

Caratterizzazione del PM10 in alcune città lombarde

U. Dal Santo, A. Algieri, P. Carli, C. Colombi, L. Corbella, E. Cuccia, De Martini, V. Gianelle, G. Siliprandi.*

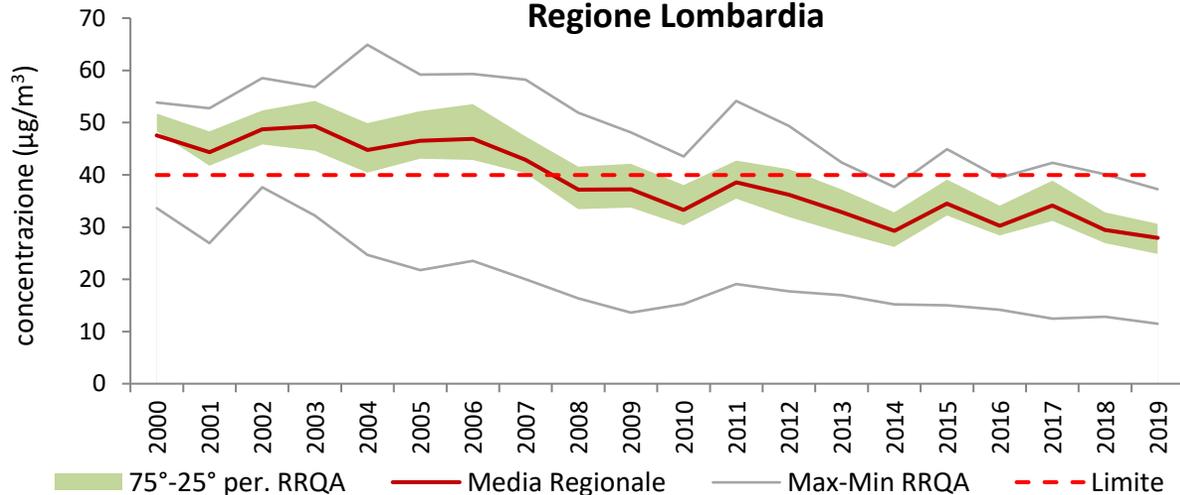
ARPA Lombardia

Milano, via Rosellini 17

**Corresponding author. Tel: +39 069666494, E-mail: u.dalsanto@arpalombardia.it*

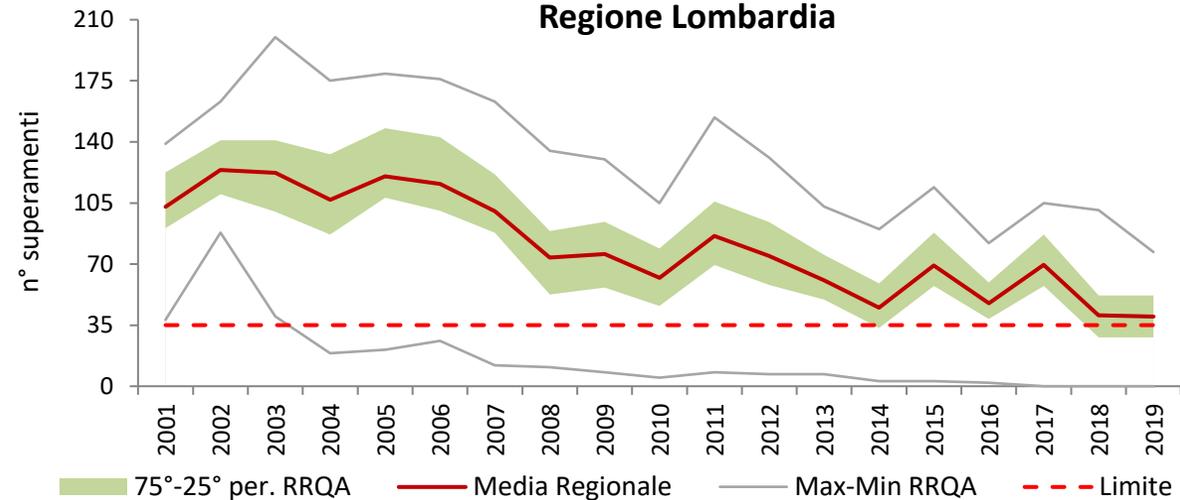
Andamento delle concentrazioni medie annuali di PM10

