

Progetto Regionale PATOS3

Linea di ricerca 1: Source Apportionment Capannori

Misure di materiale particolato fine PM10 con caratterizzazione chimica e applicazione della metodologia statistica PMF (Positive Matrix Factorization) per l'identificazione delle principali sorgenti di emissione presso la stazione di rilevamento di qualità dell'aria LUCapannori.

Indice

| | |
|---|-----------|
| 1. PREMESSA | 3 |
| 2. METODOLOGIE DI RACCOLTA E ANALISI DEL PARTICOLATO | 4 |
| 2.1 Campionamento | 4 |
| 2.2 Analisi gravimetrica e compositonale dei campioni raccolti | 6 |
| 2.3 Elaborazione dei dati | 6 |
| 3. RISULTATI | 8 |
| 3.1 Concentrazioni in massa del PM10 | 8 |
| 3.2 Composizione chimica del PM10 | 9 |
| 3.3 Elementi normati | 12 |
| 3.4 Individuazione delle sorgenti | 12 |
| 3.5 Dati ad elevata risoluzione temporale | 17 |
| APPENDICE | 20 |

1. PREMESSA

Questo progetto è focalizzato sullo studio della composizione chimica e delle sorgenti del particolato atmosferico (frazione PM10) nell'area di Capannori-Lucca.

Le informazioni sulle sorgenti sono fondamentali per elaborare corrette ed efficaci strategie di abbattimento dell'inquinamento tramite azioni sulle emissioni non naturali di maggiore importanza per i quantitativi e/o per la pericolosità degli inquinanti emessi.

Nel dettaglio, la metodologia scientifica adottata è basata essenzialmente su tre azioni:

- Raccolta del particolato con diversi tipi di campionatori, in modo da ottenere campioni di PM10 su base giornaliera per un lungo periodo e campioni a elevata risoluzione temporale (oraria).
- Analisi dei campioni raccolti con diverse tecniche chimiche e fisiche in modo da ricostruire la composizione dell'aerosol in modo il più possibile esaustivo, determinando la concentrazione di oltre 70 specie elementali/chimiche, fra cui quelle di inquinanti maggiormente dannosi per la salute e quelle di importanti traccianti delle diverse sorgenti del particolato.
- Elaborazione di questi dati tramite opportuni metodi di analisi multivariata in modo da identificare le principali sorgenti e di quantificarne il contributo. In particolare, è stato scelto il modello a recettore Positive Matrix Factorization (PMF), seguendo un approccio in linea con quanto riportato nel rapporto tecnico “European Guide on Air Pollution Source Apportionment with Receptor Models”, recentemente pubblicato dal Joint Research Center (http://sourceapportionment.jrc.ec.europa.eu/Docu/EU_guide_on_SA.pdf).

Il campionamento è iniziato il 22 Marzo 2019 ed è terminato il 7 Aprile 2020, ottenendo così un intero anno di dati.

2. METODOLOGIE DI RACCOLTA E ANALISI DEL PARTICOLATO

2.1 Campionamento

Il particolato è stato raccolto presso il sito di Capannori (LU), in prossimità della centralina ARPAT (Figura 2.1). La campagna di campionamento è iniziata il 22/03/2019 ed è terminata il 07/04/2020, permettendo di avere così un'intera annualità di dati.

Figura 2.1 – Foto del sito di campionamento, dove è possibile osservare sia il campionatore sequenziale (foto sulla sinistra) che il mezzo mobile utilizzato per i campionamenti orari.

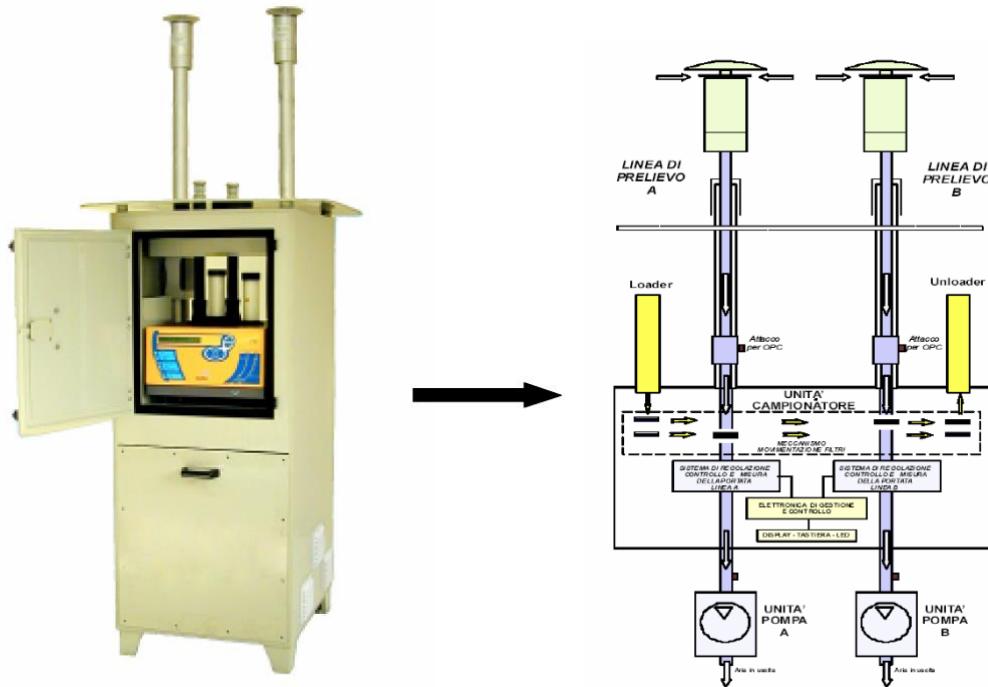


Campionamento su base giornaliera

Il PM10 è stata raccolto, su base giornaliera, a giorni alterni, simultaneamente su filtri in Fibra di Quarzo e su membrane in Teflon (diametro 47 mm), utilizzando il campionatore a basso volume FAI Instruments Mod. Hydra Dual Sampler (Figura 2.2), avente un sistema automatico e sequenziale di campionamento che opera contemporaneamente su due linee di prelievo. Le teste di prelievo impiegate sono a norma EN12341 (portata 2.3 m³/h) e funzionano in base al principio dell'impatto inerziale.

I campionamenti sono stati intensificati (tutti i giorni anziché a giorni alterni) nei periodi in cui era previsto l'arrivo di polveri sahariane, identificati grazie alle previsioni modellistiche effettuate da LaMMA. Questo permette uno studio più efficace dell'evoluzione di questi episodi, la cui durata è spesso di pochi giorni.

Figura 2.2 – Il campionatore FAI-Hydra (foto e rappresentazione schematica)



Campionamento ad elevata risoluzione temporale

Nella maggior parte dei casi la composizione del particolato viene studiata su base giornaliera. Tuttavia l'impatto di molte sorgenti di aerosol può variare su una scala temporale di poche ore o anche meno (si pensi a brevi emissioni industriali o ai “picchi” del traffico nelle ore di punta). Di conseguenza, lo studio degli andamenti delle concentrazioni degli elementi/composti con alta risoluzione temporale può essere di grande aiuto nell’identificazione delle sorgenti.

Per questo motivo, sono state effettuate, per periodi più limitati, delle analisi del particolato ad elevata risoluzione temporale, utilizzando un analizzatore termo-ottico “Sunset” ed un particolare campionatore continuo a due stadi del tipo ‘Streaker’ (PIXE International Corporation), entrambi installati sul mezzo mobile Unifi. L’analizzatore permette di ottenere le concentrazioni di carbonio totale (TC), organico (OC) ed elementale (EC) con risoluzione temporale bi-oraria. Il campionatore Streaker raccoglie le frazioni fine (diametro aerodinamico $D_{ae} < 2.5 \mu\text{m}$) e grossa ($2.5 < D_{ae} < 10 \mu\text{m}$) del particolato, simultaneamente su due supporti, mantenuti in continua rotazione, producendo dei depositi a forma di strisce (streaks) circolari: l’analisi di questi depositi, “punto per punto”, tramite la tecnica PIXE, permette di determinare le concentrazioni di tutti gli elementi con numero atomico $Z > 10$ con risoluzione temporale oraria.

A Capannori, il particolato è stato analizzato con alta risoluzione temporale sia durante l'estate (dal 2 al 19 luglio 2019) che durante l'inverno (dal 10 al 30 dicembre 2019), in modo da evidenziare eventuali diversità dovute a cambiamenti nelle emissioni e/o alla meteorologia.

2.2 Analisi gravimetrica e compositonale dei campioni raccolti

Campioni giornalieri

I filtri in Teflon sono stati pesati con una bilancia analitica (sensibilità pari a ± 0.001 mg), dopo un periodo di condizionamento di 24 ore a temperatura e umidità controllate (temperatura 20 ± 1 °C, umidità relativa $50 \pm 5\%$). Un cannoncino elettronico è stato inoltre utilizzato per eliminare effetti elettrostatici. La concentrazione del PM10, espressa in $\mu\text{g}/\text{m}^3$, è stata calcolata dividendo la massa del particolato raccolto per il volume di aria campionata nelle 24 ore.

Dopo la pesata, i filtri in Teflon sono stati tagliati in tre parti (Figura 2.3). Su una metà del filtro è stata condotta l'analisi elementale con la tecnica PIXE (*Particle Induced X-ray Emission*) per la determinazione di tutti gli elementi a numero atomico $Z > 10$. Dato che questa tecnica non è distruttiva, la parte dei filtri analizzata con tale metodologia è stata conservata per possibili ulteriori indagini. Sui due rimanenti quarti di ogni filtro sono state effettuate analisi del contenuto ionico solubile mediante cromatografia ionica e del contenuto di selezionati metalli con spettrofotometria di emissione atomica al plasma accoppiato induuttivamente (ICP-AES). Le analisi di cromatografia ionica, condotte su estratto acquoso di $\frac{1}{4}$ di ogni filtro di Teflon, hanno permesso la determinazione di anioni inorganici, cationi inorganici e selezionati anioni organici. Le analisi dei metalli sono state realizzate secondo le procedure previste dalla vigente normativa UNI EN-14902 (ICP-AES - attacco di $\frac{1}{4}$ di filtro con $\text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{O}_2$ in forno a micro-onde).

Una piccola porzione del filtro in Quarzo è stata analizzata per la determinazione della concentrazione del carbonio totale (TC, Total Carbon), elementale (EC, Elemental Carbon) e organico (OC, Organic Carbon) con analizzatore termo-ottico Sunset. La rimanente parte di filtro è stata utilizzata per la misura del Levoglucosano, importante marker della combustione di biomasse.

Campioni a risoluzione temporale oraria

I campioni raccolti con il campionatore Streaker sono stati analizzati con la tecnica PIXE per ottenere le concentrazioni degli elementi a $Z>10$ con suddivisione in classi dimensionali e con elevata risoluzione temporale (1h). Le concentrazioni di TC, OC ed EC vengono fornite in tempo reale dall'analizzatore termo-ottico Sunset.

2.3 Elaborazione dei dati

L'analisi di tutti i campioni con diverse tecniche chimiche e fisiche ha permesso di ottenere una caratterizzazione dettagliata della composizione del PM10.

In particolare, è stato possibile ottenere una chiusura della massa di particolato, ovvero ricostruire una frazione di massa prossima all'unità (rispetto alla massa totale determinata per via gravimetrica) dalla somma dei contributi in peso delle specie chimiche misurate e delle principali componenti maggioritarie che compongono il particolato atmosferico:

- **POM** (Particulate Organic Matter): composti organici del carbonio;
- **EC** (carbonio elementare): carbonio in forma grafitica;

- **Secondari inorganici:** somma di Solfati, Nitrati e Ammonio;
- **Crostale:** componente minerale prodotta dall'erosione della crosta terrestre;
- **Marino:** aerosol prodotto dallo spray marino e trasportato a lunga distanza.

Il POM è stato calcolato a partire dalla concentrazione misurata del carbonio organico (OC), tramite l'applicazione di fattori moltiplicativi che permettono di tenere conto degli altri elementi leggeri (H, O e N) presenti nel particolato organico, secondo quanto riportato in letteratura per le diverse tipologie di sito. La componente crostale è stata ottenuta come somma delle concentrazioni degli elementi tipici della crosta terrestre considerati come ossidi (T.A. Cahill, Aerosol Collection and Compositional Analysis for Improve, NPS Annual Report 1995).

Notiamo che, mentre le componenti EC, Crostale e Marino sono esclusivamente di origine primaria (vengono cioè prodotte direttamente in forma particellare), il POM può essere sia primario che secondario.

Identificazione delle sorgenti tramite utilizzo di modelli a recettore

Poiché le particelle di aerosol mantengono, entro certi limiti, la composizione chimica caratteristica della sorgente che le ha prodotte, la rivelazione degli elementi e dei composti che costituiscono il particolato, realizzata su lunghe serie temporali, permette di ottenere importanti informazioni sulle sorgenti sia naturali che antropiche.

Per ottenere questi risultati, i dati ricavati dal campionamento e dall'analisi chimico-fisica di numerosi campioni di PM (raccolti in siti rappresentativi e su lunghi intervalli temporali) devono essere elaborati tramite opportune tecniche di analisi multivariata, dette “modelli a recettore”.

