazioni o vento di intensità superiore ad una certa soglia e anche ad una certa durata creano condizioni di dispersione e "abbattono" il numero di particelle in atmosfera. Anche in queste condizioni ottimali il numero di particelle nella classe 0,3 non è mai nullo ma esiste sempre una linea di base diversa da zero. Questa linea di base, in cui si collocano i minimi valori giornalieri, in assenza degli eventi meteorologici menzionati, aumenta nei giorni in ragione di un fenomeno di accumulo per cui, dopo il massimo notturno, i valori minimi risultano superiori rispetto al giorno precedente. La tendenza all'accumulo (quindi all'aumento della linea di

base) è superiore in inverno rispetto all'estate. I quantitativi di pioggia e di vento al di sopra dei quali si hanno effetti visibili di dilavamento sono ricavati dai grafici in maniera indicativa mentre per una definizione quantitativa occorrerebbero studi specifici.

Fig. 14 andamento orario dei venti nei giorni di campagna

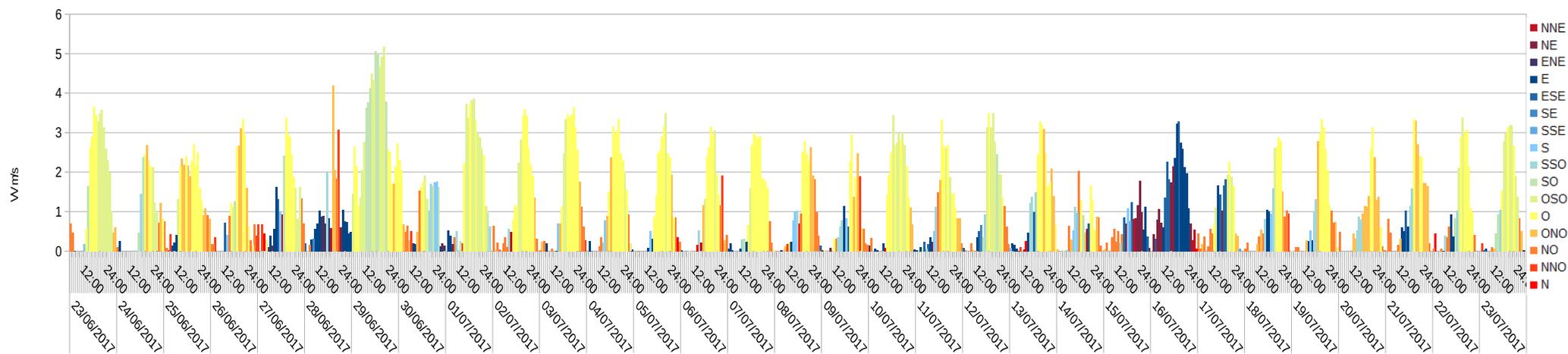


Fig. 15 andamento counts particelle 0,3  $\mu\text{m}$  in relazione a v media vento (m/s) e pioggia (mm) - dal 23/06 al 30/06 2017. I dati al minuto inferiori a 15.000 sono 3802.

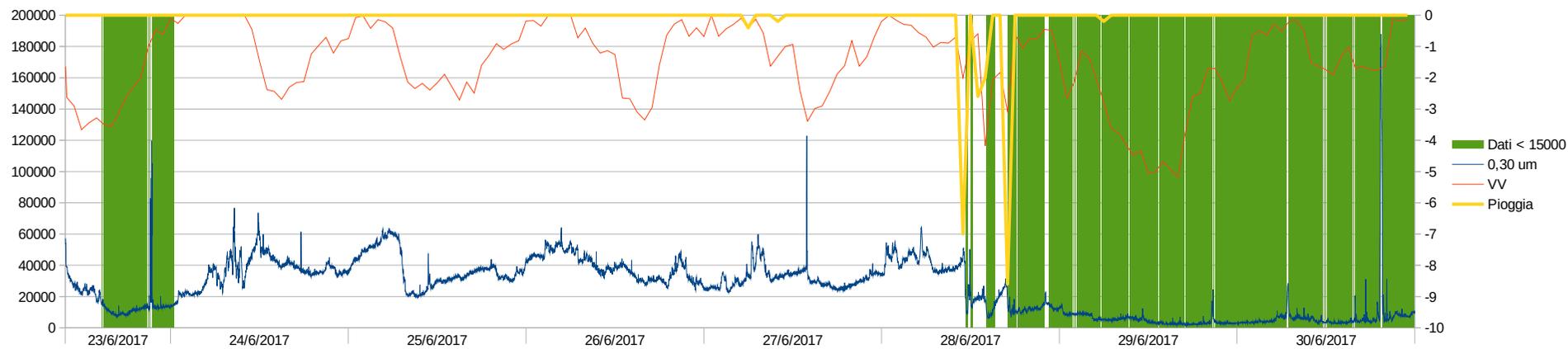


Fig.16 andamento counts particelle 0,3  $\mu\text{m}$  in relazione a v media vento (m/s) e pioggia (mm) - dal 01/07 al 08/07 2017. I dati al minuto inferiori a 15.000 sono 9879.

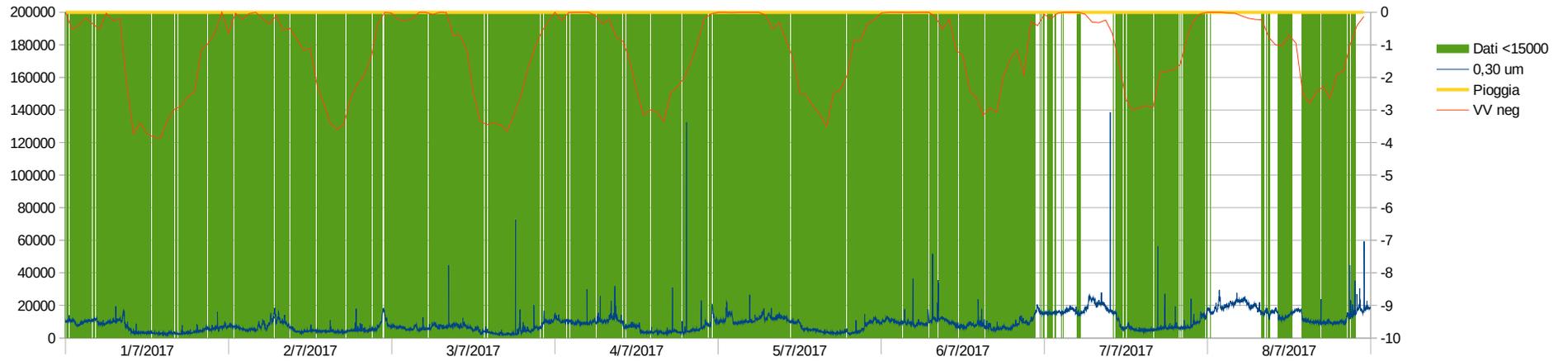


Fig.17 andamento counts particelle 0,3  $\mu\text{m}$  in relazione a v media vento (m/s) e pioggia (mm) - dal 9/07 al 16/06 2017. I dati al minuto inferiori a 15.000 sono 3082.

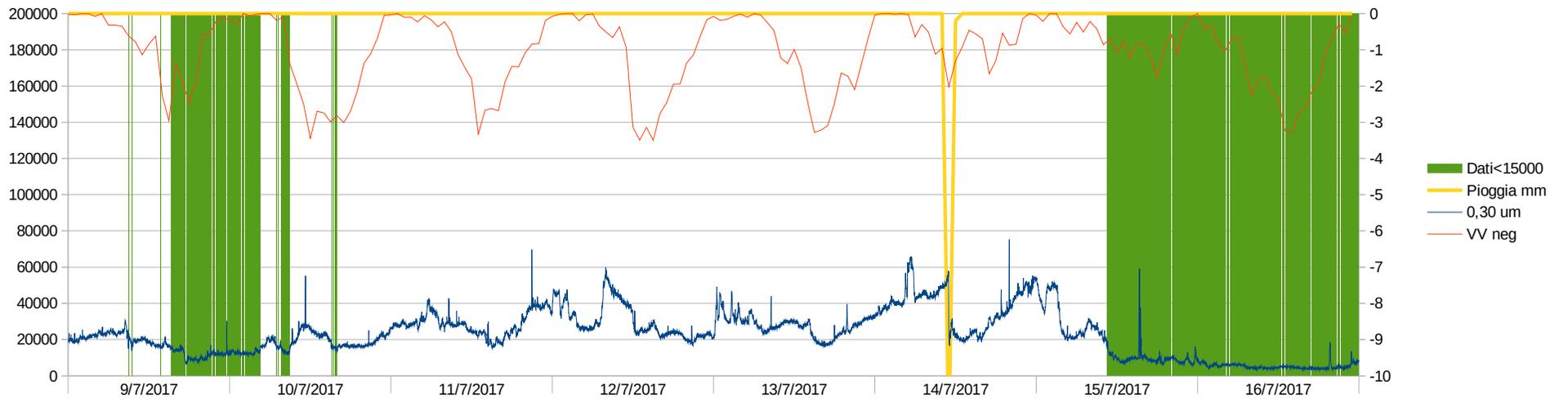
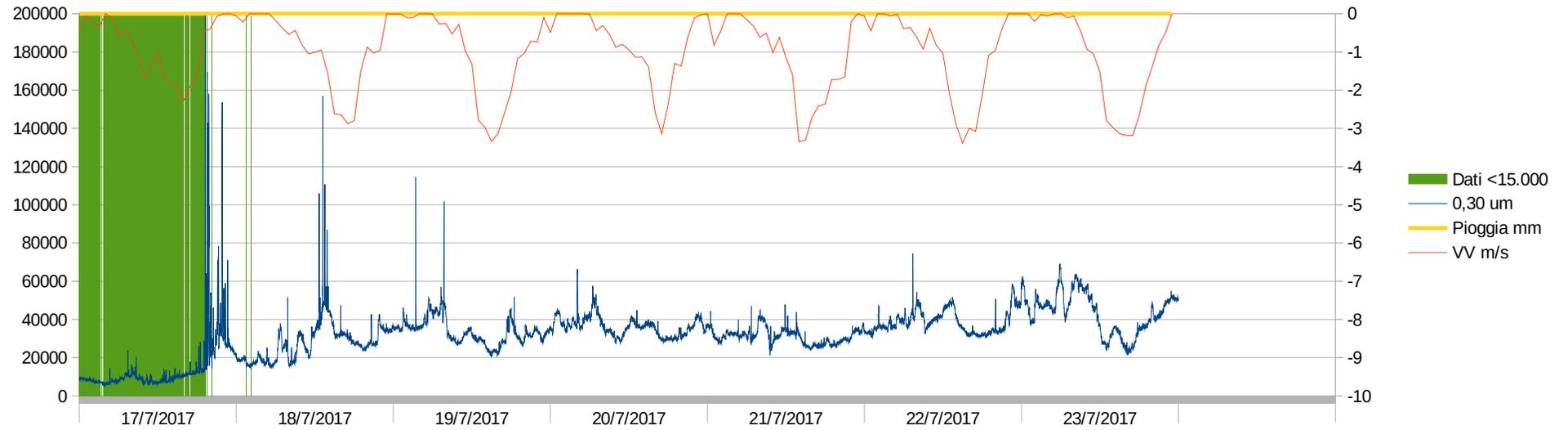


Fig.18 andamento counts particelle 0,3  $\mu\text{m}$  in relazione a v media vento (m/s) e pioggia (mm) - dal 17/06 al 23/07 2017. I dati al minuto inferiori a 15.000 sono 1132.