Regione Lombardia



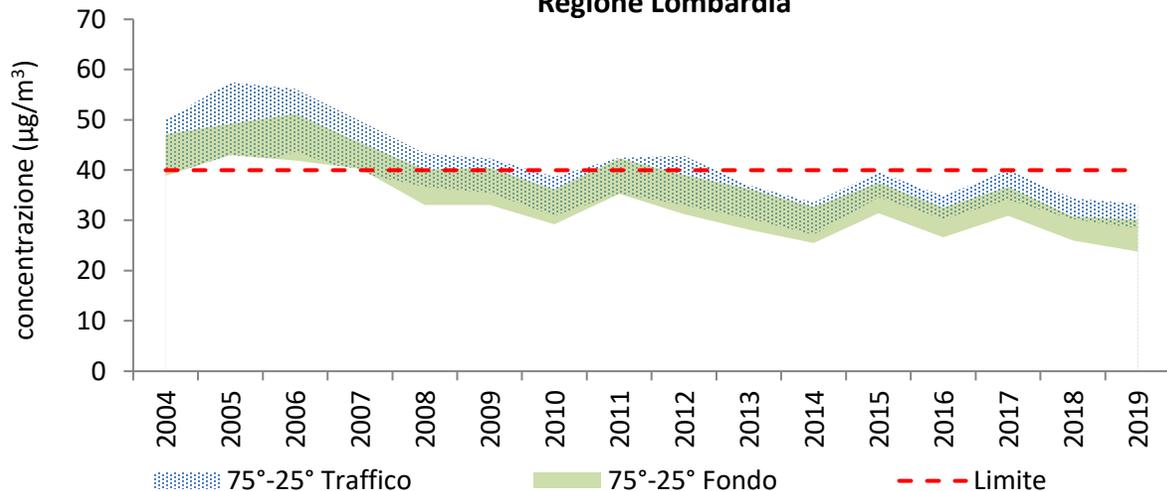
Andamento del numero di superamenti annuali di PM10