Mentre i modelli “orientati alla sorgente” calcolano le concentrazioni degli inquinanti in atmosfera a partire dalla meteorologia e dai dati noti sulle emissioni, i modelli “orientati al recettore” determinano il contributo delle sorgenti a partire dalle concentrazioni realmente misurate nel sito di campionamento (detto appunto sito “recettore”). La composizione del particolato campionato è considerata come una combinazione delle composizioni del particolato emesso dalle diverse sorgenti, con pesi che cambiano da campione a campione, per tener conto del diverso impatto che le sorgenti possono avere nel tempo. In altri termini, le concentrazioni misurate dei diversi elementi/composti sono interpretate come somma di diversi “fattori”, i cui “pesi/contributi” variano da campione a campione, mentre il loro “profilo chimico” viene mantenuto costante. Le informazioni note sulle sorgenti possono essere in alcuni casi inserite nel modello (per esempio è possibile mettere dei vincoli sul profilo chimico dei fattori) insieme ai dati misurati di composizione del PM. Il modello fornisce in uscita i profili ed i pesi dei diversi fattori: i primi consentono di interpretare i fattori in termini di reali sorgenti presenti sul territorio, i secondi permettono di determinarne l'impatto.

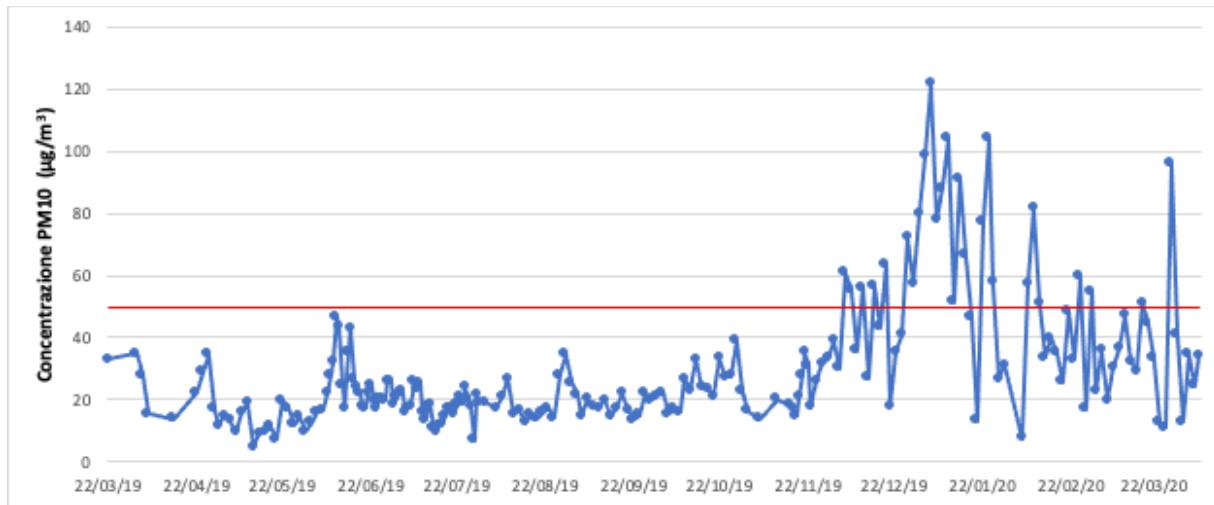
I dati raccolti in questa campagna sono stati analizzati tramite **PMF (Positive Matrix Factorisation)**, il modello attualmente più accreditato ed utilizzato a livello internazionale (ad es. da EPA, l'agenzia per la protezione dell'ambiente degli Stati Uniti), seguendo un approccio in linea con quanto riportato nel rapporto tecnico “European Guide on Air Pollution Source Apportionment with Receptor Models”, recentemente pubblicato dal Joint Research Center (http://sourceapportionment.jrc.ec.europa.eu/Docu/EU_guide_on_SA.pdf).

3. RISULTATI

3.1 Concentrazioni in massa del PM10

In Figura 3.1 sono mostrati gli andamenti temporali delle concentrazioni giornaliere del PM10 dal 22/03/2019 al 07/04/2020, per un totale di 204 campioni raccolti e pesati.

Figura 3.1 – Concentrazioni giornaliere di PM10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)



In tabella 3.1 sono riportate la concentrazione media e la deviazione standard del PM10, relative allo stesso periodo di campionamento di cui sopra, e nelle diverse stagioni.

Tabella 3.1 – Media e deviazione standard della concentrazione del PM10

| | Concentrazione media ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) | Deviazione standard ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) |
|------------------------------|--|---|
| Totale (204 campioni) | 28.9 | 20.1 |
| Inverno (43 campioni) | 52.0 | 27.1 |
| Primavera (51 campioni) | 23.0 | 14.8 |
| Estate (65 campioni) | 18.8 | 4.8 |
| Autunno (45 campioni) | 28.3 | 13.1 |

Durante questo periodo, la concentrazione media del PM10 è risultata 28.9 µg/m³, con valori decisamente più alti durante il periodo freddo. La concentrazione media invernale risulta infatti essere più del doppio delle medie estiva e primaverile.

Come è possibile osservare dal grafico in Fig. 3.1, nella stagione invernale ci sono 24 superamenti del valore limite di 50 µg/m³, con un valore massimo di 120 µg/m³. Nelle altre stagioni invece il valore limite non viene mai superato ed i valori di PM10 si mantengono prevalentemente fra i 10 e i 30 µg/m³, con l'eccezione di un unico evento il 28/03/2020. Questo episodio è legato al trasporto di polveri dalla regione del Mar Caspio, come evidenziato in diversi studi. Nel periodo freddo, un ruolo fondamentale per l'accumulo di inquinanti lo giocano le condizioni meteorologiche di maggiore stabilità atmosferica, tipiche dell'inverno, con ridotta altezza dello strato di rimescolamento e scarsa dispersione degli inquinanti stessi. Unitamente a ciò può contribuire ad un aumento delle concentrazioni di PM10 la presenza di sorgenti attive solamente durante la stagione fredda, come ad esempio le emissioni dovute ai riscaldamenti domestici.

3.2 Composizione chimica del PM10

Vengono di seguito riportati i risultati ottenuti dall'analisi della composizione chimica dei campioni giornalieri raccolti.

In tabella 3.2 sono riportate le concentrazioni medie delle componenti maggioritarie presenti nel PM10 (particolato organico, carbonio elementale, secondari inorganici, crostale e marino) ed i loro contributi percentuali alla concentrazione del PM10. Nelle Figure 3.2-3.3 sono riportate le medie dei contributi assoluti e percentuali di tali componenti nelle quattro stagioni (i relativi dati numerici sono riportati in Appendice nelle Tabelle 1 e 2).

Tabella 3.2 – Concentrazioni medie e contributi percentuali delle componenti maggioritarie del PM10

| | Concentrazioni medie (µg/m ³) | Percentuale sulla massa del PM10 (%) |
|----------------------|--|---|
| POM | 16.0 | 55.2 |
| EC | 1.1 | 3.9 |
| SECONDARI INORGANICI | 4.2 | 14.4 |
| CROSTALE | 3.4 | 11.9 |
| MARINO | 1.4 | 3.9 |
| ALTRO | 2.8 | 9.8 |

Figura 3.2 – Contributi medi assoluti ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) delle componenti maggioritarie del PM10 nelle diverse stagioni.

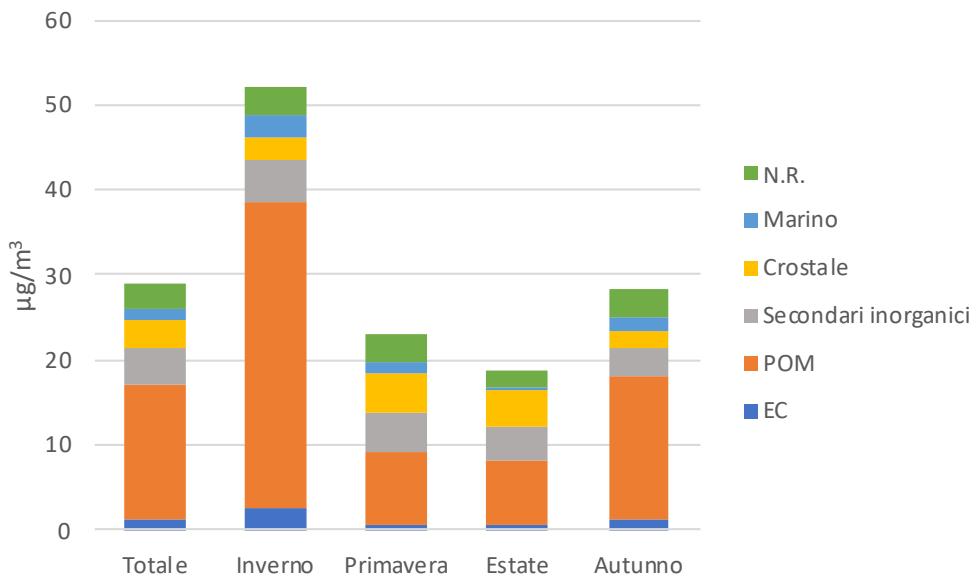
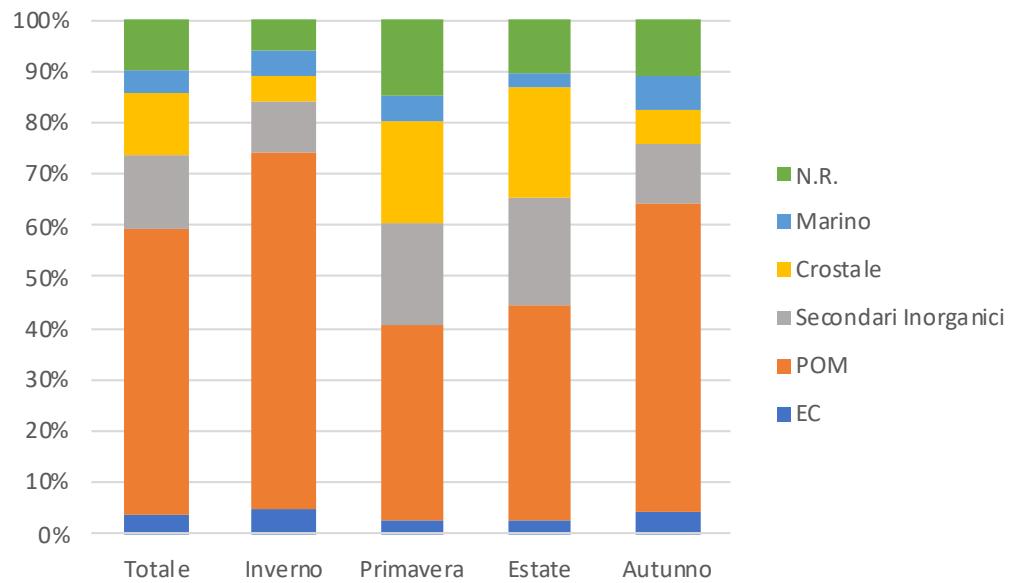


Figura 3.3 – Contributi percentuali delle componenti maggioritarie del PM10 nelle diverse stagioni.



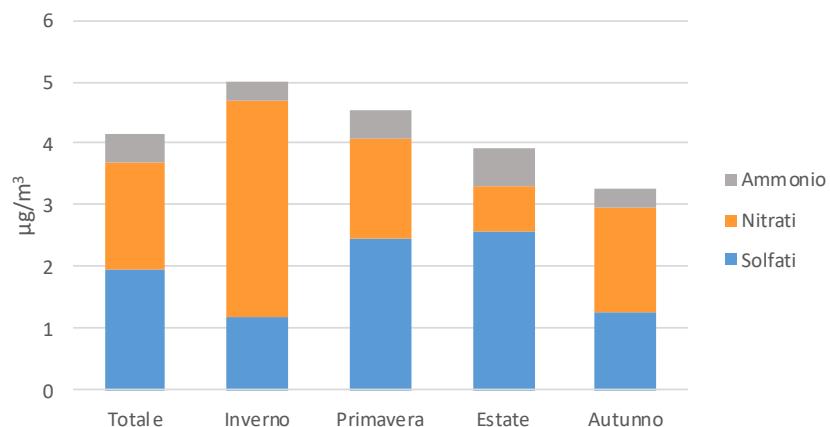
I dati riportati nelle tabelle e nei grafici indicano la componente carboniosa (POM + EC) come quella nettamente maggioritaria, seguita dai secondari inorganici e dalla componente crostale, mentre il contributo marino risulta decisamente minoritario.

La percentuale di POM è particolarmente elevata nel periodo freddo (oltre il 70 % in inverno), quando anche i valori di PM10 sono maggiori. Questo comportamento è tipico degli inquinanti prodotti da sorgenti specifiche invernali, come il riscaldamento domestico, ma anche più in generale degli inquinanti prodotti da sorgenti locali in zone climatiche dove l'inverno è caratterizzato da condizioni di scarsa dispersione, come nel caso dell'entroterra Toscano. Sia le concentrazioni di POM che il loro contributo percentuale diminuiscono nella stagione calda, quando invece aumentano la componente crostale ed i secondari inorganici. L'alto valore del rapporto OC/EC (in media circa 9), è in effetti sintomatico di un forte contributo di sorgenti non legate al traffico (caratterizzato da rapporti OC/EC prossimi ad 1), ma piuttosto alla combustione di biomasse.