### 7.3 Distribuzioni per classe granulometrica

Sono riportati di seguito i grafici relativi alle distribuzioni di frequenza per tutte le altre classi granulometriche conteggiate dall'OPC (Fig. 19 , Fig 20 e Fig 21).

I cambiamenti nella forma delle distribuzioni man mano che aumenta la dimensione delle particelle si possono riassumere come segue:

1. a partire da 0,5  $\mu\text{m}$  in estate e da 1  $\mu\text{m}$  di inverno la distribuzione diventa unimodale; il massimo nei conteggi più bassi che per la classe 0,3  $\mu\text{m}$  corrisponde sia in estate che in inverno a fenomeni meteorologici dispersivi, non si osserva più e la forma della distribuzione diventa simile ad una lognormale.

2. la frequenza massima dei dati di queste distribuzioni unimodali si sposta verso conteggi inferiori; a partire dalla classe 1  $\mu\text{m}$ , sia in inverno che in estate, compare la categoria 0. Questo significa che cominciano ad essere presenti dati al minuto in cui il numero delle particelle è pari a 0. Ovvero, secondo le misure effettuate durante la campagna, le particelle da 1  $\mu\text{m}$  o di dimensioni maggiori possono essere completamente assenti da un campione di atmosfera. A partire da 7,5  $\mu\text{m}$  in estate e da 4  $\mu\text{m}$  in inverno i conteggi nulli risultano essere i più frequenti, le distribuzioni non sono più a campana ma dal massimo valore in corrispondenza dello zero decadono in maniera sempre più ripida.

3. l'ampiezza della curva di distribuzione diminuisce; da una classe granulometrica alla successiva la deviazione standard diminuisce, quindi diminuisce l'oscillazione tra valore minimo e massimo e i dati sono sempre più raccolti intorno al valore medio.

4. passando dalla classe granulometrica 1  $\mu\text{m}$  a 1,6  $\mu\text{m}$  si ha uno "scambio" tra inverno estate (Fig 22). Mentre fino a 1  $\mu\text{m}$  in inverno il numero medio di particelle è più alto in inverno che in estate (picco invernale della distribuzione spostato verso valori più alti), in estate la situazione si inverte. Questo è coerente con quanto già osservato sulla diversa composizione dell'aerosol estivo e invernale (vedi Fig. 3)

Fig. 19 distribuzioni estive ed invernali delle classi 0,4  $\mu\text{m}$ -0,65  $\mu\text{m}$

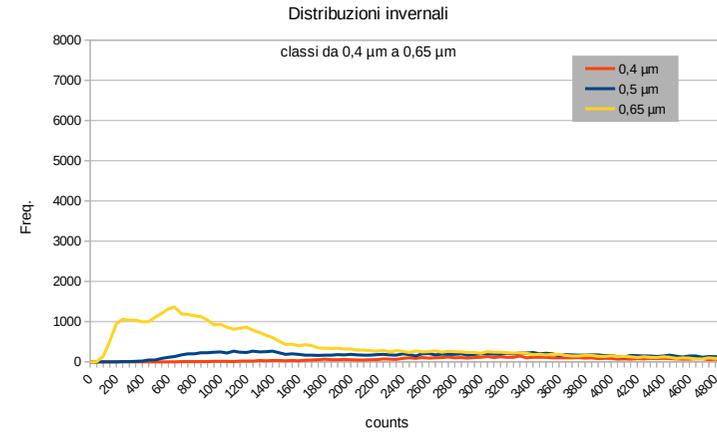
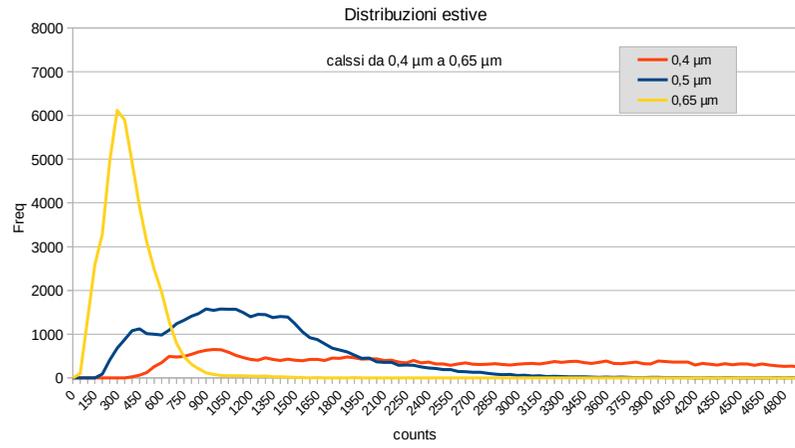


Fig. 20 distribuzioni estive ed invernali delle classi 0,65  $\mu\text{m}$ - 2  $\mu\text{m}$

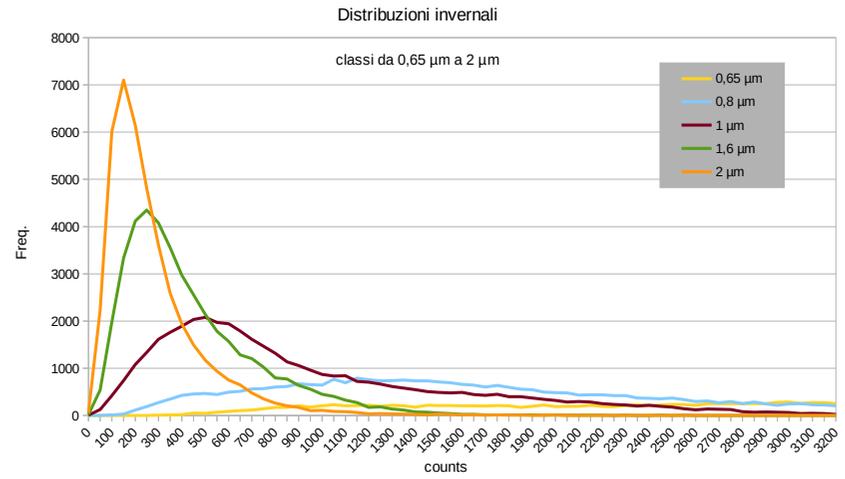
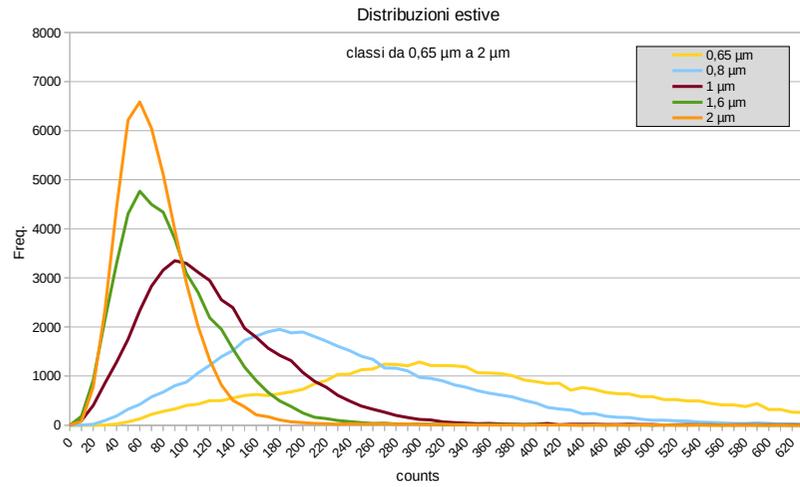


Fig. 21 distribuzioni estive ed invernali delle classi 3  $\mu\text{m}$  - 20  $\mu\text{m}$

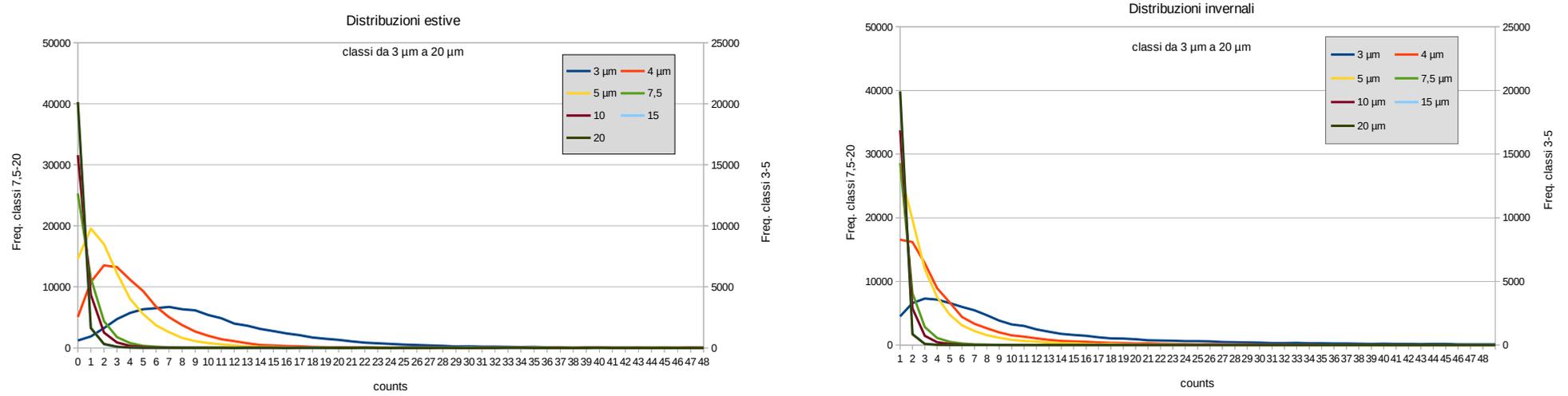
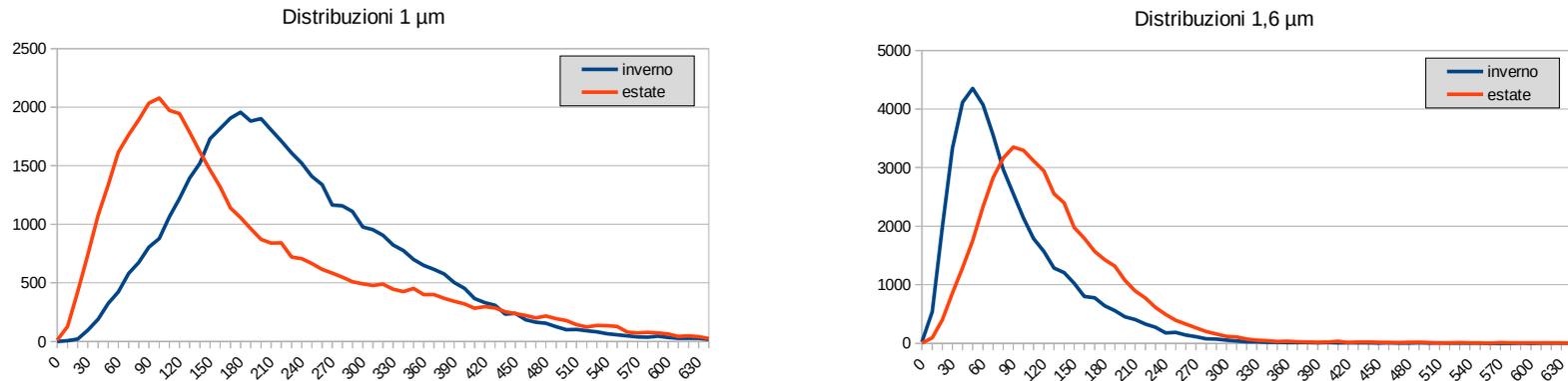