Regione Lombardia



Concentrazioni medie annuali di PM10 per tipologia di stazione

Regione Lombardia

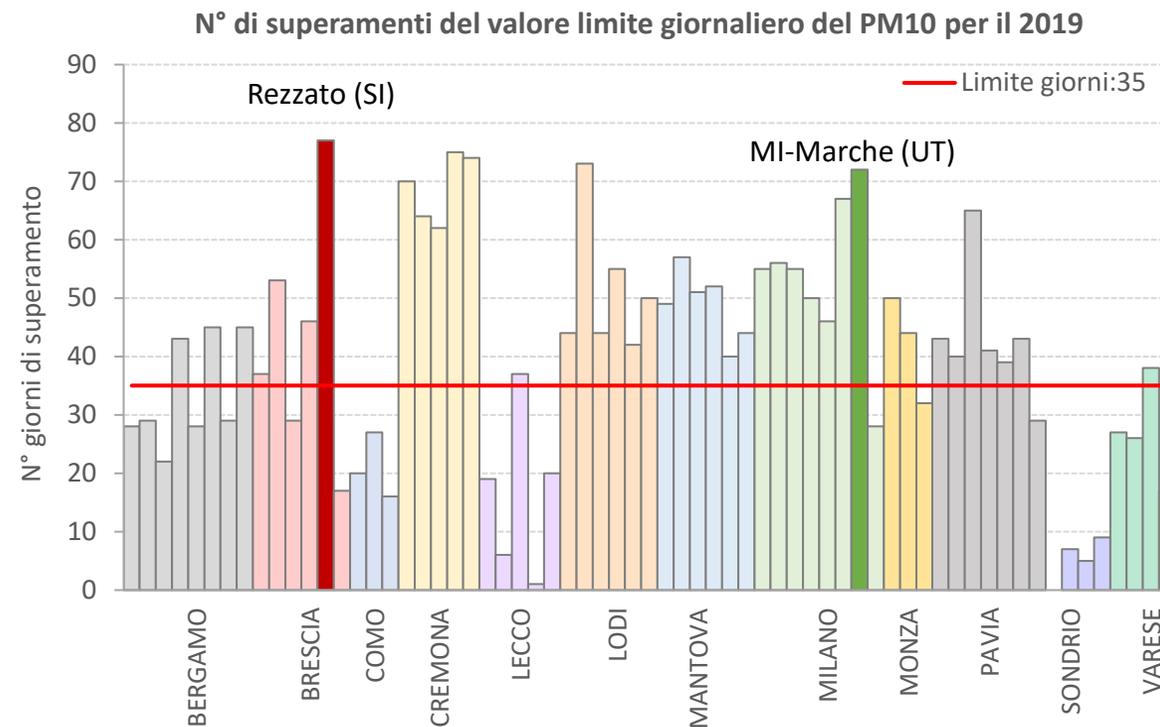
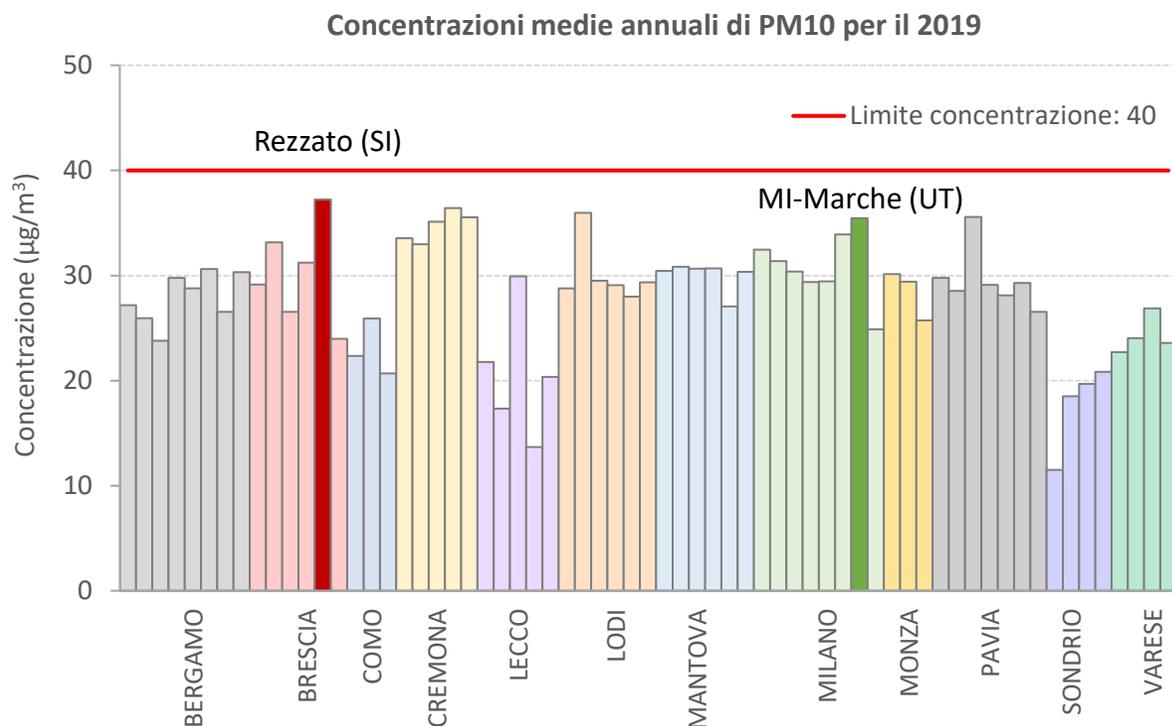


RRQA di ARPA Lombardia

Rete di Rilevamento delle Qualità dell'Aria

65 stazioni del PdV con analizzatore PM10

PM10: La situazione nel 2019 (suddivisa per provincia)