La componente crostale contribuisce circa il doppio in primavera-estate rispetto all'autunno-inverno. Calcolata a partire dalle concentrazioni degli elementi caratteristici del suolo, questa componente rappresenta sia la polvere crostale di origine locale che quella derivante da un trasporto a lungo raggio da regioni desertiche, quali il Sahara.

Per quanto riguarda i secondari inorganici, è interessante osservare le variazioni stagionali dei singoli costituenti. Per questo, in Figura 3.4 sono riportate le concentrazioni di solfati, nitrati e ammonio, mediate nelle diverse stagioni e per l'intero periodo di campionamento (i relativi valori numerici sono riportati in Appendice in Tabella 3). Come appare evidente, i nitrati mostrano valori più elevati in inverno, mentre spostandosi verso le stagioni più calde sono i solfati ad assumere le concentrazioni più alte.

Figura 3.4 – Concentrazioni medie ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) dei costituenti dell'aerosol secondario inorganico (ammonio, nitrati e solfati) nelle diverse stagioni e in tutto il periodo di campionamento.



La stagionalità dei nitrati può essere spiegata da un aumento delle emissioni dei relativi precursori gassosi in inverno (per la presenza del riscaldamento domestico o per un aumento del traffico veicolare) ma anche dalle condizioni metereologiche (minore dispersione degli inquinanti di tipo locale in inverno e maggiore volatilità di questi composti in estate). Come è noto, i nitrati sono infatti prodotti a seguito dell'ossidazione atmosferica degli ossidi di azoto, i quali sono prevalentemente emessi in processi di combustione locale legati al traffico e al riscaldamento.

Al contrario, le migliori condizioni di circolazione atmosferica e la maggiore efficienza di ossidazione fotochimica nei periodi più caldi, possono spiegare l'aumento dei solfati in primavera ed estate. Come è noto, si tratta infatti di composti secondari che si formano in atmosfera a partire dal biossido di zolfo (a sua volta prevalentemente emesso da impianti termo-elettrici per la produzione di energia) e che subiscono una veloce distribuzione sul territorio regionale. Le migliori condizioni di circolazione atmosferica su scala regionale e la maggiore efficienza di ossidazione fotochimica di SO₂ a solfato, possono quindi spiegare l'aumento dei solfati nel periodo più caldo.

3.3 Elementi normati

In tabella 3.3 sono riportati i valori medi dei metalli “normati” Pb, As, Cd e Ni, a confronto con i valori limite di legge (normativa UNI EN 14902 del 2005). Come si può notare, i livelli misurati risultano ampiamente al di sotto dei valori limite.

Tabella 3.3 - Concentrazioni medie e deviazioni standard dei metalli “normati”

| | Media (ng/m ³) | Deviazione standard (ng/m ³) | Valori limite(VL) |
|---------------------|-------------------------------|--|----------------------|
| Pb (ICP-AES) | 4.1 | 5.2 | 500 ng/mc |
| Ni (PIXE) | 1.4 | 0.8 | 20 ng/mc |
| As (ICP-AES) | 0.77 | 0.88 | 6 ng/mc |
| Cd (ICP-AES) | 0.22 | 0.28 | 5 ng/mc |

3.4 Identificazione delle sorgenti

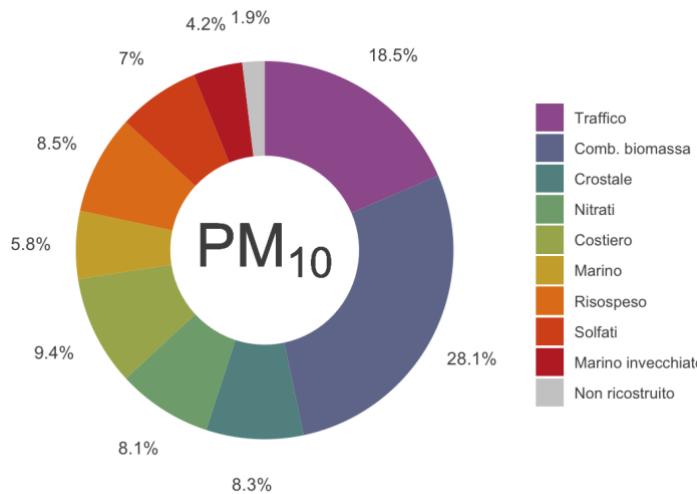
L'applicazione della tecnica di analisi multivariata PMF ha permesso di identificare le principali sorgenti del PM10. Questi risultati sono stati ottenuti utilizzando il codice EPA PMF5.0. I dati in ingresso sono stati trattati secondo la procedura descritta in Polissar et al. (Journal of Geophysical Research 1998); le uscite del programma sono state analizzate al variare del numero dei fattori. La matrice dei profili e quella dei contributi sono state normalizzate utilizzando le concentrazioni in massa del PM10. I fattori sono stati quindi interpretati in termini di categorie di sorgenti sulla base degli elementi traccianti e dei profili.

Sono state identificate le seguenti sorgenti: “traffico”, “combustione di biomasse”, ”crostale”, “nitrati”, “costiero”, “marino”, “risospeso”, “solfati”, “marino invecchiato”. Le caratteristiche e il contributo di queste sorgenti sono descritti in dettaglio nel seguito.

I risultati del “source apportionment” sono rappresentati nelle Figure 3.5-3.8 (i relativi valori numerici sono riportati in Appendice nelle Tabelle 4 e 5). In figura 3.5 sono riportati i contributi percentuali delle sorgenti identificate, mediati su tutto il periodo di campionamento. Fra i giorni

di campionamento di questa campagna di studio i casi di superamento sono stati 24: in Figura 3.6 sono riportati i contributi percentuali delle sorgenti identificate mediante sui giorni in cui c'è stato superamento del limite di $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ sulla concentrazione del PM10. Nelle figure 3.7 e 3.8 sono infine riportati gli andamenti temporali dei contributi delle diverse sorgenti.

**Figura 3.5 – Contributi percentuali delle diverse sorgenti al PM10
(media su tutto il periodo di campionamento).**



**Figura 3.6 – Contributi percentuali delle diverse sorgenti al PM10
nei giorni in cui si ha superamento del livello di $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$**

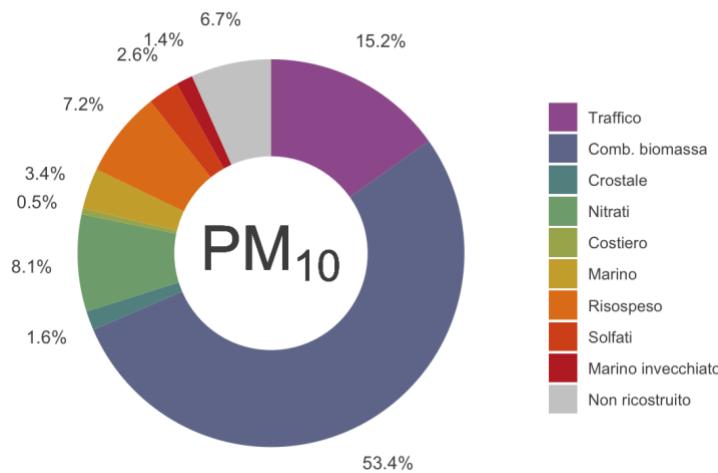


Figura 3.7 – Andamento temporale dei contributi delle diverse sorgenti al PM10

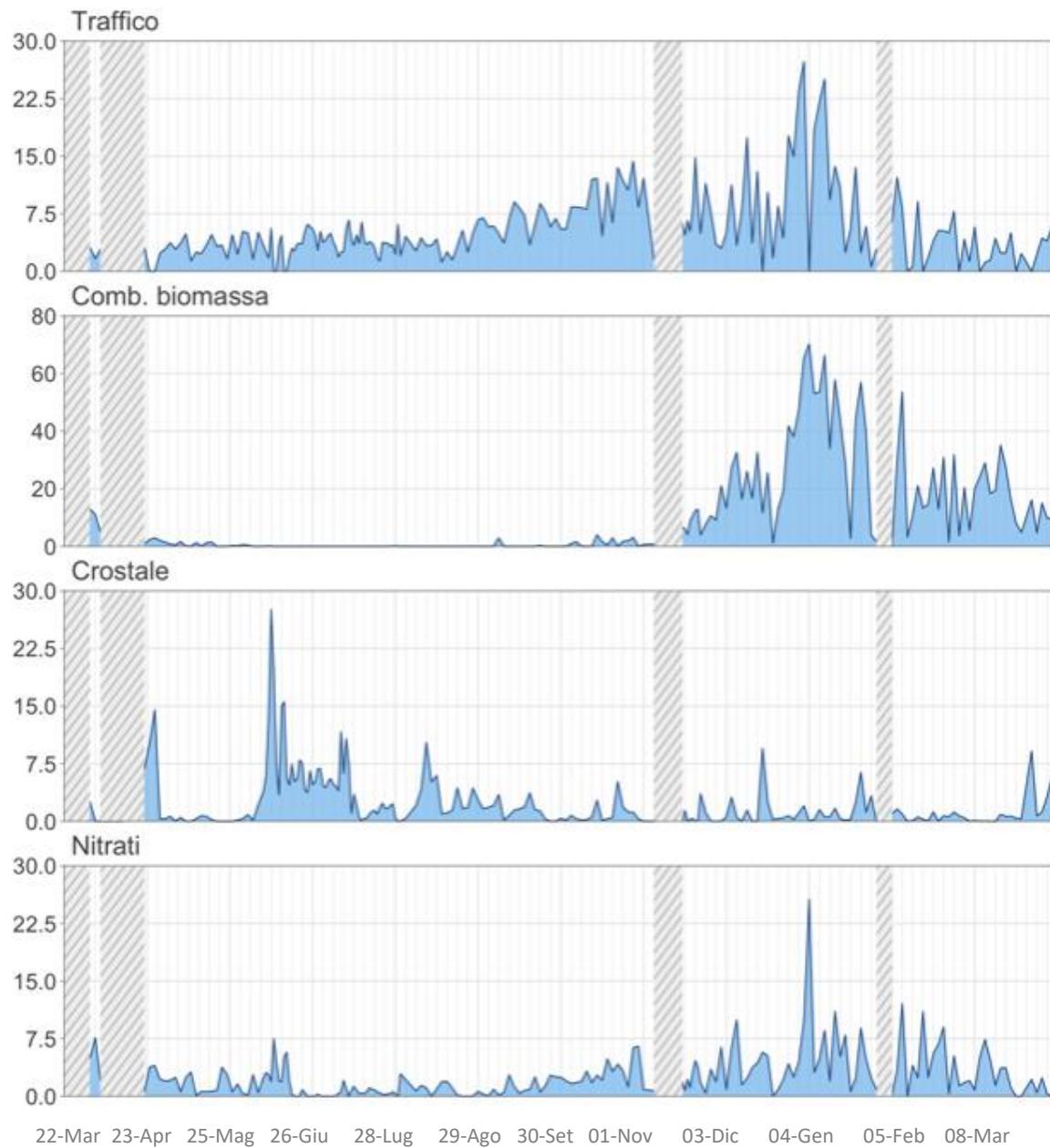
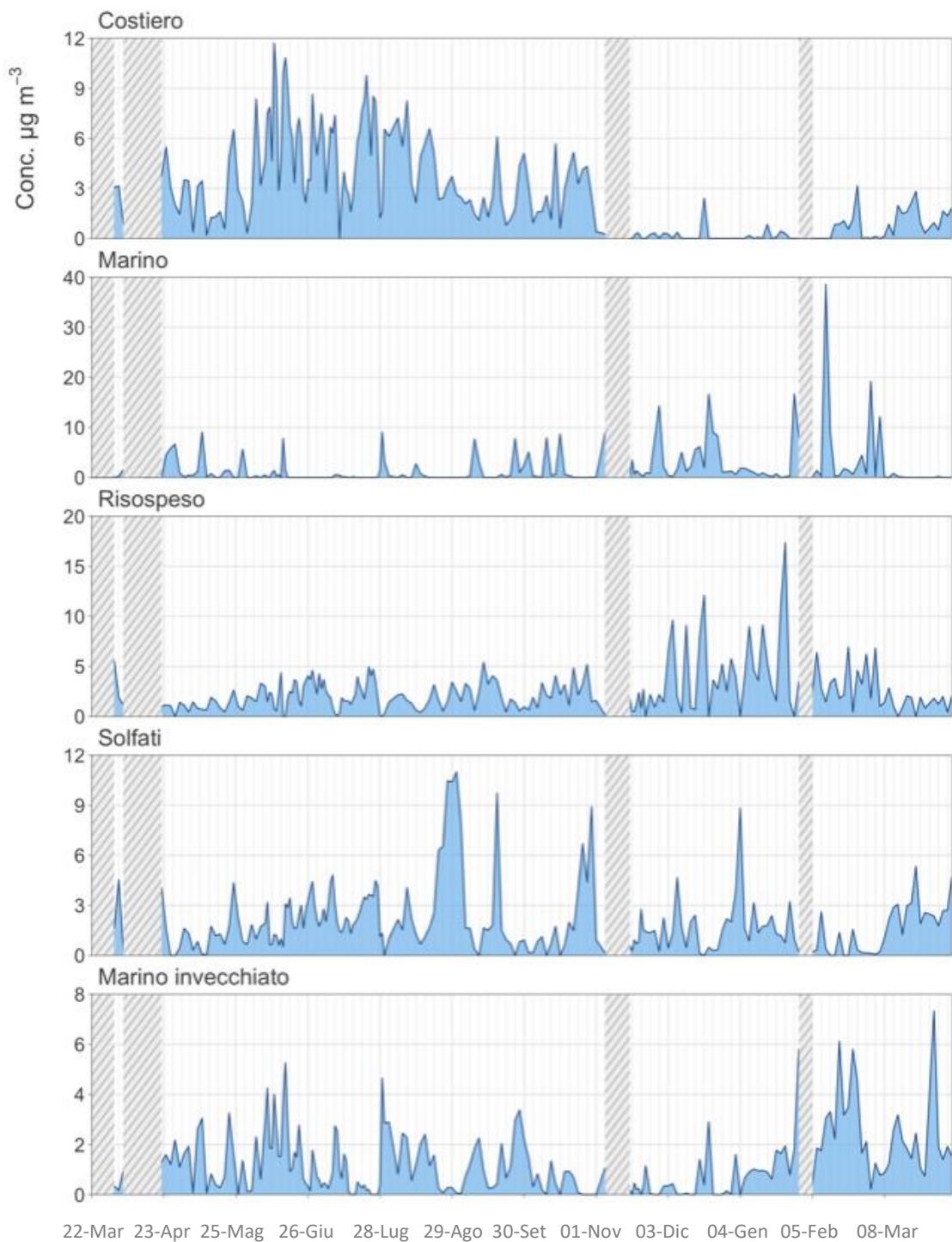