Fig. 22 confronto tra le distribuzioni estive ed invernali delle classi 1  $\mu\text{m}$  e 1,6  $\mu\text{m}$



## 7.4 Comportamento delle diverse frazioni in relazione a stabilità atmosferica e andamento del PM 10

Il giorno medio del PM10 in estate ed in inverno è stato già commentato al paragrafo 6.2. Al fine di analizzare il contributo delle diverse frazioni all'andamento del PM10, si confrontano il giorno tipo dei conteggi (per le diverse classi granulometriche) con il giorno medio del PM. Per ciascuna media oraria sono riportate le frequenze in cui, nel periodo relativo alle campagne di misura, sono state osservate le diverse classi di stabilità dell'atmosfera discusse al paragrafo 5 relativo alla caratterizzazione meteorologica.

Fig. 23 Inverno giorno tipo in counts classi 0,3-0,65  $\mu\text{m}$

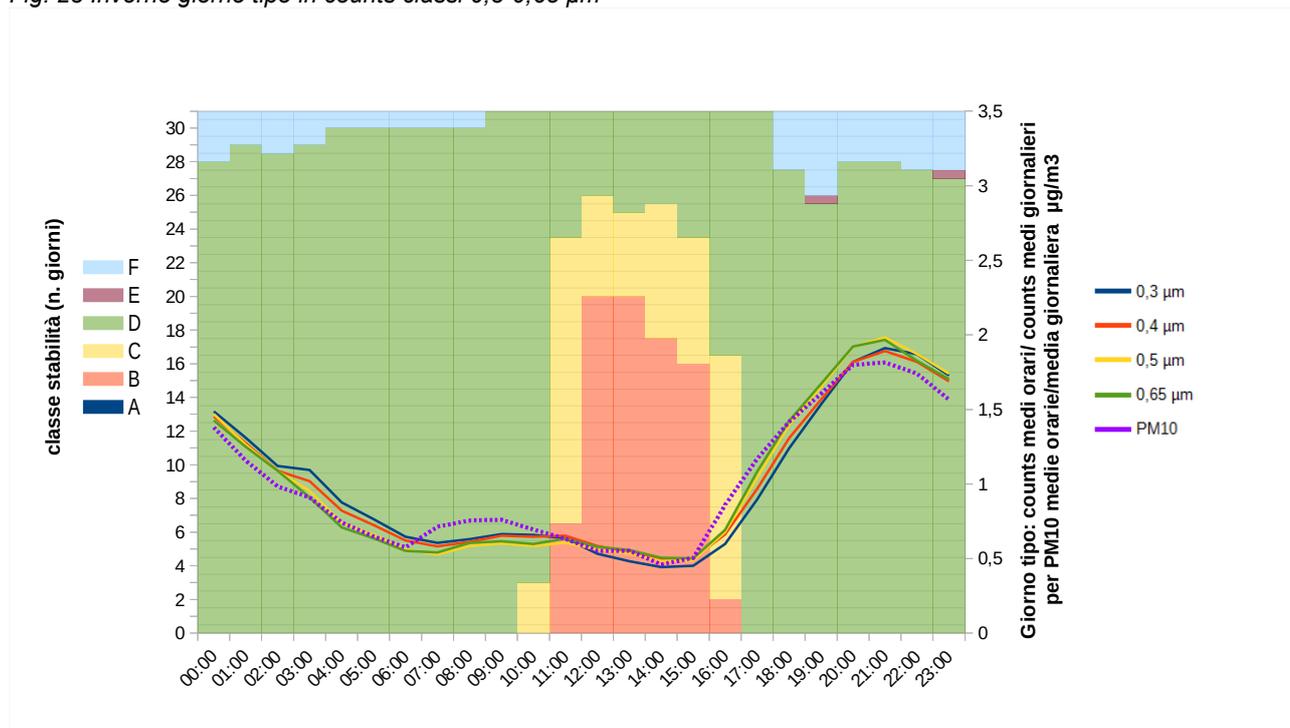


Fig. 24 Inverno giorno tipo in counts classi 0,8-3  $\mu\text{m}$

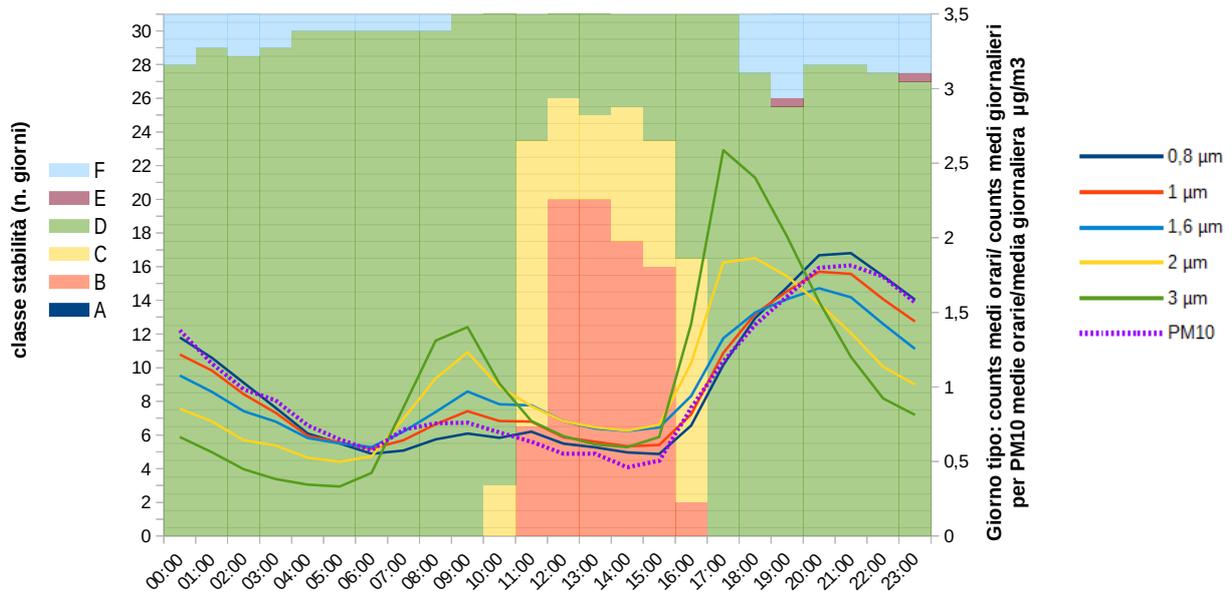
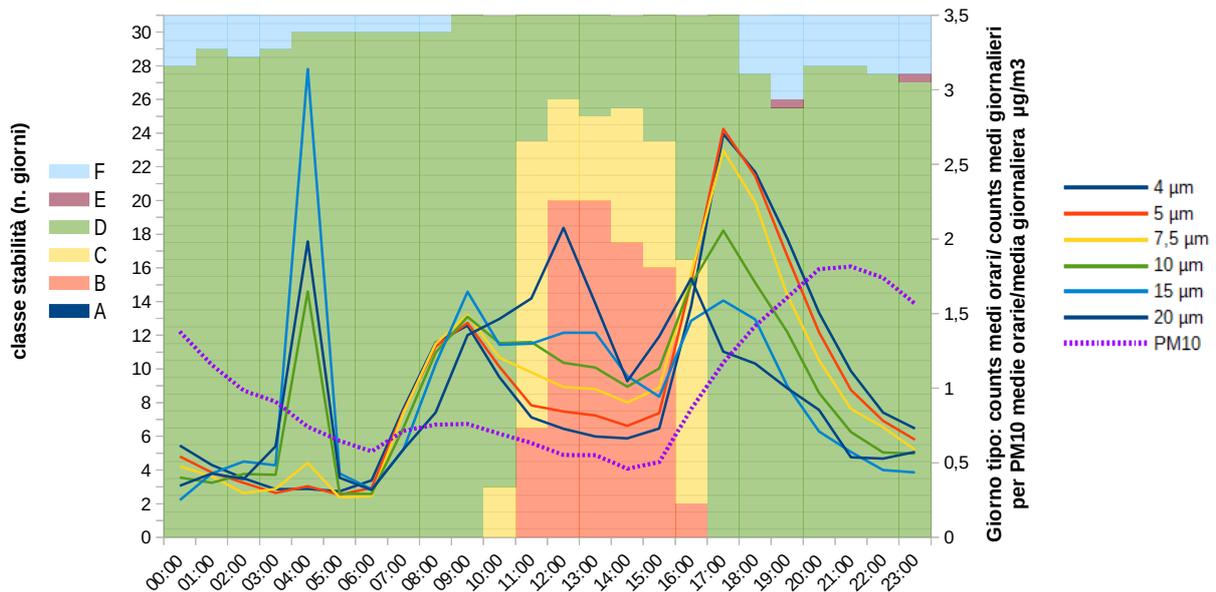


Fig. 25 Inverno giorno tipo in counts classi 4-20  $\mu\text{m}$



Per quanto riguarda la campagna invernale, Fig. 23-25, si può notare come le classi da 0,3 a 0,65  $\mu\text{m}$  abbiano un comportamento molto simile e coincidente con l'andamento del PM10 soprattutto per quello che riguarda il picco di accumulo serale. Meno rappresentato da queste classi è il picco tra le 8:00 e le 9:00 di mattina. Quest'ultimo è invece ben riprodotto dagli andamenti delle classi tra 0,8 e 3  $\mu\text{m}$  che evidentemente sono quelle che vi contribuiscono in maniera più significativa.