RRQA di ARPA Lombardia

Rete di Rilevamento delle Qualità dell'Aria

65 stazioni del PdV con analizzatore PM10

Legenda

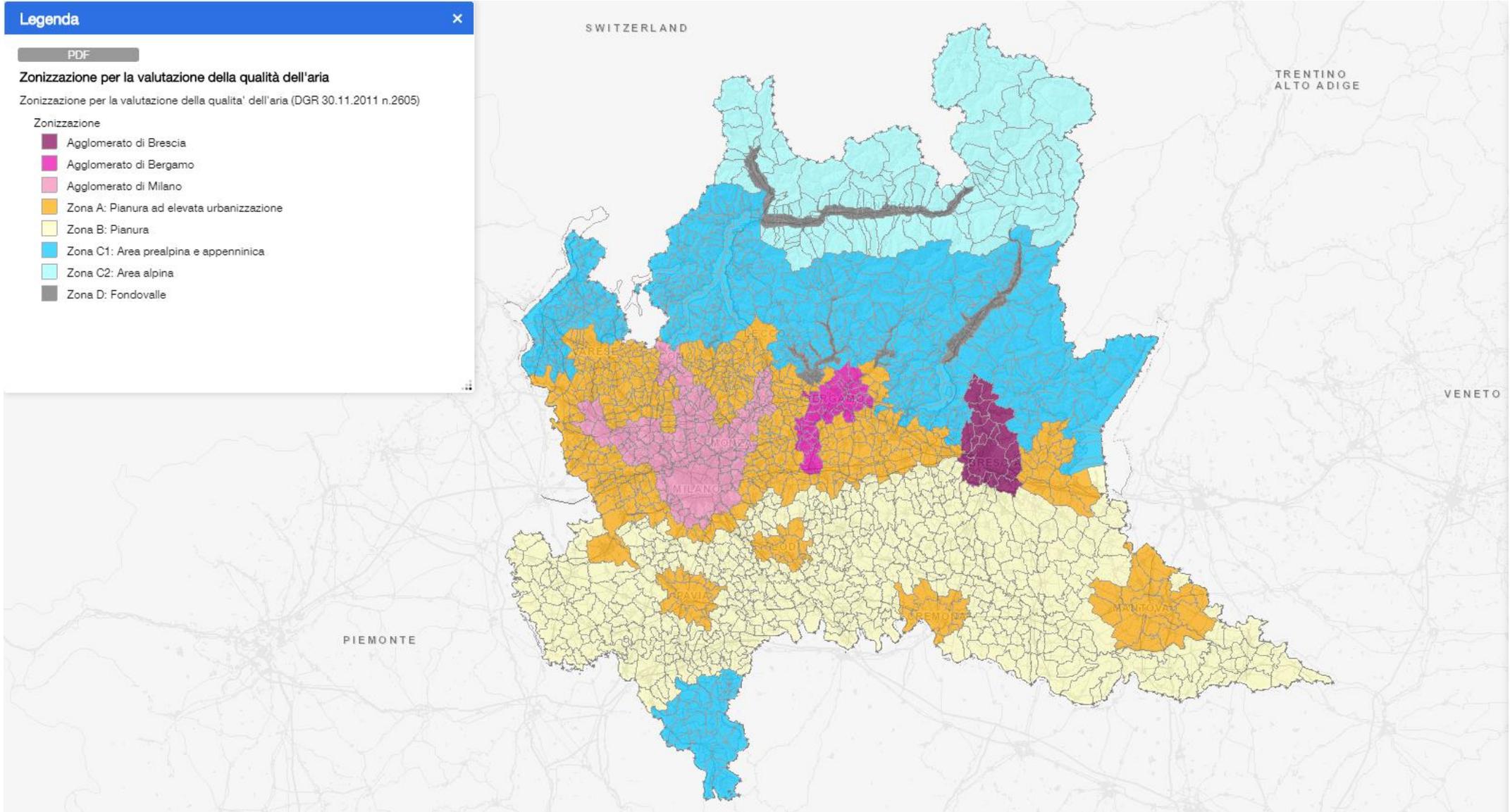
PDF

Zonizzazione per la valutazione della qualità dell'aria

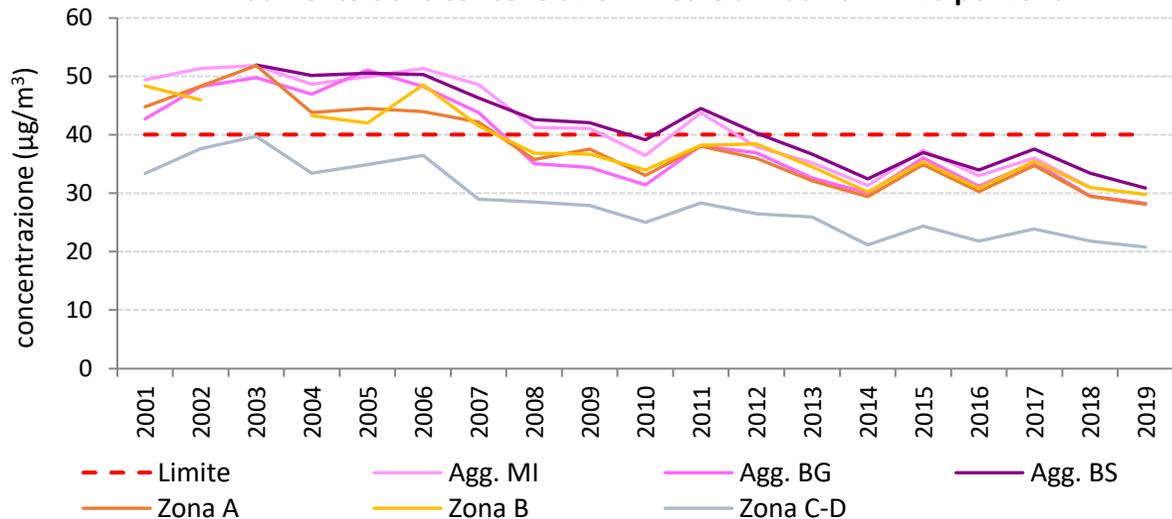
Zonizzazione per la valutazione della qualità dell'aria (DGR 30.11.2011 n.2605)