Figura 3.8 – Andamento temporale dei contributi delle diverse sorgenti al PM10



La sorgente legata al traffico veicolare, composta prevalentemente da OC ed EC (e caratterizzata da specifici elementi traccianti, quali Fe, Cu, Zn, Ba e Mo), dà un contributo medio di circa 5

$\mu\text{g}/\text{m}^3$ (corrispondente al 19% del PM10). Il contributo è massimo nel periodo autunno-inverno quando si ha stabilità atmosferica, ma, come atteso, è presente durante l'intera campagna.

La sorgente “combustione di biomasse”, composta principalmente da OC ed EC (e caratterizzata da traccianti quali levoglucosano, K, e Pb), dà un contributo medio alla massa del PM10 di circa 8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (28% del PM10), ma questo contributo sale al 53% durante i giorni di superamento (fig. 3.11), con valori di picco che raggiungono i 70 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. L’andamento temporale è caratterizzato da una fortissima stagionalità, con valori molto elevati durante la stagione fredda e che tendono a zero durante l'estate.

Il fattore “nitrati”, composto principalmente da nitrati, ammonio e composti organici (POM secondario), è da associarsi ad una componente secondaria di origine prevalentemente locale. I nitrati sono infatti principalmente prodotti dall’ossidazione in atmosfera degli ossidi di azoto, a loro volta prodotti prevalentemente da processi di combustione locali, fra cui principalmente il traffico, ma anche il riscaldamento e la combustione di biomasse. L’andamento temporale è caratterizzato da una forte stagionalità, con valori più alti da dicembre a marzo (fino ad un massimo di circa 26 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), e molto bassi in estate. Come già osservato nel paragrafo 3.2 a proposito dei composti secondari, questa stagionalità può essere spiegata sia dalla presenza del riscaldamento durante i mesi più freddi sia dalle condizioni meteorologiche.

Il fattore “solfati”, composto principalmente da solfato e ammonio, ma, in minor misura, anche da composti organici (POM secondario), è da associarsi alla componente secondaria regionale del particolato, principalmente legata ai solfati. Come osservato nel paragrafo 3.2, i solfati sono infatti dei composti secondari che si formano in atmosfera a partire dal biossido di zolfo e subiscono una veloce distribuzione sul territorio regionale. L’andamento stagionale di questa sorgente è caratterizzato da valori più alti in estate (per i motivi spiegati nel paragrafo 3.2). Il contributo medio è di 2.0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (corrispondente al 7 % del PM10); notiamo che il contributo percentuale di questa sorgente si dimezza nei giorni di maggior inquinamento.

La sorgente denominata “crostale”, composta principalmente dagli elementi tipici della crosta terrestre (silicio, alluminio, calcio, titanio, stronzio), può essere interpretata come una sorgente dovuta al trasporto di particolato minerale di origine naturale. Coerentemente con questa interpretazione, il suo andamento temporale presenta picchi in corrispondenza di condizioni metereologiche favorevoli al trasporto di polveri dalla zona Sahariana. Questa sorgente contribuisce in media per circa 2.4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (corrispondente all’8 % del PM10). Tale contributo è nettamente superiore nel periodo primaverile-estivo, con picchi superiori ai 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Il fattore “risospeso” è anch’esso formato da tipici elementi crostali, ma risulta sensibilmente arricchito in Ca rispetto alla composizione media della crosta terrestre, e “contaminato” con EC, OC e solfati. E’ stato quindi interpretato come un fattore legato alla risospensione di polveri locali, arricchite, rispetto ad un particolato minerale di origine naturale, con componenti dovute all’usura degli edifici, del manto stradale, di freni e pneumatici. Il suo contributo medio è di 2.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (corrispondente al 9 % del PM10).

Il fattore denominato “costiero”, composto principalmente da OC e solfati, è caratterizzato da traccianti come l’MSA, prodotto secondario dell’attività biogenica marina, il vanadio e il nichel, tipici marker delle combustioni di olii pesanti, inclusi i trasporti navali. L’andamento temporale mostra una forte stagionalità, con valori più alti in estate. Per questi motivi è stato interpretato come un fattore dovuto al trasporto di particolato atmosferico dalla zona costiera, che include sia

una componente marina naturale che una componente antropica legata alle attività navali. Il suo contributo medio è di $2.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (corrispondente al 9 % del PM10), con valori più alti in primavera-estate (in media circa $4 \mu\text{g}/\text{m}^3$, con picchi di $12 \mu\text{g}/\text{m}^3$), mentre risulta essere 10 volte minore in inverno.

Il fattore “marino” è caratterizzato principalmente da Na, Mg e Cl, con rapporti tipici del sale marino. Si tratta quindi di una componente di origine naturale, trasportata dal mare verso l’interno della regione dal vento. Il contributo medio è di $1.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (corrispondente al 6 % del PM10). Essendo legato a fenomeni di trasporto che dipendono dalla forza e dalla direzione del vento, tale contributo ha un andamento temporale caratterizzato da valori generalmente bassi su cui si sviluppano occasionali picchi di breve durata, anche superiori ai $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

È stata identificata anche una seconda sorgente marina denominata “marino invecchiato”, caratterizzata principalmente da Na e Mg, “contaminata” da OC, nitrati e solfati, ed impoverita completamente del Cl (rispetto alla composizione del sale marino); come noto da letteratura, questo è causato da reazioni eterogenee, che avvengono durante il trasporto, fra il cloruro di sodio presente nello spray marino e gli acidi nitrico e solforico presenti in atmosfera. Il contributo medio è di $1.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (corrispondente al 4 % del PM10).

3.5 Dati ad elevata risoluzione temporale

Le due campagne di campionamento ad elevata risoluzione temporale si sono svolte in estate, dal 2 al 19 luglio 2019, e in inverno, dal 10 al 30 dicembre 2019.

In Fig. 3.9 sono riportati gli andamenti delle concentrazioni bi-orarie di EC e OC. Come si può osservare, le concentrazioni sono molto più alte durante l’inverno (si noti la diversa scala dei due grafici), con picchi di OC fino a $60-70 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Il periodo invernale è inoltre caratterizzato da un marcato andamento giornaliero con massimi ricorrenti nelle ore serali-notturne, non osservabile nella stagione estiva.

Nelle Figure 3.10-3.11 sono riportate le concentrazioni orarie di K e Fe misurate su due campioni settimanali Streaker, uno estivo ed uno invernale, e confrontate con le concentrazioni di EC-OC dello stesso periodo (9-14/07/2019 e 10-16/12/2019). Il K è un elemento presente sia nella componente crostale che nel particolato prodotto dalla combustione di biomasse; il Fe è anch’esso presente nella componente crostale, ma può essere anche dovuto alle emissioni da traffico. Come è possibile osservare, durante il periodo invernale il K risulta fortemente correlato con l’OC, ed entrambi hanno un andamento caratterizzato da picchi durante le ore serali (la notte fra il 13 e il 14 dicembre non si osserva tale incremento a causa della pioggia). Viceversa in estate gli andamenti di OC e K sono molto diversi, ed il K correla con il Fe.

Questo comportamento supporta quanto trovato dall’analisi dei campioni giornalieri, ovvero il forte impatto della combustione di biomasse per riscaldamento domestico durante il periodo invernale.

Figura 3.9 – Concentrazioni bi-orarie di EC e OC ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) durante la campagna intensiva invernale (sopra) e estiva (sotto). Le barre verticali corrispondono alle ore 24 di ogni giorno.

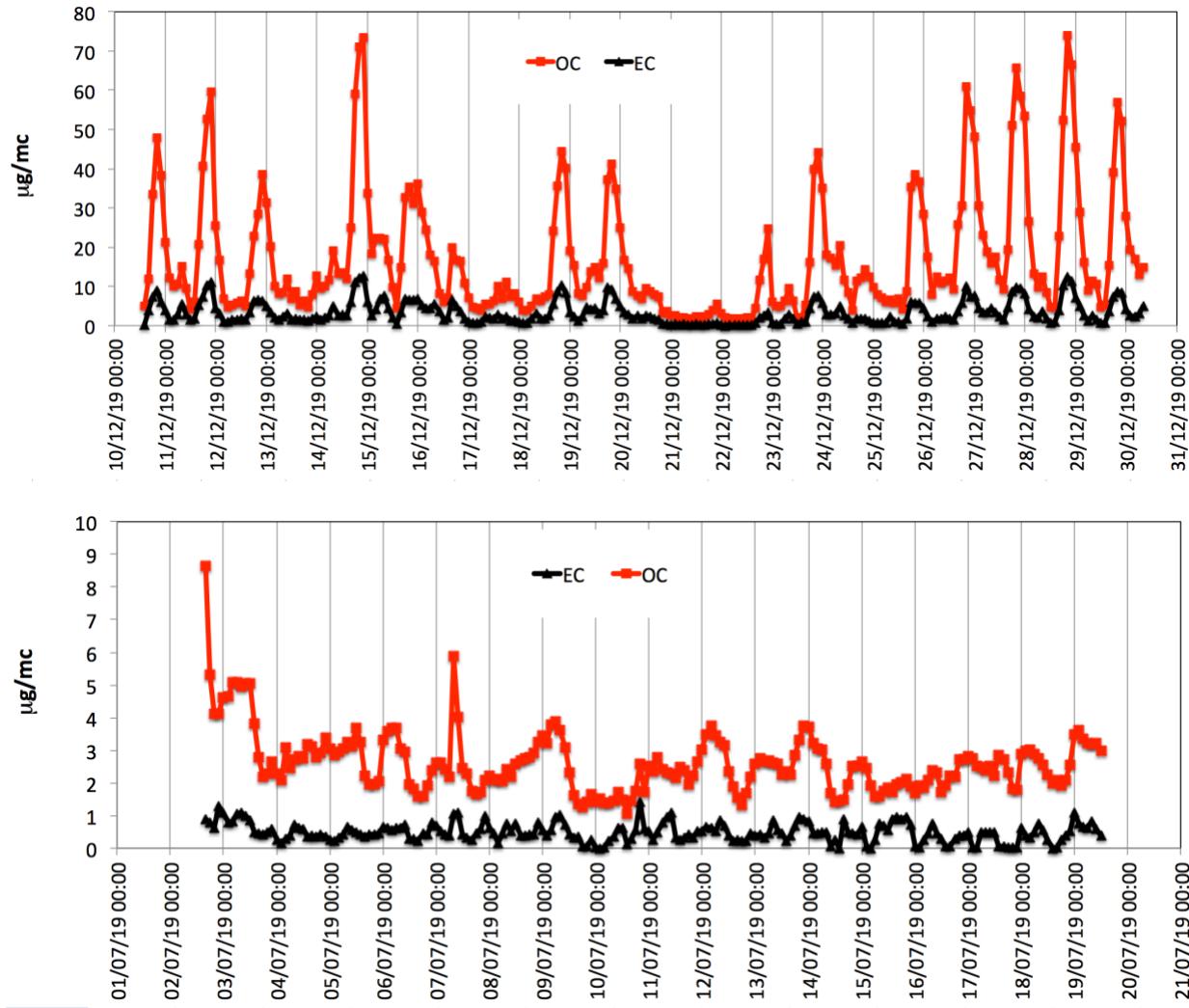


Figura 3.10 – Concentrazioni orarie di K e bi-orarie di EC e OC (sinistra) e concentrazioni orarie di Fe e K (destra) durante la campagna intensiva invernale.