Tra queste, le classi tra 0,8 e 1,6 danno conto in maniera abbastanza precisa anche del picco serale, mentre a partire dalla classe 2  $\mu\text{m}$  si comincia a notare un anticipo dei valori massimi seguito da un decadimento molto più rapido nei conteggi. Tale tendenza si accentua passando da 4  $\mu\text{m}$  a 7,5  $\mu\text{m}$  fino a distribuzioni medie orarie dei counts quasi totalmente incoerenti con l'andamento del PM10 da parte delle frazioni più grossolane (10 $\mu\text{m}$ -20 $\mu\text{m}$ ) che sembrano dare solo contributi sporadici al totale del PM.

Fig. 26 Estate giorno tipo in counts classi 0,3-0,65  $\mu\text{m}$

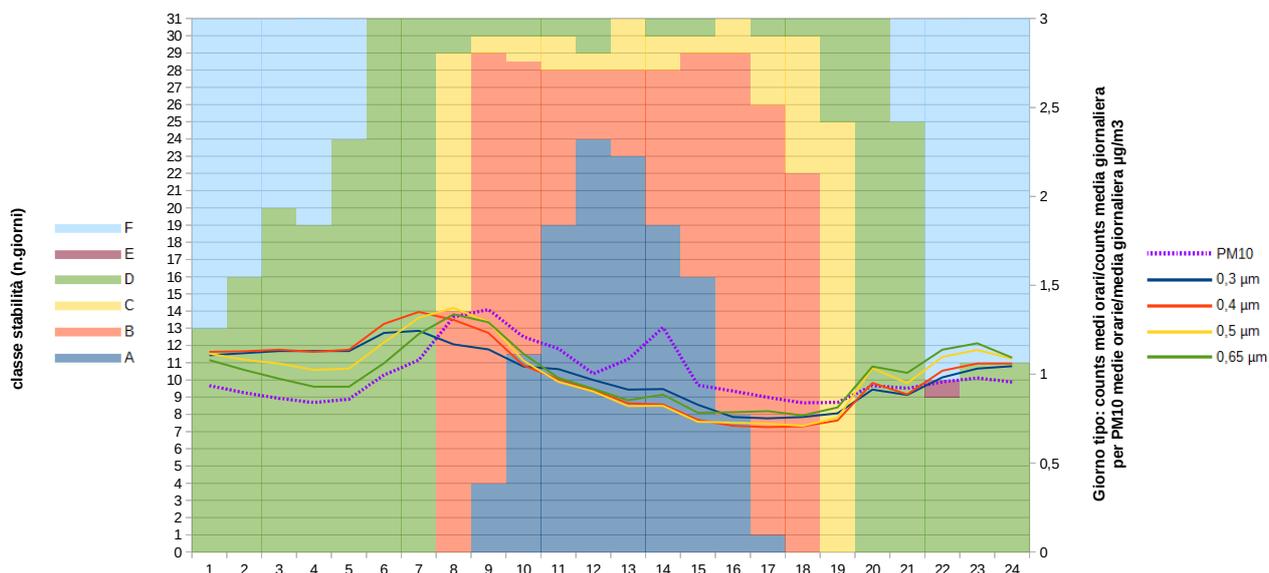


Fig. 27 Estate giorno tipo in counts classi 0,8-3  $\mu\text{m}$

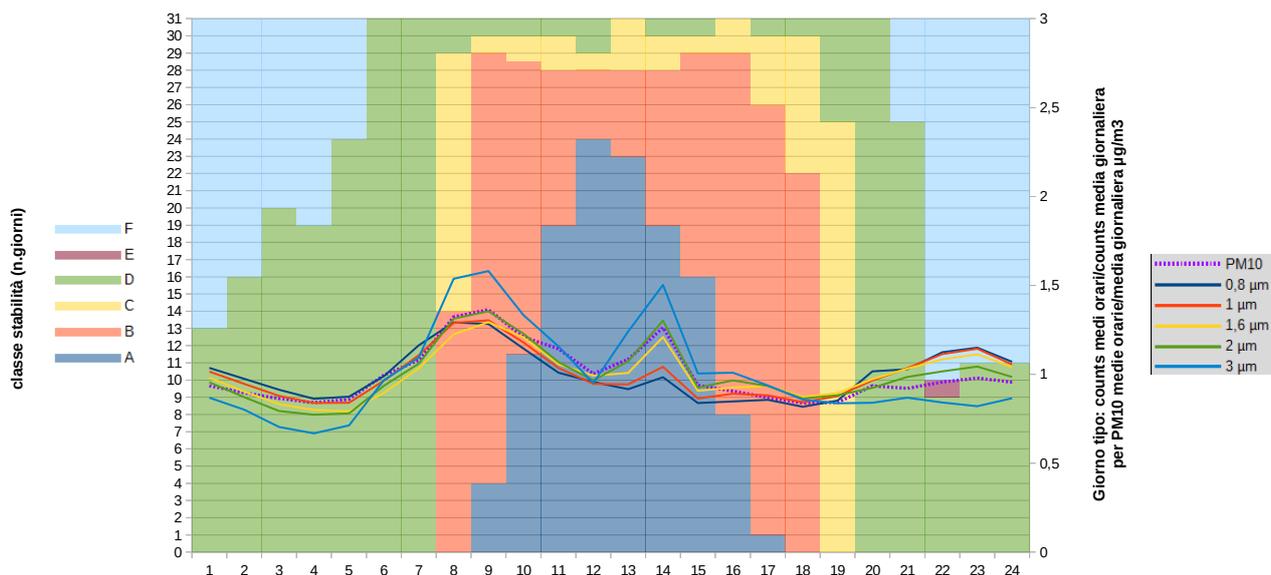
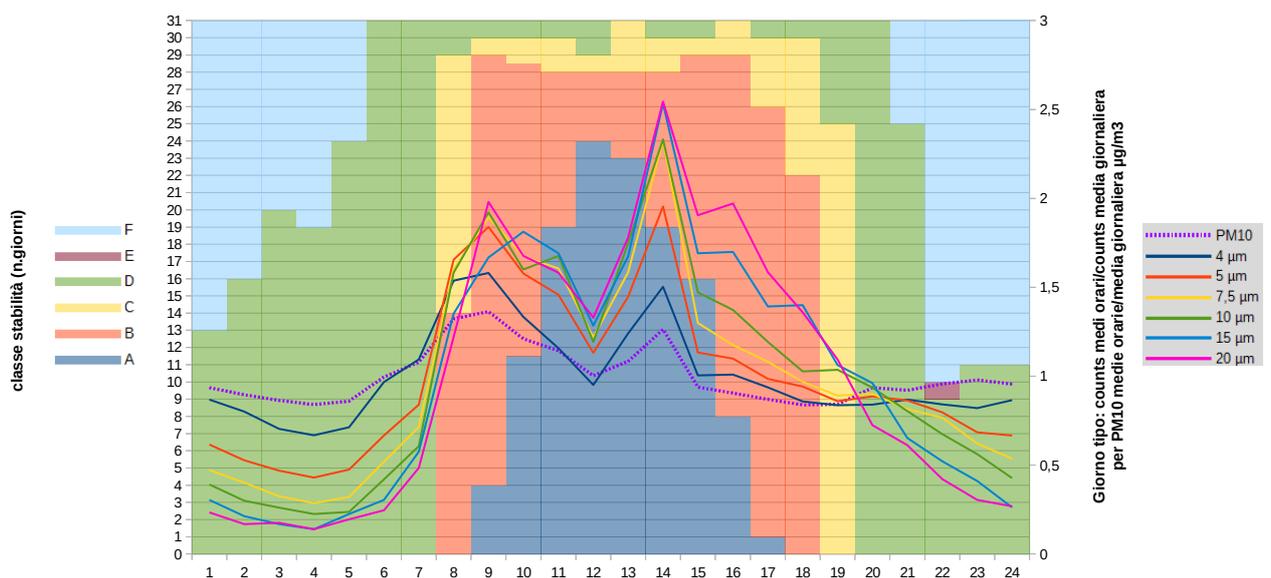


Fig. 28 Estate giorno tipo in counts classi 4-20  $\mu\text{m}$



In estate le classi da 0,3 a 0,65  $\mu\text{m}$  riproducono abbastanza bene il primo massimo giornaliero del PM10, ma non presentano quasi per niente il picco delle ore 14 che si osserva invece per il PM10. In queste ore centrali del giorno, in cui le classi di stabilità mostrano che c'è un buon

rimescolamento dell'atmosfera, per le frazioni più fini si osserva un decadimento abbastanza pronunciato dei conteggi. Nel caso dell'estate le classi che maggiormente riproducono l'andamento del PM10, e che quindi ne sono maggiormente "responsabili", sono quelle tra 0,8 e 3  $\mu\text{m}$ . In questi andamenti si può chiaramente osservare il picco delle 14.00 e inoltre si osserva che l'importanza del secondo picco aumenta con la granulometria fino a diventare, a partire da 5  $\mu\text{m}$ , predominante. Anche le frazioni più grossolane presentano in estate un andamento coerente con quello del PM10 e perfino la componente a 20  $\mu\text{m}$ , che al PM10 non contribuisce (o meglio contribuisce poco), ha un comportamento simile.

**Sintesi sul comportamento delle diverse frazioni in relazione a andamento PM10 e stabilità atmosferica:** tornano in evidenza le differenti caratteristiche del particolato in inverno ed in estate. Le frazioni che compongono la miscela di aerosol hanno andamenti diversi all'interno della giornata. Si possono approssimativamente identificare 3 gruppi di particelle sia in inverno che in estate che hanno comportamenti diversi.

Per l'**inverno** si osserva:

- Il **PM 10** ha due massimi giornalieri di cui il primo, tra le 9.00 e le 10.00 di mattina, molto più basso del secondo che si verifica circa alle 21.00. Il minimo si ha nelle ore pomeridiane di massimo rimescolamento atmosferico (classi di stabilità B e C).
- Le classi granulometriche **da 0,3  $\mu\text{m}$  a 1,6  $\mu\text{m}$**  riproducono molto bene l'andamento del PM10 se si esclude il massimo della mattina che negli andamenti del numero di queste particelle è molto meno pronunciato. Le classi da 0,3  $\mu\text{m}$  a 0,65  $\mu\text{m}$  sono anche molto correlate tra loro e pertanto presentano andamenti molto simili. In maniera graduale a partire dalla classe 0,8  $\mu\text{m}$  gli andamenti cominciano a differenziarsi assumendo alcune caratteristiche del raggruppamento successivo.
- Le classi da 2  $\mu\text{m}$  a 5  $\mu\text{m}$  hanno 2 picchi molto pronunciati di cui quello della mattina coincide come orario con quello del PM 10, mentre quello serale è anticipato alle ore 17.00. Nelle ore notturne i conteggi diminuiscono drasticamente e per queste particelle non si verifica il fenomeno di accumulo notturno.
- Le classi da 7,5  $\mu\text{m}$  a 20  $\mu\text{m}$  presentano picchi random che non sono quasi più in relazione con l'andamento del PM10

Per l'**estate** si osserva:

- Il **PM 10** ha due massimi giornalieri di cui il primo alle 9.00 del mattino è il più rilevante; il secondo si verifica circa alle 14.00.
- Le classi granulometriche **da 0,3  $\mu\text{m}$  a 0,65  $\mu\text{m}$**  mostrano un picco della mattina anticipato rispetto a quello del PM10, un andamento discendente per tutte le ore di maggiore insolazione e massima turbolenza dell'atmosfera, e una leggera tendenza alla risalita con un picco alle 20.00 ed

uno alle 23.00. L'andamento di queste classi non è molto correlato con quello del PM10, per cui è lecito aspettarsi da queste particelle un contributo meno significativo, in termini di peso, sul totale.