Zonizzazione

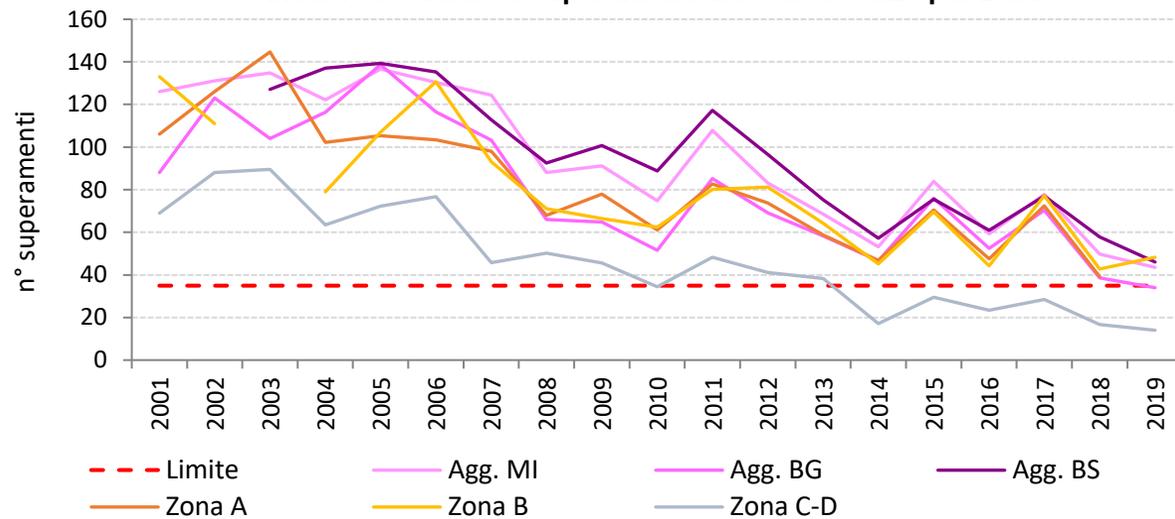
- Agglomerato di Brescia
- Agglomerato di Bergamo
- Agglomerato di Milano
- Zona A: Pianura ad elevata urbanizzazione
- Zona B: Pianura
- Zona C1: Area prealpina e appenninica
- Zona C2: Area alpina
- Zona D: Fondovalle