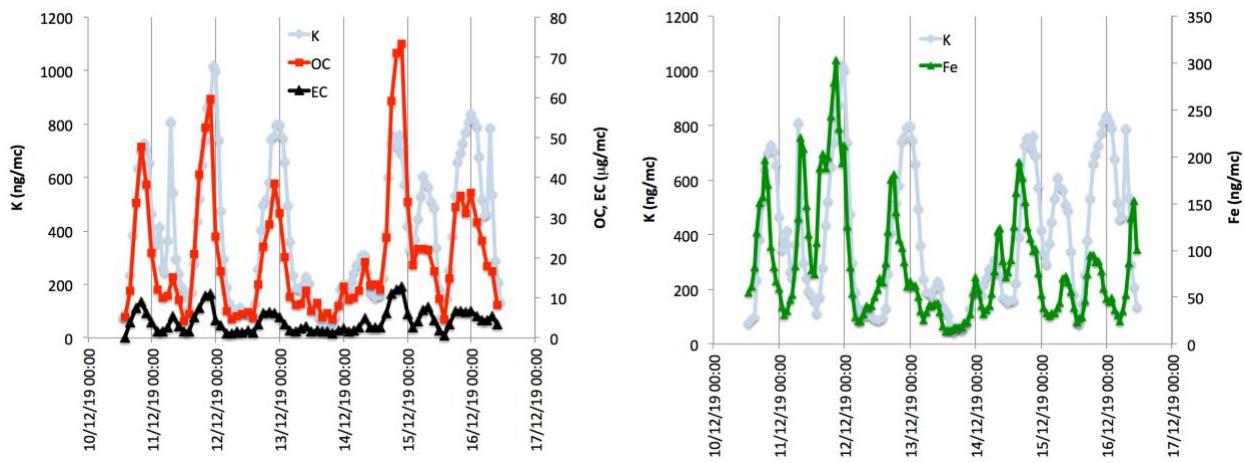
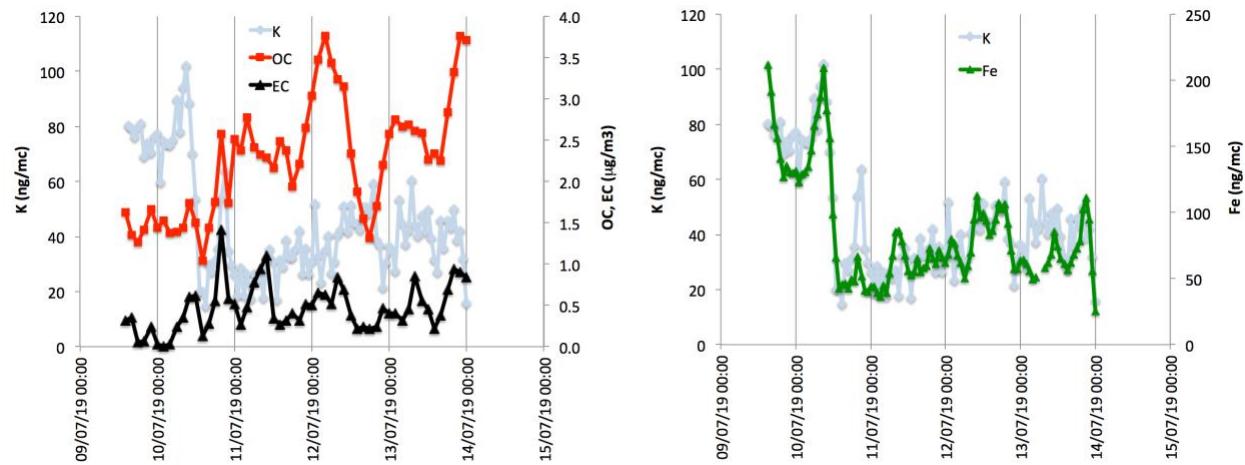


Figura 3.11 – Concentrazioni orarie di K e bi-orarie di EC e OC (sinistra) e concentrazioni orarie di Fe e K (destra) durante la campagna intensiva estiva.



APPENDICE

Tabella 1 – Concentrazioni medie delle componenti maggioritarie del PM10 nelle diverse stagioni

| | Concentrazione media ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) | | | |
|-----------------------------|---|-----------|------------|------------|
| | Inverno | Primavera | Estate | Autunno |
| POM | 35.9 | 8.7 | 7.8 | 16.9 |
| EC | 2.6 | 0.6 | 0.5 | 1.3 |
| SECONDARI INORGANICI | 5.0 | 4.5 | 3.9 | 3.3 |
| CROSTALE | 2.7 | 4.6 | 4.1 | 2.0 |
| MARINO | 2.5 | 1.2 | 0.5 | 1.7 |
| NON RICOSTRUITO (NR) | 3.2 | 3.4 | 1.9 | 3.2 |

Tabella 2 – Contributi percentuali delle componenti maggioritarie del PM10 nelle diverse stagioni.

| | Contributo percentuale al PM10 (%) | | | |
|-----------------------------|------------------------------------|-----------|--------|---------|
| | Inverno | Primavera | Estate | Autunno |
| POM | 69% | 38% | 42% | 60% |
| EC | 3% | 3% | 3% | 5% |
| SECONDARI INORGANICI | 10% | 20% | 21% | 12% |
| CROSTALE | 5% | 20% | 22% | 7% |
| MARINO | 5% | 5% | 3% | 6% |
| NON RICOSTRUITO (NR) | 6% | 15% | 10% | 11% |

Tabella 3 – Concentrazioni medie ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) dei componenti dell'aerosol secondario inorganico (ammonio, nitrati e sulfati) nelle stagioni e in tutto il periodo di campionamento.

| | Concentrazione media ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) | | | | |
|---------|---|---------|-----------|--------|---------|
| | Totale | Inverno | Primavera | Estate | Autunno |
| SOLFATI | 2.0 | 1.2 | 2.5 | 262 | 1.3 |
| NITRATI | 1.7 | 3.5 | 1.6 | 0.7 | 1.7 |
| AMMONIO | 0.5 | 0.3 | 0.5 | 0.6 | 0.3 |

Tabella 4 – Contributi assoluti delle sorgenti identificate al PM10, mediati su tutto il periodo, nelle diverse stagioni e durante i giorni di superamento del limite di 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ sulla concentrazione del PM10.

| | Concentrazione media ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) | | | | | |
|----------------------|---|-----------|--------|---------|--------|----------|
| | Inverno | Primavera | Estate | Autunno | Totale | Sup PM10 |
| Traffico | 7.3 | 2.7 | 4.3 | 8.2 | 5.4 | 11.8 |
| Combustione biomasse | 28.1 | 2.7 | 0.0 | 7.8 | 8.1 | 41.6 |
| Crostale | 0.8 | 4.1 | 3.3 | 1.0 | 2.4 | 1.3 |
| Nitrati | 4.7 | 2.0 | 0.6 | 3.0 | 2.3 | 6.4 |
| Costiero | 0.4 | 3.7 | 4.6 | 1.4 | 2.7 | 0.4 |
| Marino | 3.8 | 1.1 | 0.5 | 2.3 | 1.7 | 2.6 |
| Risospeso | 3.7 | 1.5 | 2.3 | 2.6 | 2.5 | 5.6 |
| Solfati | 1.5 | 1.7 | 3.0 | 1.5 | 2.0 | 2.0 |
| Marino invecchiato | 1.8 | 1.7 | 1.0 | 0.5 | 1.2 | 1.1 |
| Non ricostruito | 0.0 | 1.8 | 0.0 | 0.1 | 0.5 | 1.4 |

Tabella 5 – Contributi percentuali delle sorgenti identificate al PM10, mediati su tutto il periodo, nelle diverse stagioni e durante i giorni di superamento del limite di 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ sulla concentrazione del PM10.

| | Contributo percentuale al PM10 (%) | | | | | |
|-----------------------------|------------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | Inverno | Primavera | Estate | Autunno | Totale | Sup PM10 |
| Traffico | 14 | 12 | 23 | 29 | 19 | 15 |
| Combustione biomasse | 54 | 12 | 0 | 27 | 28 | 53 |
| Crostale | 2 | 18 | 18 | 3 | 8 | 2 |
| Nitrati | 9 | 9 | 3 | 10 | 8 | 8 |
| Costiero | 1 | 16 | 24 | 5 | 9 | 1 |
| Marino | 7 | 5 | 3 | 8 | 6 | 3 |
| Risospeso | 7 | 7 | 12 | 9 | 9 | 7 |
| Solfati | 3 | 8 | 16 | 5 | 7 | 3 |
| Marino invecchiato | 3 | 7 | 5 | 2 | 4 | 1 |
| Non ricostruito | 0 | 8 | 0 | 0 | 2 | 7 |