- Le classi **da 0,8  $\mu\text{m}$  a 2  $\mu\text{m}$**  rispecchiano con una migliore approssimazione l'andamento del PM10 con una leggera tendenza residua all'accumulo serale, che non si riscontra nel PM 10 in quanto evidentemente compensata dal contributo delle classi a granulometria superiore.

- Tutti gli andamenti, anche quelli delle classi più grossolane, **da 3  $\mu\text{m}$  a 20  $\mu\text{m}$** , continuano a presentare picchi ad orari corrispondenti a quelli del PM 10. Man mano che la granulometria aumenta, aumenta anche il dislivello tra conteggio massimo e minimo giornaliero ed il picco più significativo diventa quello serale.

## 7.5 Individuazione di componenti nella serie temporale della fraz. 0,3

Utilizzando quanto è stato sin qui osservato, ovvero:

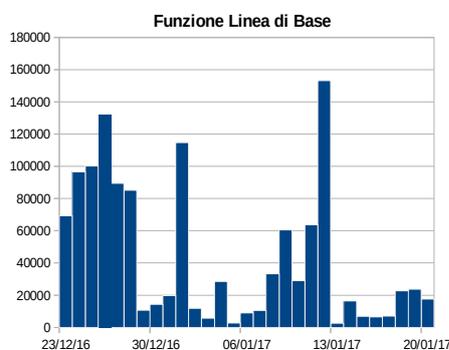
- la presenza di una linea di base che cresce da un giorno all'altro ad opera di un accumulo notturno non del tutto smaltito se non per l'intervento di eventi meteorologici che ripuliscono l'atmosfera;
- l'andamento medio giornaliero costituito da picchi diurni, dovuti all'influenza diretta delle attività antropiche che interessano la stazione, e da picchi notturni che sono l'effetto dell'accumulo dovuto alla stabilità dell'atmosfera;
- le distribuzioni delle particelle che, da una certa granulometria in poi, suggeriscono una prevalenza di contributi sporadici e oscillazioni casuali nei conteggi;

la serie temporale dei conteggi relativi alla frazione più fine di  $0,3 \mu\text{m}$  è stata scomposta in 3 diversi contributi per "spiegare" l'andamento osservato.

### 1. LB - Linea di base:

Il fatto che la serie temporale mostri una linea di base crescente nel tempo è attribuibile al fenomeno di accumulo delle frazioni più fini che determina minimi più alti da un giorno all'altro e decade in concomitanza ad eventi di dilavamento (come visto al par 7.2 per la distribuzione  $0,3 \mu\text{m}$ ). L'andamento di questa funzione per la serie temporale è stato stimato interpolando tutti i dati al minuto minimi giornalieri. Dà conto della tendenza all'accumulo nei giorni ma anche degli episodi di rimozione che si sono verificati per condizioni meteorologiche favorevoli.

Fig. 29 Esempio di dati utilizzati per determinare la funzione LB: minimi giornalieri per la campagna invernale



In inverno (Fig. 29) i valori minimi giornalieri hanno avuto oscillazioni da un minimo di circa 2600 ad un massimo di 153.000. Come già sottolineato al par 7.2 conteggi invernali al di sotto dei 18.000 si verificano quasi esclusivamente a seguito di eventi meteorologici favorevoli.

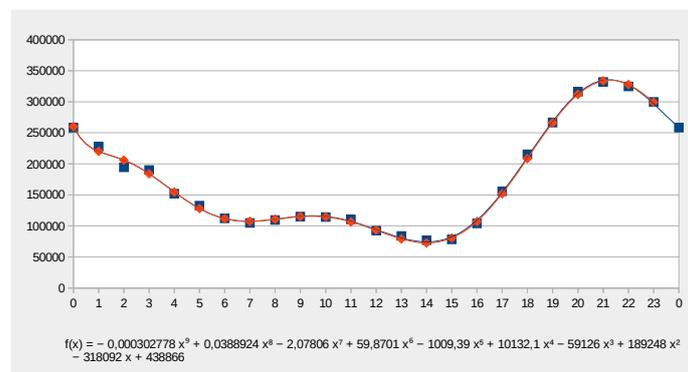
## 2. CG - Componente ciclica giornaliera

Osservando l'andamento orario si evidenzia una componente ciclica dell'andamento del PM 10 come si può chiaramente notare ad esempio nei grafici di Fig 7 e 8 per l'inverno e di Fig 16 per l'estate. Questa componente è più marcata in inverno; in estate risulta talvolta confusa soprattutto nei giorni con concentrazioni più basse.

Per stimare con una funzione questa componente è stato utilizzato in prima approssimazione il giorno tipo partendo quindi dalle medie orarie calcolate come media dei conteggi orarie di ciascun giorno della campagna di monitoraggio. La scelta di utilizzare le medie orarie fa in modo che le fluttuazioni casuali dei valori al minuto siano compensate dal tempo di mediazione più lungo.

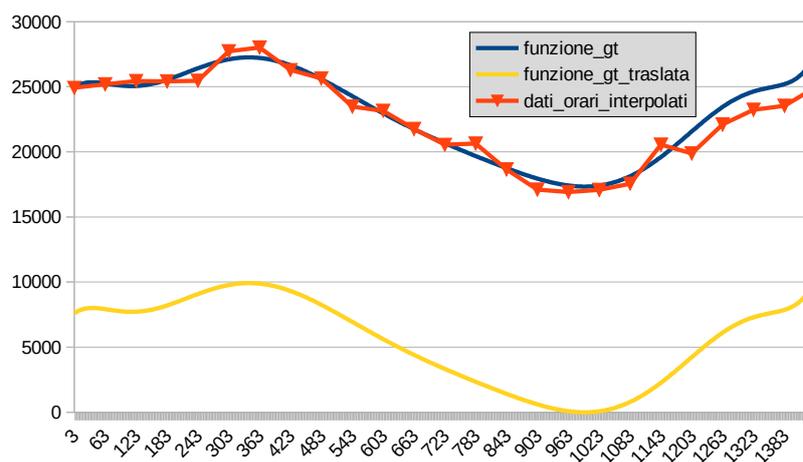
Le medie orarie del giorno tipo sono state interpolate secondo il metodo dei minimi quadrati con una funzione polinomiale di grado 9 sia per l'inverno che per l'estate.

Fig. 30 Esempio: funzione GT ottenuta per la campagna invernale



La curva è stata poi traslata in modo da portare il minimo al valore 0, cosicché questa componente possa essere sommata alla linea di base.

Fig. 31 Esempio: funzione GT ottenuta per la campagna estiva



Occorre tener presente che rappresentare la componente ciclica giornaliera con il giorno medio è comunque un'approssimazione forte; dagli andamenti dei conteggi (Fig. 6-9 inverno e Fig. 14-17 estate) si evince che la componente ciclica non ha la stessa importanza in tutti i giorni della campagna. In alcuni casi la componente ciclica è "nascosta" da eventi emissivi particolari che si verificano ad esempio in orari diversi da quelli che mediamente interessano l'area. Oppure la componente ciclica può risultare "schiacciata" a seguito di un episodio di dilavamento dell'atmosfera, o amplificata a causa di una maggiore staticità dell'atmosfera, anche se questi effetti sono già in parte descritti dall'andamento della linea di base.

Per cercare di compensare questo ultimo aspetto, la funzione che descrive la componente ciclica è stata "modulata" per ciascun giorno sulla base dell'altezza del picco notturno. Ovvero la funzione ottenuta è stata moltiplicata per un opportuno fattore che compensasse l'altezza del picco notturno dello specifico giorno rispetto al giorno tipo. Per garantire la continuità della funzione il fattore calcolato sul picco tra 2 giorni, viene applicato tra le 16.32 del giorno precedente e le 16.31 del giorno successivo. Le 16.32 è infatti l'orario del minimo in cui la funzione vale 0.

Come si può osservare nelle Fig 32 e 33 il modello applicato, pur con qualche eccezione che riguarda soprattutto il periodo estivo, riproduce qualitativamente l'andamento dei conteggi e questo conferma che l'analisi effettuata sulla presenza di una linea di accumulo e di una componente ciclica su base giornaliera ha un suo reale fondamento.

Inoltre, dalla buona corrispondenza tra il modello e l'andamento osservato per la componente a  $0,3 \mu\text{m}$ , si ha una indiretta conferma che il giorno tipo, così come analizzato e commentato nei paragrafi precedenti, è rappresentativo di una reale tendenza nella variazione dei conteggi durante il giorno.

Fig.32 Andamento invernale, scomposizione nei contributi linea di base (LB) e ciclico giornaliero (CG)