| Date | PM Teflon (µg/m³) | Na | Mg | Al | Si | P | S | Cl | K | Ca | Ti | V | Cr | Mn | Fe | Ni | Cu | Zn | As | Se | Br | Rb | Sr | Zr | Mo | Ba | Pb |
|------------|----------------------|---------|--------|--------|---------|-------|---------|---------|--------|---------|-------|------|------|--------|--------|------|-------|-------|------|------|------|------|-------|------|-------|-------|------|
| 22/03/2019 | 32,83 | 84,20 | 91,10 | 219,58 | 787,98 | 6,77 | 559,94 | 64,47 | 455,61 | 1206,22 | 17,23 | 0,65 | 3,28 | 14,73 | 641,73 | 1,96 | 19,75 | 38,95 | 0,36 | 0,24 | 4,70 | 6,16 | BL | 1,68 | 0,71 | 14,67 | 2,01 |
| 01/04/2019 | 34,81 | 42,32 | 85,76 | 257,16 | 936,40 | 8,83 | 590,86 | 72,43 | 515,24 | 1389,91 | 20,17 | 2,64 | 3,10 | 14,25 | 647,12 | 1,99 | 17,95 | 32,73 | 0,13 | 0,49 | 5,69 | 4,45 | BL | 0,63 | 13,31 | 1,97 | |
| 03/04/2019 | 27,81 | 78,89 | 40,46 | 85,77 | 293,80 | 4,73 | 788,63 | 138,10 | 414,60 | 480,02 | 8,58 | 2,73 | 1,98 | 6,88 | 398,42 | 1,63 | 12,89 | 23,89 | 0,21 | 4,71 | 4,71 | 1,86 | BL | 0,36 | 0,48 | 9,71 | 4,66 |
| 05/04/2019 | 15,46 | 265,81 | 56,97 | 35,90 | 146,32 | 9,00 | 225,65 | 453,49 | 224,65 | 339,61 | 4,39 | 0,49 | 3,44 | 4,24 | 187,41 | 0,57 | 6,66 | 12,76 | BL | 1,39 | 3,61 | 0,58 | 0,58 | 0,99 | 0,22 | 3,43 | BL |
| 14/04/2019 | 13,86 | 3,25 | 5,77 | 21,85 | 85,82 | 8,01 | 485,66 | 20,56 | 182,52 | 73,18 | 2,11 | 0,09 | 0,38 | 2,23 | 109,70 | 0,40 | 3,45 | 11,02 | 0,16 | 7,78 | 2,06 | 0,59 | 0,64 | 1,24 | 0,09 | 1,57 | BL |
| 22/04/2019 | 22,21 | 212,76 | 151,19 | 515,95 | 1277,00 | 10,42 | 1220,05 | 93,62 | 311,16 | 629,16 | 31,39 | 2,00 | 1,02 | 8,62 | 453,08 | 1,18 | 6,25 | 14,23 | BL | 1,62 | 4,36 | 3,10 | BL | 1,30 | 0,31 | 5,08 | 0,05 |
| 24/04/2019 | 28,77 | 796,17 | 320,26 | 698,47 | 1734,43 | 20,80 | 1127,70 | 1172,50 | 318,30 | 1004,39 | 45,78 | 2,50 | 0,61 | 10,20 | 613,56 | 2,17 | 6,05 | 13,16 | 0,18 | 3,76 | 6,04 | 3,11 | 5,11 | 2,30 | 0,02 | 4,41 | BL |
| 26/04/2019 | 34,56 | 635,82 | 341,38 | 777,34 | 2036,44 | 18,59 | 827,47 | 1810,60 | 329,08 | 1624,41 | 72,67 | 4,18 | 1,32 | 13,85 | 800,81 | 2,12 | 4,63 | 12,96 | 0,22 | 0,75 | 5,10 | 3,58 | 10,99 | 1,75 | 0,34 | 9,01 | 0,66 |
| 28/04/2019 | 17,06 | 976,29 | 167,10 | 65,39 | 180,37 | 16,17 | 389,19 | 1709,76 | 194,71 | 198,68 | 4,72 | 0,58 | 0,47 | 2,95 | 151,66 | 0,84 | 4,30 | 9,02 | BL | 3,59 | 5,18 | 0,34 | 0,88 | 1,22 | 0,44 | 2,34 | BL |
| 30/04/2019 | 11,77 | 229,07 | 58,93 | 60,23 | 256,68 | 11,60 | 292,04 | 274,02 | 131,92 | 417,75 | 5,81 | 1,38 | 1,16 | 3,47 | 220,10 | 1,17 | 6,81 | 11,38 | 0,38 | 0,41 | 2,19 | 0,15 | BL | 0,41 | 4,39 | 0,10 | |
| 02/05/2019 | 14,85 | 213,89 | 71,75 | 95,74 | 341,42 | 13,23 | 626,47 | 52,77 | 189,97 | 423,58 | 9,61 | 1,92 | 1,04 | 4,39 | 233,02 | 1,57 | 6,70 | 14,70 | 0,23 | 1,15 | 3,33 | 0,55 | 0,94 | 1,02 | 0,34 | 6,25 | 1,99 |
| 04/05/2019 | 13,35 | 298,36 | 66,89 | 47,32 | 175,83 | 17,84 | 567,60 | 122,10 | 137,33 | 242,15 | 4,19 | 1,24 | 0,89 | 2,88 | 169,69 | 0,88 | 5,49 | 10,84 | BL | 0,36 | 3,21 | 0,26 | 0,89 | 1,52 | 0,20 | 2,53 | BL |
| 06/05/2019 | 9,49 | 45,54 | 33,58 | 52,36 | 213,12 | 24,05 | 144,13 | 141,24 | 274,90 | 349,73 | 4,73 | 0,02 | 0,67 | 3,58 | 202,17 | 0,10 | 6,73 | 10,07 | BL | 0,23 | 0,98 | 0,05 | BL | 0,14 | 4,12 | BL | |
| 08/05/2019 | 16,02 | 433,94 | 100,97 | 65,91 | 231,31 | 12,14 | 612,43 | 324,65 | 193,91 | 391,36 | 7,00 | 1,23 | 0,91 | 4,14 | 240,19 | 1,10 | 7,80 | 12,97 | 0,33 | 3,01 | 4,09 | 0,53 | 0,16 | 1,20 | 0,24 | 4,94 | BL |
| 10/05/2019 | 19,01 | 1274,63 | 209,72 | 47,16 | 200,03 | 16,49 | 676,66 | 2424,97 | 195,56 | 343,23 | 5,85 | 2,84 | 0,59 | 3,75 | 210,93 | 1,41 | 6,25 | 11,74 | 0,02 | 1,43 | 6,50 | 0,58 | 1,41 | 1,12 | 0,99 | 3,25 | BL |
| 12/05/2019 | 4,83 | 14,55 | 12,51 | 29,45 | 116,53 | 19,24 | 72,96 | 35,38 | 90,21 | 164,04 | 2,00 | 0,09 | 0,40 | 1,94 | 110,55 | 0,12 | 3,88 | 4,63 | 0,06 | 0,80 | 0,69 | 0,15 | 0,07 | BL | 0,12 | 1,82 | BL |
| 14/05/2019 | 9,02 | 180,29 | 64,59 | 91,62 | 357,03 | 10,81 | 558,44 | 234,22 | 102,60 | 494,87 | 7,11 | 0,40 | 0,98 | 4,98 | 232,63 | 0,68 | 6,57 | 11,60 | 0,05 | 1,61 | 2,47 | 0,68 | 0,17 | 1,77 | 0,52 | 3,45 | BL |
| 16/05/2019 | 9,84 | 54,12 | 38,69 | 76,56 | 281,55 | 7,78 | 342,42 | 33,47 | 124,66 | 411,50 | 6,52 | 1,10 | 0,82 | 3,63 | 192,12 | 0,80 | 6,42 | 13,10 | BL | 0,29 | 1,36 | 0,80 | BL | 0,20 | 0,45 | 4,05 | BL |
| 18/05/2019 | 11,46 | 42,82 | 28,20 | 45,90 | 167,01 | 13,06 | 397,62 | 16,49 | 149,88 | 227,01 | 3,97 | 1,40 | 0,79 | 3,16 | 188,95 | 0,61 | 6,07 | 9,67 | 0,38 | 2,89 | 2,15 | 0,73 | BL | 0,52 | 0,58 | 3,81 | BL |
| 20/05/2019 | 7,28 | 224,21 | 47,25 | 22,93 | 84,26 | 11,12 | 236,36 | 339,15 | 65,12 | 141,50 | 2,99 | 0,66 | 0,23 | 1,88 | 129,96 | 0,64 | 4,13 | 6,51 | 0,03 | 0,55 | 1,61 | 0,23 | BL | 0,45 | 2,38 | BL | |
| 22/05/2019 | 19,73 | 557,33 | 120,37 | 62,45 | 269,67 | 25,87 | 956,13 | 161,75 | 517,24 | 7,54 | 1,59 | 0,79 | 4,94 | 274,22 | 1,44 | 9,18 | 16,61 | BL | 2,22 | 3,79 | 0,66 | BL | 0,54 | 0,73 | 5,38 | BL | |
| 24/05/2019 | 17,35 | 259,71 | 86,48 | 95,82 | 387,29 | 16,10 | 1439,35 | 43,26 | 142,66 | 609,41 | 8,69 | 5,02 | 1,13 | 5,93 | 339,22 | 2,86 | 10,64 | 17,33 | 0,47 | 1,28 | 3,93 | 1,05 | BL | 1,76 | 1,28 | 7,81 | 1,92 |
| 26/05/2019 | 12,04 | 20,08 | 20,24 | 44,56 | 166,46 | 22,34 | 657,66 | 12,31 | 137,31 | 195,48 | 3,79 | 1,62 | 0,33 | 3,16 | 215,50 | 1,06 | 7,43 | 9,75 | 0,41 | 2,78 | 2,76 | 1,11 | BL | 0,97 | 1,01 | 4,44 | 0,81 |
| 28/05/2019 | 14,59 | 768,57 | 131,77 | 54,16 | 169,33 | 29,29 | 459,05 | 1492,02 | 134,27 | 263,94 | 5,06 | 1,52 | 0,56 | 2,99 | 172,79 | 0,89 | 4,97 | 7,07 | BL | 0,43 | 4,32 | 0,52 | 0,41 | 1,04 | 0,85 | 3,29 | 1,98 |
| 30/05/2019 | 9,92 | 19,94 | 29,53 | 52,43 | 241,99 | 35,07 | 180,54 | 49,99 | 130,64 | 439,55 | 6,23 | 0,67 | 0,86 | 4,66 | 282,55 | 0,54 | 9,21 | 11,68 | 0,38 | 0,37 | 1,13 | 2,02 | BL | 0,73 | 0,95 | 8,55 | 0,21 |
| 01/06/2019 | 12,66 | 31,45 | 44,53 | 95,24 | 358,09 | 18,90 | 513,74 | 25,17 | 128,97 | 450,06 | 7,15 | 1,11 | 1,00 | 5,52 | 259,95 | 0,82 | 8,23 | 12,11 | 0,38 | 0,35 | 2,07 | 0,47 | 0,47 | 0,94 | 0,84 | 6,71 | 1,28 |
| 03/06/2019 | 16,14 | 408,83 | 103,77 | 94,13 | 3 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------------|-------|---------|--------|--------|---------|-------|---------|---------|--------|---------|-------|------|------|-------|--------|------|-------|-------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|------|
| 13/08/2019 | 16,82 | 463,69 | 162,78 | 440,22 | 1058,40 | 14,87 | 553,70 | 741,91 | 180,28 | 576,03 | 26,04 | 2,34 | 1,28 | 7,58 | 391,23 | 1,43 | 5,80 | 10,26 | BL | 0,64 | 3,93 | 1,78 | 1,41 | 2,93 | 0,64 | 6,25 | 1,98 |
| 15/08/2019 | 12,50 | 382,13 | 95,83 | 111,34 | 343,19 | 12,93 | 589,37 | 198,42 | 96,88 | 322,92 | 7,03 | 1,53 | 0,65 | 3,74 | 153,54 | 1,10 | 3,71 | 5,85 | 0,52 | 0,66 | 1,96 | 0,09 | 0,09 | 0,19 | 0,54 | 2,73 | 0,83 |
| 17/08/2019 | 15,07 | 406,38 | 109,58 | 132,10 | 422,34 | 10,69 | 854,70 | 74,62 | 127,61 | 441,03 | 8,91 | 2,17 | 1,26 | 4,64 | 236,58 | 1,66 | 6,45 | 8,04 | 0,39 | 0,64 | 2,72 | 0,90 | 0,82 | 1,45 | 0,65 | 4,69 | 1,11 |
| 19/08/2019 | 13,73 | 209,40 | 79,75 | 149,79 | 494,06 | 9,08 | 882,43 | 25,74 | 123,62 | 569,00 | 10,15 | 2,92 | 1,19 | 5,10 | 256,94 | 1,87 | 6,05 | 8,38 | 0,58 | 0,23 | 1,89 | 1,22 | BL | 0,19 | 0,75 | 5,40 | 1,14 |
| 21/08/2019 | 15,82 | 217,18 | 134,54 | 341,43 | 1030,21 | 12,43 | 1125,42 | 35,53 | 305,44 | 1102,41 | 19,75 | 2,60 | 1,66 | 11,41 | 468,53 | 1,92 | 11,23 | 13,22 | 1,10 | 0,04 | 3,57 | 2,78 | BL | 1,19 | 0,61 | 8,03 | 1,22 |
| 23/08/2019 | 17,14 | 47,33 | 58,94 | 173,23 | 522,71 | 23,50 | 1464,49 | 17,77 | 211,06 | 494,69 | 10,91 | 0,92 | 1,60 | 6,52 | 315,67 | 0,59 | 10,53 | 11,50 | 0,84 | 0,48 | 2,46 | 1,35 | 0,12 | 0,73 | 0,77 | 7,38 | 2,25 |
| 25/08/2019 | 14,14 | 29,42 | 48,47 | 159,70 | 459,18 | 20,19 | 1220,52 | 9,64 | 154,50 | 232,89 | 9,18 | 0,56 | 0,91 | 4,43 | 178,43 | 0,62 | 3,59 | 8,25 | BL | 0,26 | 2,39 | 0,73 | 0,48 | 1,14 | 0,55 | 3,50 | 1,57 |
| 27/08/2019 | 28,04 | 56,57 | 95,54 | 347,35 | 1251,74 | 32,02 | 2030,54 | 12,63 | 232,71 | 565,70 | 19,99 | 2,16 | 2,46 | 10,39 | 418,23 | 1,34 | 8,39 | 14,99 | 1,59 | 0,72 | 2,91 | 1,94 | BL | 0,69 | 0,85 | 10,03 | 3,82 |
| 29/08/2019 | 34,56 | 67,12 | 82,40 | 288,56 | 1910,57 | 39,08 | 1788,27 | 51,72 | 445,70 | 789,37 | 20,36 | 1,88 | 2,00 | 9,54 | 450,71 | 2,44 | 21,42 | 44,30 | 0,63 | 0,56 | 3,08 | 2,29 | BL | 1,91 | 1,54 | 20,75 | 3,48 |
| 31/08/2019 | 25,32 | 23,55 | 65,03 | 217,50 | 640,55 | 29,39 | 2124,62 | 14,18 | 259,68 | 574,04 | 16,32 | 1,01 | 1,81 | 9,82 | 489,75 | 0,94 | 13,11 | 23,17 | 0,69 | 0,74 | 3,64 | 4,03 | BL | 0,25 | 1,23 | 8,89 | 3,36 |
| 02/09/2019 | 21,83 | 24,15 | 53,51 | 196,70 | 559,70 | 29,73 | 1862,11 | 16,36 | 217,44 | 426,09 | 13,32 | 1,28 | 1,91 | 6,55 | 314,11 | 1,18 | 7,87 | 17,42 | 0,73 | 0,47 | 3,28 | 0,65 | 0,29 | 1,31 | 0,74 | 6,62 | 2,94 |
| 04/09/2019 | 14,68 | 108,86 | 85,91 | 190,48 | 628,87 | 21,48 | 617,25 | 68,97 | 145,45 | 847,44 | 16,03 | 0,60 | 1,64 | 9,12 | 452,86 | 0,85 | 12,55 | 16,89 | 0,79 | 1,00 | 2,49 | 2,24 | 0,49 | 2,04 | 0,86 | 9,06 | 2,26 |
| 06/09/2019 | 20,25 | 184,65 | 114,39 | 260,85 | 869,80 | 36,38 | 672,52 | 159,47 | 380,68 | 905,34 | 18,74 | 1,04 | 1,78 | 10,24 | 441,96 | 0,93 | 10,43 | 16,16 | 0,70 | 0,60 | 2,55 | 1,83 | BL | 0,42 | 0,94 | 7,99 | 2,09 |
| 08/09/2019 | 17,77 | 1036,34 | 153,53 | 59,28 | 180,66 | 11,40 | 460,65 | 2037,59 | 146,67 | 271,56 | 5,86 | 1,35 | 1,16 | 2,81 | 160,45 | 0,82 | 5,59 | 9,42 | 1,15 | 0,34 | 7,47 | 0,39 | 1,92 | 0,55 | 0,60 | 7,71 | 1,75 |
| 10/09/2019 | 17,44 | 582,40 | 132,21 | 117,05 | 414,40 | 22,20 | 391,38 | 810,34 | 160,09 | 688,62 | 9,92 | 0,73 | 1,89 | 6,99 | 438,34 | 0,82 | 13,57 | 20,10 | 0,94 | 0,32 | 3,75 | 1,22 | BL | 0,85 | 0,71 | 10,57 | 2,94 |
| 12/09/2019 | 19,67 | 121,49 | 84,26 | 196,14 | 719,40 | 24,12 | 660,65 | 44,64 | 187,90 | 1196,49 | 18,75 | 1,11 | 3,14 | 11,62 | 638,10 | 1,01 | 21,15 | 31,38 | 0,79 | 0,33 | 2,98 | 3,48 | BL | 1,16 | 1,31 | 17,14 | 2,43 |
| 14/09/2019 | 14,42 | 27,31 | 56,90 | 165,88 | 565,55 | 16,44 | 419,55 | 19,92 | 157,34 | 716,10 | 11,23 | 0,61 | 2,41 | 8,59 | 456,22 | 0,71 | 14,38 | 21,66 | 1,31 | 0,24 | 2,52 | 2,41 | BL | 2,36 | 1,20 | 12,40 | 2,25 |
| 16/09/2019 | 17,25 | 36,36 | 73,37 | 188,98 | 700,21 | 18,81 | 530,86 | 17,89 | 166,69 | 955,27 | 13,91 | 1,29 | 2,55 | 9,35 | 506,69 | 0,95 | 15,00 | 21,52 | 0,86 | 0,35 | 2,03 | 2,33 | BL | 1,15 | 1,25 | 14,00 | 2,55 |
| 18/09/2019 | 21,84 | 108,50 | 113,67 | 379,75 | 1063,12 | 16,39 | 1702,49 | 28,81 | 236,83 | 962,59 | 23,52 | 4,27 | 2,56 | 11,16 | 558,23 | 2,55 | 12,72 | 22,10 | 0,58 | 0,79 | 2,90 | 1,71 | BL | 0,96 | 10,93 | 3,14 | |
| 20/09/2019 | 16,58 | 297,26 | 109,43 | 163,14 | 521,41 | 28,41 | 551,93 | 198,81 | 185,21 | 620,04 | 11,18 | 0,67 | 2,19 | 7,38 | 368,33 | 0,55 | 11,18 | 18,38 | 0,48 | 0,47 | 3,20 | 1,07 | 0,40 | 0,76 | 1,08 | 9,62 | 2,29 |
| 22/09/2019 | 13,45 | 70,35 | 51,24 | 112,66 | 306,83 | 28,34 | 397,10 | 14,22 | 218,06 | 232,97 | 8,86 | 0,55 | 1,29 | 4,03 | 266,71 | 0,55 | 8,52 | 14,94 | 0,78 | 0,68 | 3,27 | 0,93 | 1,98 | 0,86 | 0,74 | 7,31 | 2,98 |
| 24/09/2019 | 15,14 | 177,69 | 57,52 | 68,55 | 272,01 | 38,89 | 414,62 | 156,30 | 148,10 | 478,86 | 5,88 | 1,56 | 1,76 | 5,34 | 314,61 | 0,96 | 11,43 | 15,50 | 0,36 | 0,37 | 2,70 | 0,65 | 0,86 | 0,64 | 0,92 | 8,73 | 1,38 |
| 26/09/2019 | 22,45 | 1088,77 | 187,71 | 57,99 | 245,77 | 40,84 | 411,82 | 2144,05 | 175,80 | 485,16 | 6,97 | 1,38 | 1,12 | 4,80 | 291,10 | 1,03 | 11,28 | 19,47 | BL | 0,50 | 6,84 | 0,40 | 1,16 | 1,61 | 0,60 | 5,20 | 1,32 |
| 28/09/2019 | 19,89 | 494,10 | 102,19 | 68,76 | 232,93 | 45,15 | 780,55 | 267,32 | 205,06 | 389,82 | 4,94 | 2,72 | 1,28 | 3,45 | 234,07 | 1,88 | 9,16 | 20,13 | 0,60 | 1,04 | 4,00 | 0,89 | 0,18 | 1,05 | 0,72 | 5,15 | 3,84 |
| 30/09/2019 | 20,92 | 518,06 | 105,82 | 96,60 | 311,15 | 30,61 | 694,69 | 702,20 | 197,96 | 430,88 | 9,07 | 2,94 | 1,39 | 4,75 | 278,61 | 1,57 | 8,21 | 13,73 | 0,92 | 0,98 | 4,42 | 1,16 | 0,80 | 1,25 | 0,70 | 6,69 | 1,43 |
| 02/10/2019 | 22,24 | 658,55 | 123,21 | 58,83 | 182,77 | 27,90 | 462,74 | 1416,02 | 159,02 | 270,58 | 5,59 | 1,91 | 1,11 | 3,69 | 247,10 | 1,14 | 6,96 | 12,16 | 0,16 | 0,49 | 7,30 | 1,70 | BL | 1,04 | 0 | | |