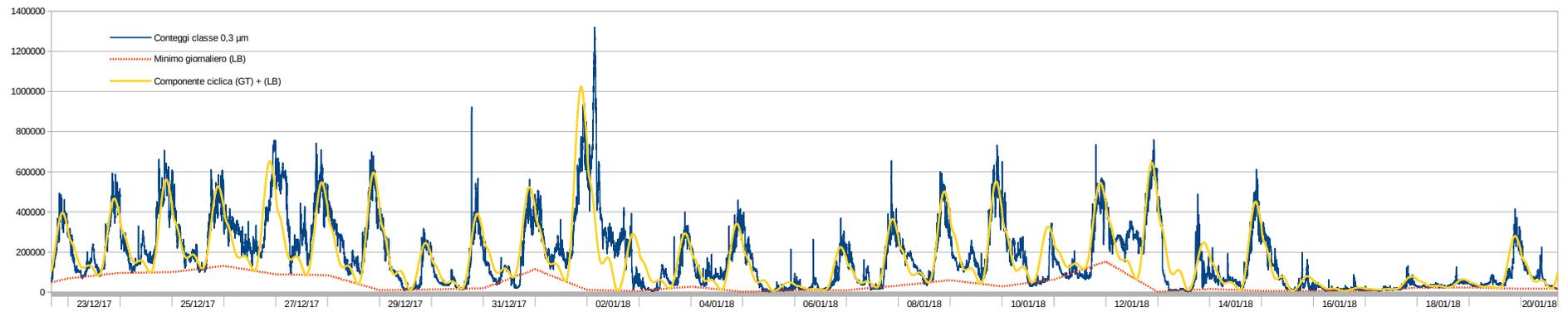
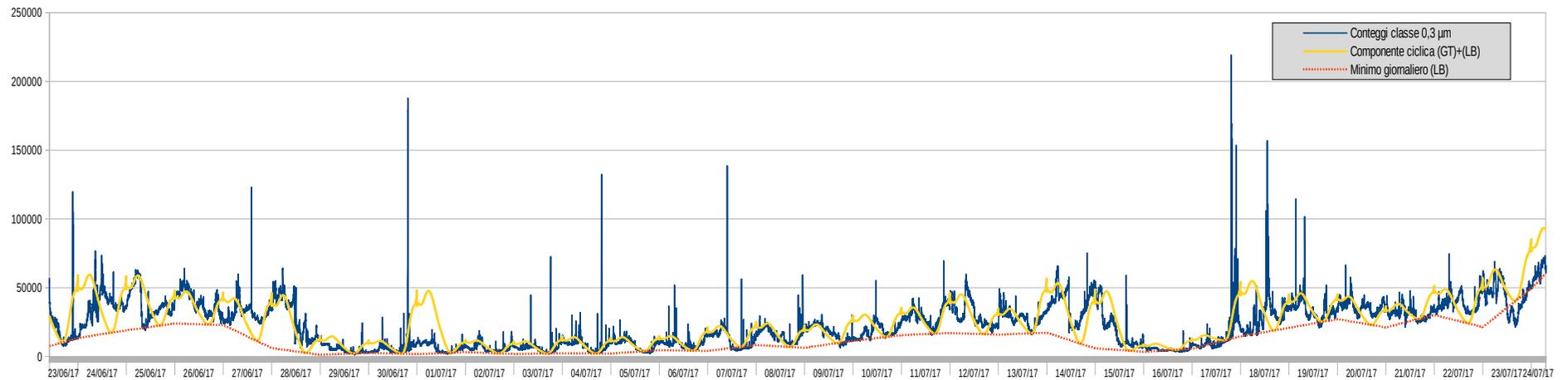


Fig.33 Andamento estivo, scomposizione nei contributi linea di base (LB) e ciclico giornaliero (CG)



### 3. Componente residua

La componente residua rappresenta un'oscillazione random dei valori ma anche la presenza di contributi sporadici da sorgenti locali vicine allo strumento.

Se si stima la differenza tra il valore del modello (Linea di base + Ciclica giornaliera) e l'andamento reale, allora in questa componente comprendiamo anche l'errore del modello di stima e quindi gli scarti possono essere sia negativi che positivi.

La distribuzione degli scarti intorno allo 0 è leggermente asimmetrica verso destra (più errori positivi) e leptocurtica, ovvero più appuntita rispetto ad una distribuzione normale, rispetto alla quale presenta un eccesso di frequenza nelle classi centrali, una frequenza minore delle classi intermedie ed una frequenza maggiore delle classi estreme. (Inverno Fig.34 e Fig 35: indice di asimmetria=1,14 – coefficiente di curtosi 11,9 Estate Fig.36 e Fig.37: indice di asimmetria =0,79 – coefficiente di curtosi=19,9).

Fig 34 Grafico dei residui - inverno

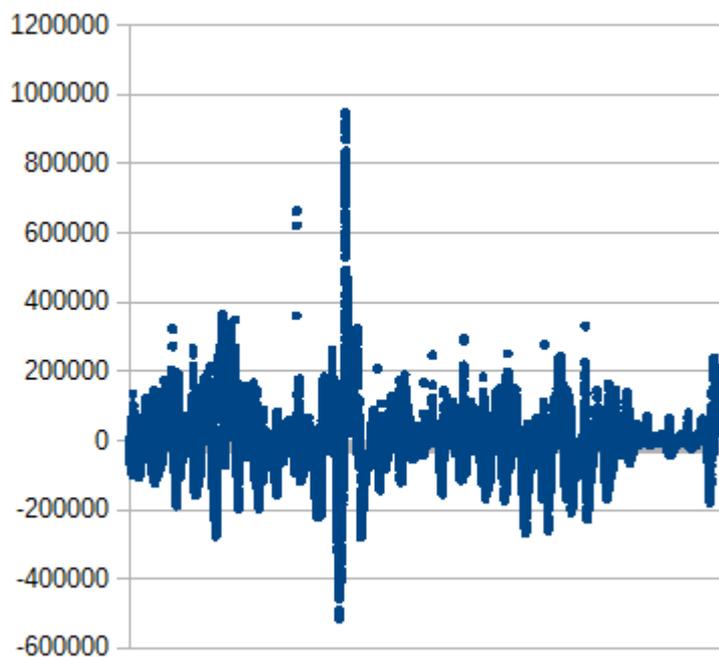


Fig . 35 Distribuzione dei residui inverno

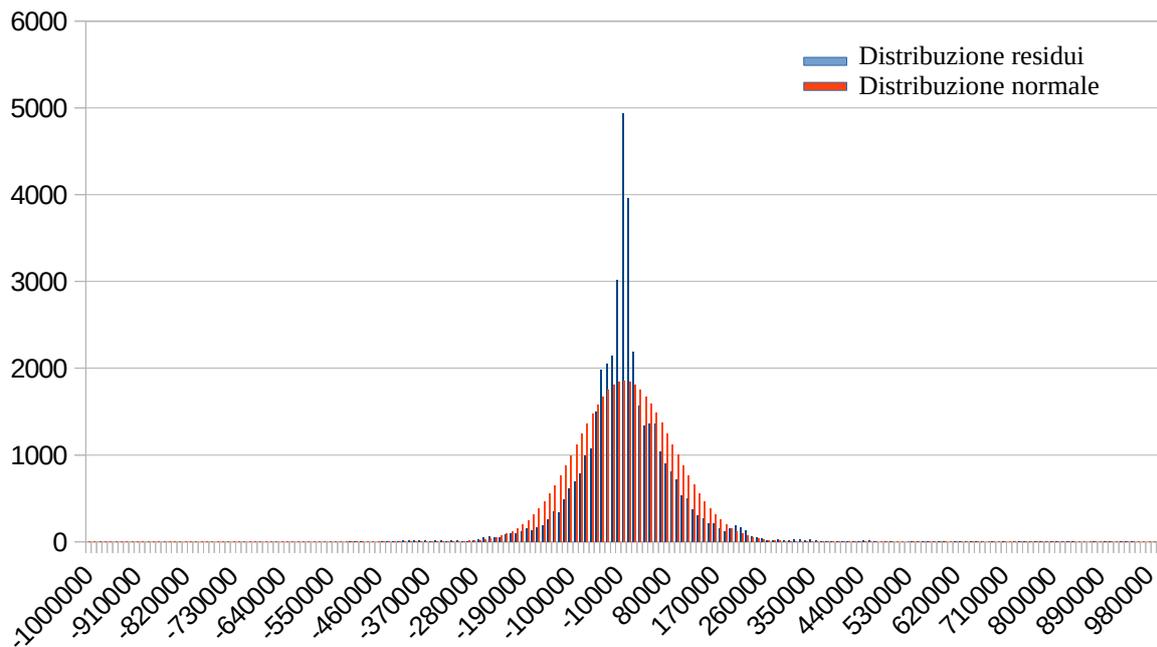


Fig 36 – Grafico dei residui - estate

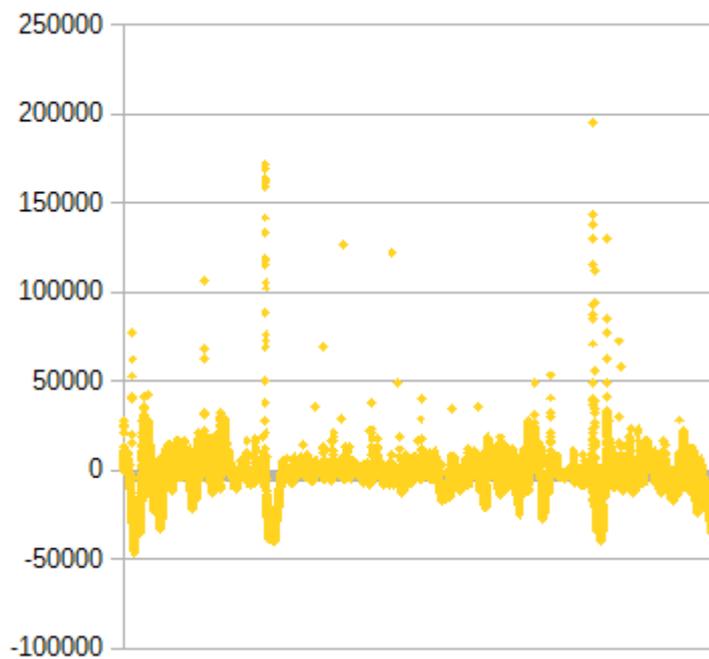
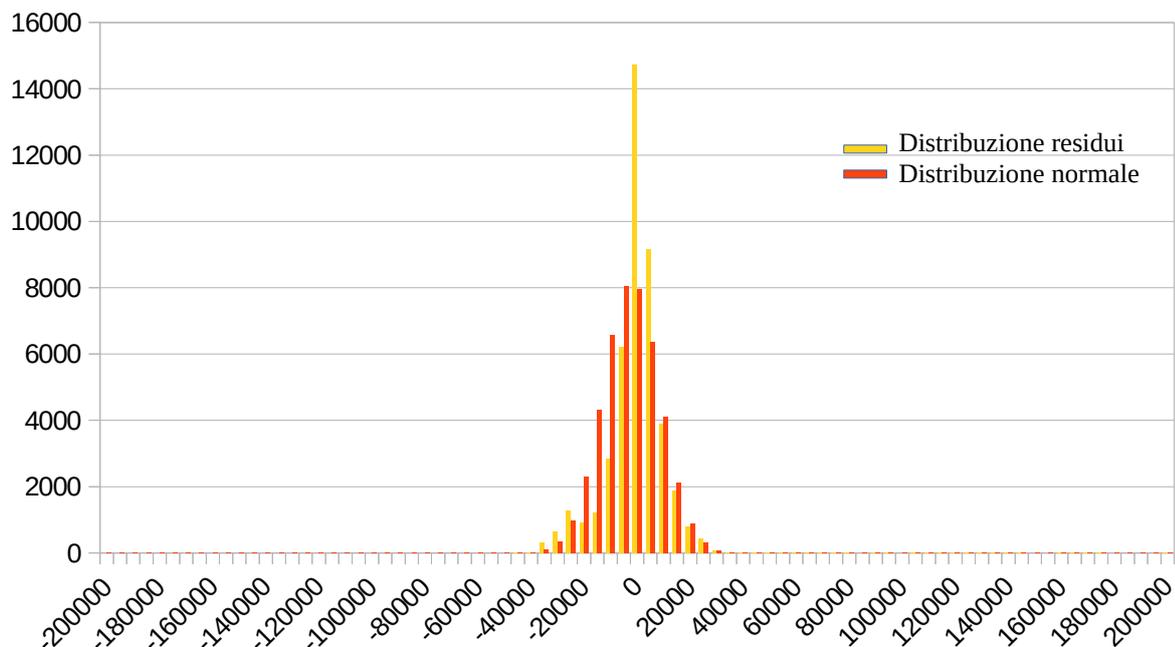


Fig 37 - Distribuzione dei residui – estate



Una volta descritta la serie temporale dei conteggi per la classe 0,3  $\mu\text{m}$  si analizzano le correlazioni tra questa e le altre classi dimensionali e si tornano ad osservare alcune caratteristiche già evidenziate ai paragrafi relativi alle distribuzioni di frequenza e al giorno tipo dei conteggi rispetto al giorno tipo del PM10 delle varie classi dimensionali (paragrafi 7.3 e 7.4)

Di seguito sono riportate la tabella di correlazione tra le diverse classi granulometriche in inverno ed in estate.

Tab. 2 Matrice di correlazione estate

	0,3	0,4	0,5	0,65	0,8	1	1,6	2	3	4	5	7,5	10	15	20
0,3	1	0,93	0,71	0,46	0,34	0,26	0,18	0,15	0,09	0,07	0,06	0,06	0,05	0,03	0,02
0,4	0,93	1	0,88	0,64	0,48	0,38	0,27	0,24	0,17	0,15	0,14	0,13	0,11	0,09	0,07
0,5	0,71	0,88	1	0,88	0,74	0,62	0,48	0,45	0,38	0,35	0,33	0,31	0,29	0,25	0,21
0,65	0,46	0,64	0,88	1	0,93	0,85	0,71	0,69	0,59	0,56	0,54	0,51	0,48	0,43	0,37
0,8	0,34	0,48	0,74	0,93	1	0,94	0,85	0,85	0,75	0,73	0,71	0,68	0,64	0,57	0,5
1	0,26	0,38	0,62	0,85	0,94	1	0,88	0,9	0,81	0,8	0,78	0,74	0,71	0,63	0,56
1,6	0,18	0,27	0,48	0,71	0,85	0,88	1	0,95	0,74	0,78	0,76	0,74	0,71	0,64	0,52
2	0,15	0,24	0,45	0,69	0,85	0,9	0,95	1	0,9	0,91	0,89	0,86	0,82	0,73	0,61
3	0,09	0,17	0,38	0,59	0,75	0,81	0,74	0,9	1	1	1	0,91	0,86	0,76	0,68
4	0,07	0,15	0,35	0,56	0,73	0,8	0,78	0,91	1	1	1	0,94	0,9	0,79	0,71
5	0,06	0,14	0,33	0,54	0,71	0,78	0,76	0,89	1	1	1	1	0,93	0,82	0,75
7,5	0,06	0,13	0,31	0,51	0,68	0,74	0,74	0,86	0,91	0,94	1	1	0,93	0,83	0,76
10	0,05	0,11	0,29	0,48	0,64	0,71	0,71	0,82	0,86	0,9	0,93	0,93	1	0,84	0,8
15	0,03	0,09	0,25	0,43	0,57	0,63	0,64	0,73	0,76	0,79	0,82	0,83	0,84	1	0,74
20	0,02	0,07	0,21	0,37	0,5	0,56	0,52	0,61	0,68	0,71	0,75	0,76	0,8	0,74	1

Tab. 3 Matrice di correlazione inverno

	0,3	0,4	0,5	0,65	0,8	1	1,6	2	3	4	5	7,5	10	15	20
0,3	1	1	0,93	0,87	0,81	0,68	0,47	0,26	0,15	0,1	0,05	0	0	0	0
0,4	1	1	1	0,91	0,85	0,71	0,5	0,28	0,16	0,11	0,07	0	0	0	0
0,5	0,93	1	1	1	0,92	0,79	0,56	0,34	0,21	0,16	0,11	0,02	0	0	0
0,65	0,87	0,91	1	1	1	0,85	0,63	0,4	0,26	0,2	0,15	0,05	0	0	0
0,8	0,81	0,85	0,92	1	1	0,92	0,73	0,52	0,35	0,29	0,23	0,11	0,01	0,01	0
1	0,68	0,71	0,79	0,85	0,92	1	0,85	0,71	0,52	0,46	0,41	0,25	0,07	0,05	0,05
1,6	0,47	0,5	0,56	0,63	0,73	0,85	1	0,84	0,57	0,53	0,5	0,36	0,13	0,11	0,12
2	0,26	0,28	0,34	0,4	0,52	0,71	0,84	1	0,87	0,84	0,79	0,53	0,15	0,11	0,13
3	0,15	0,16	0,21	0,26	0,35	0,52	0,57	0,87	1	0,94	0,88	0,57	0,12	0,07	0,08
4	0,1	0,11	0,16	0,2	0,29	0,46	0,53	0,84	0,94	1	0,89	0,61	0,18	0,13	0,14
5	0,05	0,07	0,11	0,15	0,23	0,41	0,5	0,79	0,88	0,89	1	0,71	0,33	0,28	0,29
7,5	0	0	0,02	0,05	0,11	0,25	0,36	0,53	0,57	0,61	0,71	1	0,69	0,65	0,65
10	0	0	0	0	0,01	0,07	0,13	0,15	0,12	0,18	0,33	0,69	1	1	0,93
15	0	0	0	0	0,01	0,05	0,11	0,11	0,07	0,13	0,28	0,65	1	1	0,93
20	0	0	0	0	0	0,05	0,12	0,13	0,08	0,14	0,29	0,65	0,93	0,93	1

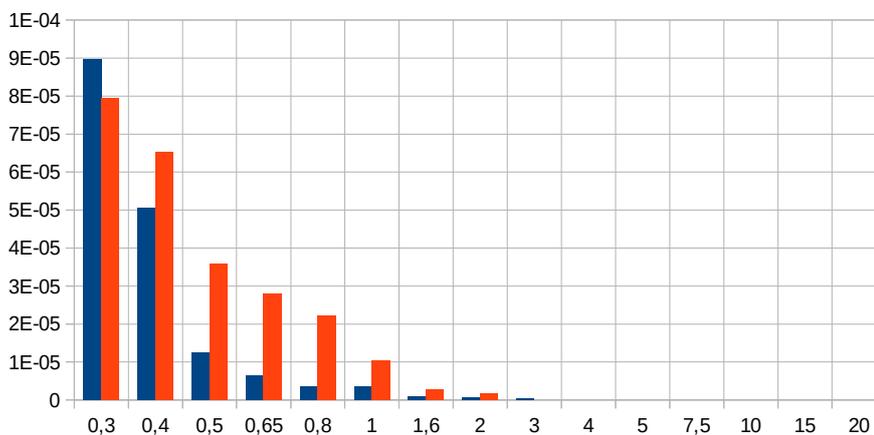
In tab. 3 e tab. 4 sono evidenziati blocchi di correlazioni significative (coeff. Correlazione >0,75); all'interno di questi blocchi le diverse classi granulometriche sono quasi tutte ben correlate tra loro, pur con qualche coefficiente <0,75 tra le classi più "lontane". Anche tra gruppi diversi, soprattutto in estate, sono presenti correlazioni tra classi granulometriche vicine; ad esempio la classe 0,8 µm e la classe 1 µm pur appartenendo al gruppo 0,8-2 µm correlano ancora molto bene con le classi 0,65 µm e 0,5 µm, indice del fatto che hanno contemporaneamente le caratteristiche dei due raggruppamenti. Ciò può essere interpretato come una variazione graduale delle caratteristiche delle particelle con il diametro.

Ricollegandosi alla ricostruzione dell'andamento effettuata per la classe 0,3 µm, le variazioni all'aumentare della granulometria si possono schematizzare nei seguenti passaggi:

1. La linea di base LB si abbassa

In grafico è riportato, d'inverno e d'estate, l'andamento del minimi conteggio giornaliero per classe granulometrica. I conteggi sono normalizzati rispetto ad un fattore di scala stimato per ciascuna classe come differenza tra il valore minimo e massimo di tutta la campagna.

LB altezza media (normalizzata)

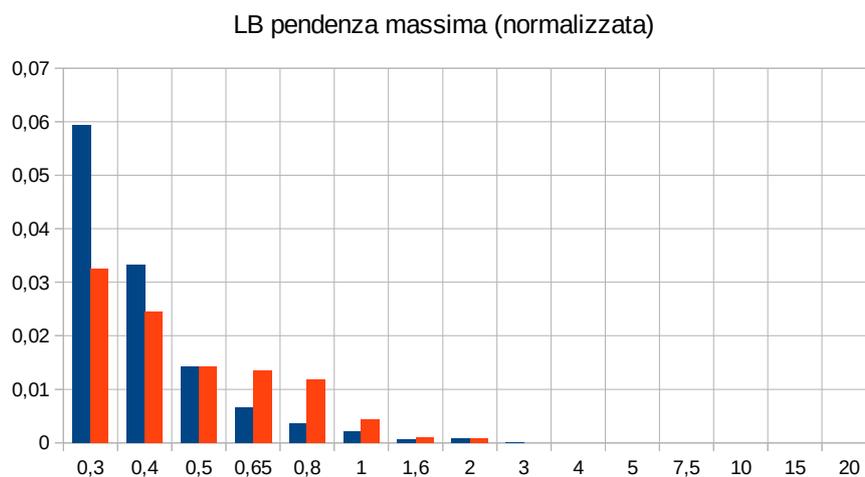


Come si può notare sia d'estate che d'inverno, all'aumentare della granulometria, la linea di base si abbassa rapidamente, non solo in termini assoluti ma anche relativamente scala di ciascuna classe di conteggio.

A partire da 4  $\mu\text{m}$  sia in inverno che in estate l'altezza media della linea di base è 0.

## 2. La linea di base si appiattisce

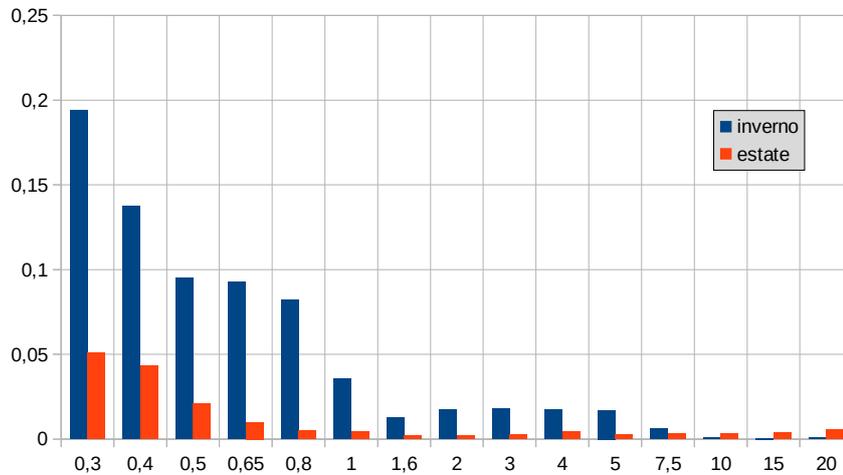
In grafico è riportata la massima pendenza della funzione LB che, per poter confrontare una classe granulometrica con l'altra in termini relativi, è normalizzata rispetto al fattore di scala.