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------------|-------|---------|--------|---------|---------|-------|---------|---------|---------|---------|--------|------|------|-------|---------|------|-------|-------|------|------|-------|-------|--------|------|------|-------|-------|
| 13/02/2020 | 33,56 | 1353,36 | 216,54 | 104,20 | 402,71 | 9,14 | 367,94 | 2132,42 | 398,62 | 918,15 | 12,10 | 1,03 | 1,76 | 8,79 | 401,35 | 1,22 | 13,13 | 27,27 | 0,70 | BL | 10,17 | 0,25 | 2,11 | 3,53 | 0,40 | 8,94 | 2,86 |
| 15/02/2020 | 39,76 | 293,89 | 78,24 | 141,80 | 559,56 | 13,89 | 371,07 | 226,94 | 777,19 | 1118,66 | 14,41 | 0,75 | 2,34 | 10,71 | 544,53 | 1,03 | 18,90 | 40,36 | 0,42 | BL | 8,17 | 3,41 | 1,43 | 2,78 | 1,00 | 11,29 | 8,02 |
| 17/02/2020 | 35,05 | 778,87 | 162,76 | 140,37 | 495,89 | 13,25 | 524,56 | 188,19 | 494,30 | 968,81 | 14,29 | 1,98 | 2,44 | 8,92 | 430,15 | 2,32 | 21,40 | 24,57 | 2,03 | 0,47 | 10,36 | 1,44 | 1,10 | 5,27 | 0,43 | 10,60 | 5,75 |
| 19/02/2020 | 25,85 | 599,44 | 110,02 | 88,89 | 335,42 | 12,86 | 344,52 | 521,44 | 467,32 | 740,20 | 9,27 | 1,01 | 1,21 | 6,03 | 279,93 | 1,18 | 8,97 | 22,41 | BL | 5,43 | 1,32 | 1,92 | 0,34 | 0,25 | 6,22 | 5,81 | |
| 21/02/2020 | 48,66 | 542,59 | 152,51 | 228,05 | 887,40 | 20,52 | 424,47 | 603,59 | 843,93 | 1899,99 | 22,10 | 1,14 | 3,55 | 15,42 | 800,01 | 1,72 | 23,92 | 44,59 | 1,54 | 0,28 | 8,53 | 3,13 | 2,17 | 5,21 | 1,11 | 17,69 | 5,44 |
| 23/02/2020 | 33,10 | 772,87 | 145,08 | 106,06 | 339,17 | 13,51 | 537,34 | 220,31 | 563,31 | 624,36 | 8,30 | 1,28 | 1,55 | 7,08 | 342,59 | 1,45 | 26,24 | 24,10 | BL | 0,34 | 8,66 | 1,12 | 0,81 | 2,14 | 0,98 | 7,82 | 3,85 |
| 25/02/2020 | 59,49 | 763,15 | 190,57 | 199,99 | 763,38 | 17,55 | 855,50 | 797,81 | 972,24 | 1537,48 | 24,60 | 1,92 | 3,16 | 14,54 | 736,93 | 2,20 | 25,17 | 41,70 | 0,50 | 1,08 | 11,51 | 4,49 | 3,29 | 5,50 | 1,61 | 15,50 | 8,73 |
| 27/02/2020 | 17,02 | 702,63 | 121,24 | 107,86 | 414,01 | 7,03 | 177,16 | 1327,97 | 224,33 | 880,45 | 11,70 | 0,57 | 3,63 | 8,88 | 352,23 | 0,81 | 13,80 | 15,24 | 0,24 | 0,11 | 6,88 | 0,16 | 1,55 | 3,20 | 0,65 | 8,03 | 1,80 |
| 29/02/2020 | 54,80 | 308,78 | 107,05 | 202,56 | 857,93 | 18,73 | 378,34 | 431,70 | 1065,23 | 1659,54 | 24,40 | 0,97 | 3,35 | 16,42 | 823,27 | 1,44 | 25,75 | 52,18 | 0,77 | BL | 7,63 | 4,85 | 1,47 | 2,49 | 2,67 | 19,33 | 12,12 |
| 02/03/2020 | 22,49 | 2189,30 | 304,09 | 84,29 | 245,69 | 13,92 | 390,32 | 4710,97 | 230,63 | 462,86 | 8,22 | 0,70 | 0,77 | 4,43 | 239,53 | 0,81 | 6,50 | 8,06 | 0,14 | BL | 13,71 | 0,80 | 3,63 | BL | 0,16 | 4,54 | 1,46 |
| 04/03/2020 | 35,91 | 176,13 | 70,11 | 142,25 | 674,71 | 15,53 | 264,23 | 271,98 | 598,85 | 1631,42 | 21,81 | 0,70 | 2,25 | 13,31 | 628,47 | 0,51 | 19,94 | 35,17 | 1,28 | 0,05 | 3,22 | 3,71 | 2,00 | 3,78 | 1,38 | 12,30 | 5,77 |
| 06/03/2020 | 19,82 | 1502,84 | 195,39 | 28,10 | 100,36 | 7,85 | 255,19 | 2823,01 | 224,51 | 287,34 | 3,58 | 0,27 | 1,03 | 4,22 | 187,05 | 0,55 | 6,17 | 10,83 | 0,11 | 0,61 | 10,21 | 0,09 | 2,85 | 0,36 | 3,04 | 4,75 | 5,22 |
| 08/03/2020 | 30,52 | 107,35 | 35,49 | 62,22 | 273,92 | 13,95 | 283,72 | 148,86 | 665,75 | 501,53 | 5,07 | 0,18 | 0,83 | 6,38 | 264,11 | 0,43 | 8,01 | 24,91 | 0,69 | 0,83 | 4,31 | 0,58 | BL | BL | 1,50 | 4,90 | 3,56 |
| 10/03/2020 | 36,27 | 135,25 | 48,28 | 88,61 | 385,82 | 12,29 | 406,08 | 122,96 | 599,10 | 896,83 | 13,23 | 0,22 | 0,99 | 8,47 | 317,31 | 0,93 | 11,48 | 29,20 | BL | 0,87 | 5,64 | 1,04 | 1,00 | 2,58 | 1,14 | 5,94 | 5,14 |
| 12/03/2020 | 46,89 | 365,00 | 81,75 | 85,10 | 447,25 | 11,13 | 444,74 | 361,58 | 721,33 | 624,96 | 13,00 | 0,45 | 0,82 | 7,05 | 294,82 | 1,15 | 10,78 | 44,52 | 1,27 | BL | 9,67 | 2,17 | 1,32 | 3,06 | 0,96 | 5,51 | 4,55 |
| 14/03/2020 | 32,23 | 408,18 | 79,65 | 77,33 | 228,13 | 17,39 | 628,33 | 127,49 | 577,74 | 316,79 | 7,89 | 0,73 | 0,56 | 3,93 | 153,56 | 1,25 | 6,66 | 18,39 | 1,24 | 0,67 | 7,63 | 1,43 | 2,03 | 1,07 | 0,89 | 3,01 | 4,49 |
| 16/03/2020 | 29,12 | 269,16 | 62,05 | 65,92 | 258,23 | 10,68 | 451,33 | 128,04 | 618,01 | 491,18 | 8,28 | 0,12 | 0,58 | 5,61 | 208,38 | 1,39 | 6,26 | 21,35 | 1,57 | 0,35 | 6,24 | 1,39 | 1,00 | 4,32 | 0,66 | 4,90 | 3,90 |
| 18/03/2020 | 51,22 | 200,37 | 70,93 | 153,74 | 614,68 | 18,55 | 677,84 | 125,29 | 1004,79 | 839,04 | 13,18 | 0,33 | 1,17 | 8,99 | 349,75 | 0,60 | 10,40 | 35,61 | 1,22 | 0,37 | 8,82 | 2,61 | 1,48 | 3,67 | 0,76 | 8,35 | 9,59 |
| 20/03/2020 | 44,47 | 157,64 | 59,32 | 138,69 | 462,76 | 14,00 | 718,08 | 71,74 | 796,04 | 725,15 | 14,03 | 0,48 | 1,33 | 8,23 | 318,01 | 1,27 | 10,54 | 29,86 | BL | 0,49 | 8,44 | 1,70 | 0,74 | 2,15 | 0,71 | 7,49 | 7,25 |
| 22/03/2020 | 33,38 | 315,95 | 74,61 | 157,57 | 400,98 | 10,28 | 1123,39 | 66,68 | 622,79 | 336,24 | 10,17 | 0,36 | 0,40 | 5,09 | 166,50 | 0,63 | 10,32 | 20,09 | 1,06 | 0,25 | 8,38 | 1,37 | 1,20 | 1,70 | 0,69 | 4,74 | 7,12 |
| 24/03/2020 | 12,70 | 117,17 | 46,82 | 85,92 | 277,65 | 7,85 | 463,82 | 40,52 | 216,90 | 633,10 | 6,20 | 0,14 | 0,37 | 5,40 | 147,59 | 0,44 | 2,93 | 13,06 | BL | BL | 2,91 | 0,23 | 1,06 | 0,94 | 0,68 | 2,50 | 2,69 |
| 26/03/2020 | 10,96 | 90,49 | 27,67 | 69,89 | 205,60 | 1,96 | 538,73 | 35,80 | 182,67 | 299,44 | 6,07 | 0,06 | 0,24 | 2,83 | 109,77 | 0,24 | 3,69 | 7,86 | 1,25 | 0,15 | 2,04 | 0,73 | 0,64 | 0,12 | 0,56 | 2,13 | 2,68 |
| 28/03/2020 | 96,02 | 2279,18 | 890,36 | 1347,29 | 3862,35 | 33,69 | 3848,89 | 626,20 | 842,00 | 5544,53 | 118,81 | 3,95 | 2,84 | 38,32 | 1491,70 | 0,87 | 6,09 | 29,04 | 1,19 | BL | 6,26 | 15,17 | 147,21 | BL | 2,05 | 24,48 | 8,65 |
| 30/03/2020 | 41,23 | 791,74 | 352,67 | 612,78 | 1754,00 | 5,20 | 1700,20 | 113,62 | 616,20 | 1932,73 | 49,01 | 1,46 | 1,28 | 14,51 | 575,85 | 1,43 | 4,74 | 20,23 | 1,49 | 0,11 | 7,55 | 4,36 | 35,91 | BL | 0,51 | 9,17 | 7,32 |
| 01/04/2020 | 13,06 | 247,83 | 59,87 | 101,48 | 313,03 | 8,71 | 544,67 | 96,67 | 197,78 | 521,64 | 9,40 | 0,12 | 0,34 | 5,70 | 180,80 | 0,64 | 3,95 | 12,77 | 0,31 | 0,14 | 3,98 | BL | 1,04 | BL | 0,52 | 3,00 | 2,13 |
| 03/04/2020 | 34,62 | 165,18 | 60,31 | 156,22 | 537,46 | 12,86 | 609,75 | 90,46 | 635,97 | 767,77 | 16,01 | 0,30 | 1,11 | 8,47 | 311,94 | 0,82 | 8,94 | 32,24 | 0,04 | 0,28 | 7,38 | 1,14 | | | | | |