Si osserva per questo parametro la stessa tendenza del precedente. Anche in questo caso a partire da 4  $\mu\text{m}$  non si ha più "movimento" della linea di base (pendenza=0), perciò non si ha più tendenza all'accumulo delle particelle da un giorno all'altro. Questo dato è coerente con quanto osservato nei grafici del giorno medio per ciascuna classe granulometrica (vedi paragrafo 7.3). Inoltre si può osservare una differenza tra estate ed inverno determinata da una minore tendenza in estate all'accumulo delle particelle di diametro più basso (classi 0,3 - 0,4  $\mu\text{m}$ ). Al contrario a partire da 0,65  $\mu\text{m}$  e fino a 1  $\mu\text{m}$  la pendenza della linea di base è maggiore in estate che in inverno. Per le classi successive diventa trascurabile.

### 3. La componente ciclica si smorza all'aumento della granulometria

In grafico sono riportati, per l'inverno e per l'estate, la differenza tra massimo e minimo del giorno tipo per ciascuna granulometria normalizzati per il fattore di scala.



La componente ciclica diminuisce la sua ampiezza andando verso le componenti più grossolane sia in inverno che in estate.

In inverno, la componente ciclica è nettamente più importante per la classe 0,3 µm, quindi decresce fino a dimezzarsi nelle classi da 0,5 a 0,8 µm. Da 1,6 µm fino a 5 “l’ampiezza” della componente ciclica rimane costante a circa 1/10 del valore massimo. Quindi, a partire dalla frazione 10 µm la componente ciclica diventa del tutto trascurabile ed il suo contributo al particolato è determinato quasi esclusivamente dalla componente residua. Queste considerazioni riproducono quanto osservato al paragrafo 7.3.

Per quanto riguarda l’estate la componente ciclica è in generale meno importante e, già a 0,8 µm è ridotta a 1/10 rispetto alla frazione più fine. Contrariamente all’inverno però, questo valore rimane circa costante per tutte le altre classi, fino alle più grossolane. Anche in questo caso il comportamento osservato può dirsi coerente con quanto descritto al paragrafo 7.3

## CONCLUSIONI

La valutazione dei dati acquisiti nel monitoraggio del particolato effettuata nell'ambito della convenzione tra il Comune di Porcari ed ARPAT indica che:

**PM10:** i dati di PM10 rilevati a Porcari nel periodo della campagna concordano con la valutazione della qualità dell'aria fatta per la zona sulla base delle stazioni di rete regionale, in particolare della stazione di Capannori, alla quale si fa riferimento per la gestione degli episodi critici.

Le medie sul periodo tardo autunnale e invernale sono superiori nel contesto Capannori/Porcari, anche rispetto alla stessa stazione lucchese di San Concordio che presenta valori più contenuti, piuttosto in linea con i valori tipici del contesto del Cuoio, con PI-Santa Croce "Coop" come stazione rappresentativa. I valori di PI-Passi si stabilizzano su una fascia inferiore di 10-13  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  rispetto ai valori medi restituiti dagli ultimi due siti di misura citati.

I valori medi sul periodo estivo sono omogenei nella zona (20-21  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) nelle stazioni LU-Capannori, LU-San Concordio e Pisa-Passi, mentre rimangono più elevati nel periodo di misurazione (24-25  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) su Santa Croce S/A e la stessa Porcari, valori poco più elevati molto probabilmente a causa di pressioni localizzate nell'intorno del punto di misura.

**NO<sub>2</sub>:** gli indicatori relativi all'anno 2017, utili ai fini del confronto con i limiti normativi, emerge che tutte le serie trattate sono valide (raccolta dati > 90%) e che i valori medi annuali di tutte le centraline della Piana Lucchese sono ampiamente al di sotto del limite annuale (VL(NO<sub>2</sub>) = 40  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Inoltre, Porcari mostra una media annuale inferiore sia a Capannori che a San Concordio (23  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  contro i 25  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  di Capannori e i 26  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  di San Concordio).

Le medie mensili di NO<sub>2</sub> a Porcari sono solitamente inferiori o in linea con quelle di Capannori e San Concordio, ad eccezione dei mesi di gennaio e ottobre.

L'andamento del giorno medio rispecchia l'andamento orario tipico del Biossido di Azoto, con valori massimi orari o picchi incentrati sulle 8 del mattino e la fascia oraria 19-20 serale. I valori sfiorano o stanno di poco sopra ai 30  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

**Venti e rose dell'inquinamento:** I valori medi orari di velocità del vento hanno avuto punte di circa 7 m/s (circa 25 km/h) nel mese di dicembre 2017. Le fasce di velocità registrate sono le seguenti:

- fenomeni di calma di vento (o bava di vento) con  $v \leq 1,5$  m/s corrispondono a circa il 78% degli eventi orari sull'anno solare 2017;
- alla stessa stregua, i valori con  $v \geq 3,5$  m/s si sono registrati per circa il 3% del tempo.

Stagionalmente, si evince una serie di eventi con velocità medie orari maggiori di 6 m/s soprattutto

nei mesi di gennaio/febbraio e novembre/dicembre, con invece prevalenza di brezze - in fascia di velocità tra 2 e 4 m/s - tipicamente dai settori Nord-Occidentali nei mesi centrali dell'anno, specialmente in estate.

Gli eventi di maggiore concentrazione di Biossido di Azoto non sono correlabili ad alcuna direzione prevalente dei venti.

**OPC:** in base ai dati ottenuti tramite l'OPC, si ha una prevalenza del contributo della frazione fine, soprattutto PM1, al PM10 totale. La corrispondenza dei dati ricavati dal contatore ottico con quelli del metodo ufficiale è molto buona in inverno e più scarsa in estate, quando i valori sono più bassi e la componente grossolana è più importante. Grazie alla presenza del contatore ottico è stato possibile analizzare il profilo giornaliero del particolato e la composizione granulometrica.

Il profilo giornaliero medio del PM10 è anch'esso molto diverso tra estate ed inverno. In inverno esso è caratterizzato da un leggero aumento di concentrazione che si sviluppa dalle prime ore del mattino, da un minimo nelle prime ore del pomeriggio in corrispondenza delle ore del giorno in cui la dispersione atmosferica è maggiore, infine da una fase di accumulo notturno rilevante dalle ore 17 in poi. Si osserva la presenza negli orari centrali della giornata e nelle prime ore serali (circa fino alle 22.00) di una serie di picchi frastagliati caratterizzati da una netta prevalenza delle componenti più grossolane del particolato.

Per quanto riguarda l'estate si osserva che il PM 10 ha due massimi giornalieri di cui il primo alle 9.00 del mattino è il più rilevante; il secondo si verifica circa alle 14.00. Non si osserva più il picco di accumulo notturno e le percentuali di PM2,5 e PM1 sono nettamente inferiori rispetto all'inverno. Analizzando i conteggi nelle diverse classi granulometriche si osserva che in estate il numero di particelle nelle classi più grossolane è superiore, pur essendo il totale delle particelle molto più alto in inverno. La classe più fine è nettamente prevalente in entrambe le stagioni. I contributi al PM delle varie classi granulometriche sono diversi in estate ed in inverno. Ciascuna classe granulometrica assume inoltre caratteristiche differenti nelle 2 stagioni. Sia la diversa composizione dell'aerosol che il diverso comportamento delle particelle in atmosfera dipendono dal diverso grado di rimescolamento dell'atmosfera che in estate è più dinamica mentre in inverno favorisce l'accumulo degli inquinanti. Dalla relazione tra andamento dei conteggi e andamento dei parametri meteorologici, si evincono chiaramente la capacità dilavante sia del vento che della pioggia.

Al fine puramente descrittivo l'andamento dei conteggi della classe 0,3  $\mu\text{m}$  è stato ricostruito a posteriori utilizzando una funzione che tiene conto di più componenti. La buona concordanza tra il modello adottato e l'andamento effettivo avvalorava l'interpretazione sulla presenza di una linea di base che descrive il fenomeno di accumulo giornaliero e di una componente di ciclicità giornaliera che è ben rappresentata dal giorno tipo. Studiando le correlazioni tra gli andamenti delle diverse frazioni granulometriche si deduce che queste componenti attribuite alla classe 0,3 sono presenti

anche nelle altre frazioni in proporzioni diverse a seconda della grandezza delle particelle.

## Bibliografia

- [1] R. Vecchi, V. Bernardoni, P. Fermo, A. Piazzalunga, G. Valli *Il PM10 a Milano: risultati di una campagna di misura invernale, Atti del convegno PM2016* <http://hdl.handle.net/11311/1039026>
- [2] Lollobrigida, F.; Sacco, M.; Maringo, M.; Pace, M.; Romeo, F.; Bussi, C.; Castrogiovanni, G. *Determinazione della Concentrazione Numerica di Particelle Aerodisperse in un Sito Urbano da Traffico della Città di Torino. Arpa Piemonte, 2008. Available online: <http://www.arpa.piemonte.gov.it/arpa-comunica/events/eventi-2009/atti-convegno-agenti-fisici/lollobrigida1.pdf> (accessed on marzo 2018).*
- [3] Marconi, A., Cattani, G., Cusano, M., Ferdinandi, M., Inglessis, M., Viviano, G., e Settimo, G., *Two-years of fine and ultrafine particles measurements in Rome, Italy, 2007*, Journal of Toxicology and Environmental Health, Part A, 70, 213-221.
- [4] Beccaceci, S., Gianelle, V., Mognaschi, G., e Vecchi, *A study on atmospheric aerosol particles size distribution in several sites in Lombardia Region by an Optical Particle Counter*, 2008, in Chemical Engineering Transaction
- [5] **"Supersito Project: Physical and chemical characteristics of atmospheric aerosols"**, Bacco. D., Ferrari S., Maccone C., Ricciardelli I., Scotto F., Trentini A., Bonafè G., Zauli S., Zigola C., Facchini M.C., Gilardoni S., Pietrogrande M.C., Poluzzi V., 28 Annual Conference International Society for Environmental Epidemiology; Rome, 1-4 Sep 2016.
- [6] **"Particle number concentrations and size distributions in Po Valley (Northern Italy)"**, A. Trentini, G. Lonati, F. Scotto, S. Ozgen, D. Bacco, I. Ricciardelli, J. Joutsensaari, S. Patti, S. Ferrari, A. Laaksonen, and V. Poluzzi. Milano 6-11 Settembre 2015, EAC2015.