| PM conc. (µg/m³) | Na | Mg | Al | Si | P | S | Cl | K | Ca | Ti | V | Cr | Mn | Fe | Ni | Cu | Zn | As | Se | Br | Rb | Sr | Zr | Mo | Ba | Pb |
|---------------------|----|----|----|----|---|---|----|---|----|----|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
|---------------------|----|----|----|----|---|---|----|---|----|----|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|

Seasonal average (astronomical seasons)

| Average | Na | Mg | Al | Si | P | S | Cl | K | Ca | Ti | V | Cr | Mn | Fe | Ni | Cu | Zn | As | Se | Br | Rb | Sr | Zr | Mo | Ba | Pb | |
|-----------|-------|--------|--------|--------|--------|-------|---------|---------|--------|---------|-------|------|------|-------|--------|------|-------|-------|------|------|------|------|-------|------|------|-------|------|
| Total | 28,93 | 352,24 | 119,20 | 234,48 | 722,28 | 19,27 | 755,35 | 536,74 | 410,80 | 830,97 | 19,29 | 1,95 | 2,02 | 9,17 | 461,11 | 1,42 | 12,60 | 22,97 | 0,87 | 0,86 | 4,94 | 2,42 | 1,71 | 1,64 | 1,22 | 10,11 | 5,23 |
| Winter | 51,95 | 558,27 | 126,45 | 161,30 | 617,09 | 15,97 | 498,22 | 1092,06 | 921,03 | 1192,59 | 17,22 | 0,91 | 2,92 | 12,32 | 597,79 | 1,25 | 20,11 | 39,96 | 1,46 | 0,33 | 8,48 | 3,09 | 1,85 | 3,16 | 1,53 | 15,78 | 9,10 |
| Spring | 23,02 | 374,03 | 152,15 | 327,88 | 924,14 | 15,83 | 888,10 | 343,54 | 288,09 | 841,14 | 25,70 | 2,55 | 1,40 | 8,67 | 417,91 | 1,59 | 7,80 | 15,36 | 0,43 | 1,39 | 3,98 | 2,72 | 4,64 | 1,18 | 0,67 | 6,71 | 4,29 |
| Summer | 18,79 | 211,16 | 108,74 | 287,36 | 837,14 | 21,56 | 1025,34 | 161,43 | 194,69 | 716,07 | 19,93 | 2,52 | 1,49 | 8,18 | 392,29 | 1,66 | 9,71 | 16,13 | 0,69 | 0,87 | 2,97 | 1,83 | 0,21 | 1,00 | 1,76 | 7,87 | 3,23 |
| Autumn | 28,28 | 334,47 | 90,04 | 122,19 | 428,11 | 23,01 | 460,62 | 767,19 | 374,50 | 639,86 | 13,08 | 1,45 | 2,61 | 8,14 | 478,86 | 1,04 | 15,04 | 25,25 | 1,06 | 0,74 | 5,47 | 2,30 | 0,40 | 1,66 | 0,78 | 11,78 | 5,47 |
| Std Dev | Na | Mg | Al | Si | P | S | Cl | K | Ca | Ti | V | Cr | Mn | Fe | Ni | Cu | Zn | As | Se | Br | Rb | Sr | Zr | Mo | Ba | Pb | |
| Total | 20,11 | 470,80 | 102,98 | 244,43 | 643,95 | 8,56 | 492,21 | 1098,10 | 405,03 | 704,93 | 18,71 | 1,70 | 1,61 | 6,13 | 290,36 | 0,84 | 8,81 | 16,20 | 0,82 | 1,01 | 3,48 | 2,46 | 10,66 | 1,77 | 1,68 | 8,23 | 5,05 |
| Winter | 27,10 | 713,66 | 111,81 | 111,47 | 425,56 | 6,36 | 205,79 | 1876,37 | 570,28 | 923,16 | 10,55 | 0,49 | 2,14 | 7,65 | 370,04 | 0,59 | 12,53 | 21,86 | 1,31 | 0,33 | 5,07 | 2,49 | 2,47 | 2,69 | 2,02 | 13,13 | 6,47 |
| Spring | 14,80 | 413,94 | 154,35 | 383,42 | 977,27 | 7,05 | 629,15 | 587,54 | 175,30 | 844,04 | 31,03 | 2,47 | 1,21 | 6,92 | 315,99 | 1,08 | 3,66 | 7,06 | 0,33 | 1,43 | 1,76 | 3,46 | 21,03 | 1,23 | 0,38 | 4,34 | 3,13 |
| Summer | 4,76 | 254,03 | 49,04 | 184,59 | 471,00 | 8,66 | 432,28 | 425,84 | 74,81 | 297,85 | 11,72 | 1,46 | 0,64 | 3,09 | 138,76 | 0,84 | 3,74 | 6,37 | 0,38 | 0,51 | 0,99 | 1,27 | 0,40 | 0,86 | 2,30 | 3,41 | 3,59 |
| Autumn | 13,12 | 419,67 | 63,92 | 121,65 | 407,73 | 9,37 | 272,27 | 969,24 | 247,28 | 596,49 | 11,06 | 0,98 | 1,84 | 6,04 | 298,42 | 0,49 | 8,48 | 14,65 | 0,68 | 1,13 | 2,65 | 2,24 | 0,58 | 1,30 | 0,42 | 7,41 | 5,11 |
| # Samples | Na | Mg | Al | Si | P | S | Cl | K | Ca | Ti | V | Cr | Mn | Fe | Ni | Cu | Zn | As | Se | Br | Rb | Sr | Zr | Mo | Ba | Pb | |
| Total | 204 | 204 | 204 | 204 | 204 | 204 | 204 | 204 | 204 | 204 | 204 | 204 | 204 | 204 | 204 | 204 | 204 | 204 | 204 | 204 | 204 | 204 | 204 | 204 | 204 | 204 | |
| Winter | 43 | 43 | 43 | 43 | 43 | 43 | 43 | 43 | 43 | 43 | 43 | 43 | 43 | 43 | 43 | 43 | 43 | 43 | 43 | 43 | 43 | 43 | 39 | 38 | 43 | 43 | |
| Spring | 51 | 51 | 51 | 51 | 51 | 51 | 51 | 51 | 51 | 51 | 51 | 51 | 51 | 51 | 51 | 51 | 51 | 51 | 49 | 51 | 50 | 32 | 42 | 51 | 51 | 51 | |
| Summer | 65 | 65 | 65 | 65 | 65 | 65 | 65 | 65 | 65 | 65 | 65 | 65 | 65 | 65 | 65 | 65 | 65 | 65 | 65 | 63 | 25 | 53 | 65 | 65 | 65 | | |
| Autumn | 45 | 45 | 45 | 45 | 45 | 45 | 45 | 45 | 45 | 45 | 45 | 45 | 45 | 45 | 45 | 45 | 45 | 45 | 44 | 45 | 42 | 19 | 39 | 45 | 45 | | |

Monthly average

| Average | Na | Mg | Al | Si | P | S | Cl | K | Ca | Ti | V | Cr | Mn | Fe | Ni | Cu | Zn | As | Se | Br | Rb | Sr | Zr | Mo | Ba | Pb | |
|----------|-------|--------|--------|--------|---------|-------|---------|---------|---------|---------|-------|------|------|-------|--------|------|-------|-------|------|------|-------|------|-------|------|------|-------|-------|
| Total | 28,93 | 352,24 | 119,20 | 234,48 | 722,28 | 19,27 | 755,35 | 536,74 | 410,80 | 830,97 | 19,29 | 1,95 | 2,02 | 9,17 | 461,11 | 1,42 | 12,60 | 22,97 | 0,87 | 0,86 | 4,94 | 2,42 | 1,71 | 1,64 | 1,22 | 10,11 | 5,23 |
| January | 70,36 | 415,08 | 114,18 | 231,01 | 846,55 | 20,11 | 619,77 | 868,20 | 1302,83 | 1650,10 | 23,10 | 1,12 | 4,35 | 17,02 | 816,51 | 1,46 | 27,42 | 54,18 | 2,48 | 0,27 | 7,82 | 4,66 | 2,34 | 4,69 | 2,40 | 23,61 | 12,96 |
| February | 41,88 | 798,73 | 170,15 | 146,44 | 556,09 | 13,77 | 438,48 | 1431,85 | 682,09 | 1143,25 | 15,52 | 1,08 | 2,40 | 10,62 | 526,21 | 1,33 | 18,52 | 31,97 | 0,85 | 0,23 | 10,18 | 2,52 | 1,93 | 3,20 | 0,96 | 11,90 | 5,73 |
| March | 36,00 | 574,37 | 155,64 | 213,71 | 686,26 | 12,57 | 797,18 | 614,95 | 560,81 | 1045,59 | 19,74 | 0,67 | 1,17 | 9,47 | 380,88 | 0,90 | 9,02 | 24,20 | 0,90 | 0,31 | 6,86 | 2,72 | 12,63 | 1,59 | 1,02 | 7,46 | 5,09 |
| April | 24,05 | 309,43 | 118,74 | 265,40 | 752,46 | 12,69 | 697,59 | 461,46 | 348,59 | 697,42 | 21,34 | 1,37 | 1,33 | 7,95 | 372,08 | 1,19 | 7,16 | 18,19 | 0,30 | 1,99 | 4,84 | 1,83 | 1,90 | 0,96 | 0,41 | 6,03 | 4,43 |
| May | 12,59 | 293,87 | 70,84 | 58,96 | 226,86 | 8,56 | 528,52 | 380,58 | 148,72 | 347,64 | 5,69 | 1,42 | 0,73 | 3,73 | 212,97 | 0,98 | 6,76 | 11,22 | 0,32 | 1,29 | 2,82 | 0,66 | 0,27 | 0,83 | 0,59 | 4,40 | 5,79 |
| June | 24,46 | 320,17 | 191,21 | 530,63 | 1456,74 | 19,86 | 1177,56 | 190,04 | 277,51 | 1070,99 | 39,27 | 4,31 | 1,97 | 11,72 | 564,08 | 2,36 | 9,90 | 16,11 | 0,58 | 1,46 | 3,65 | 3,94 | 0,85 | 1,72 | 0,75 | 8,35 | 2,89 |
| July | 17,75 | 204,36 | 99,96 | 269,37 | 746,54 | 21,75 | 969,07 | 174,75 | 167,55 | 641,33 | 18,84 | 2,73 | 1,16 | 7,36 | 357, | | | | | | | | | | | | |