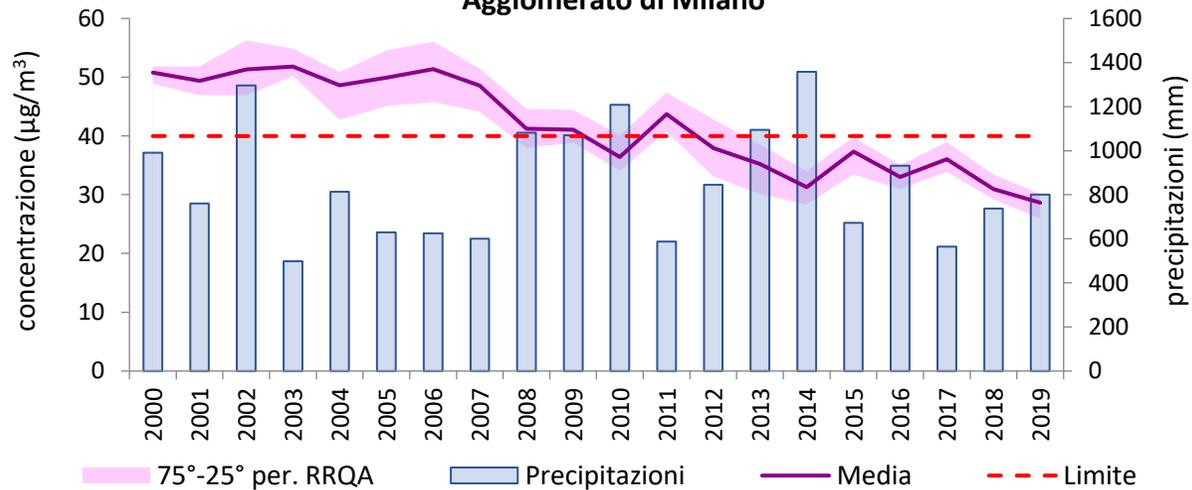
Andamento delle concentrazioni medie annuali di PM10 per zona



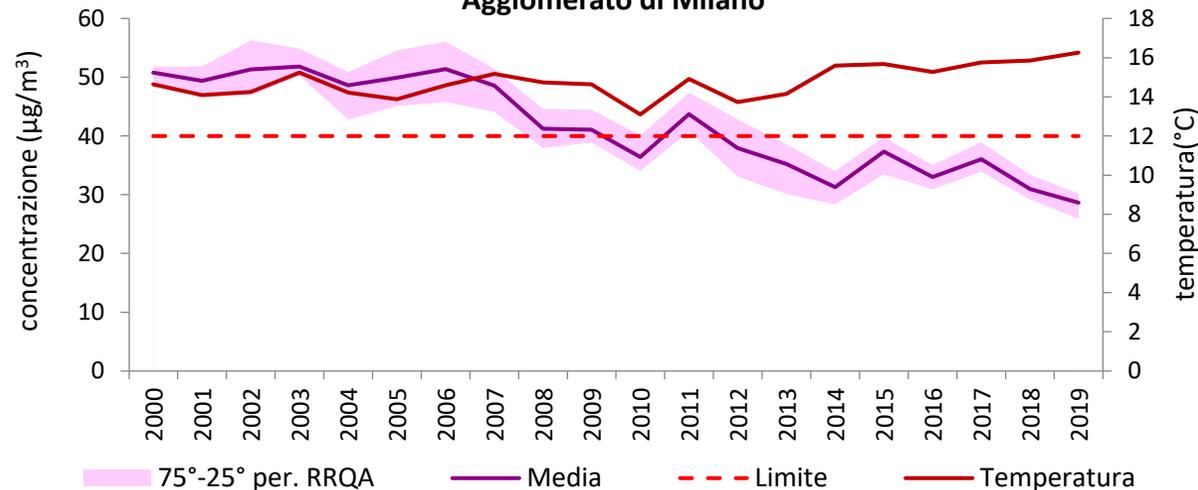
Andamento del n° di superamenti annuali di PM10 per zona



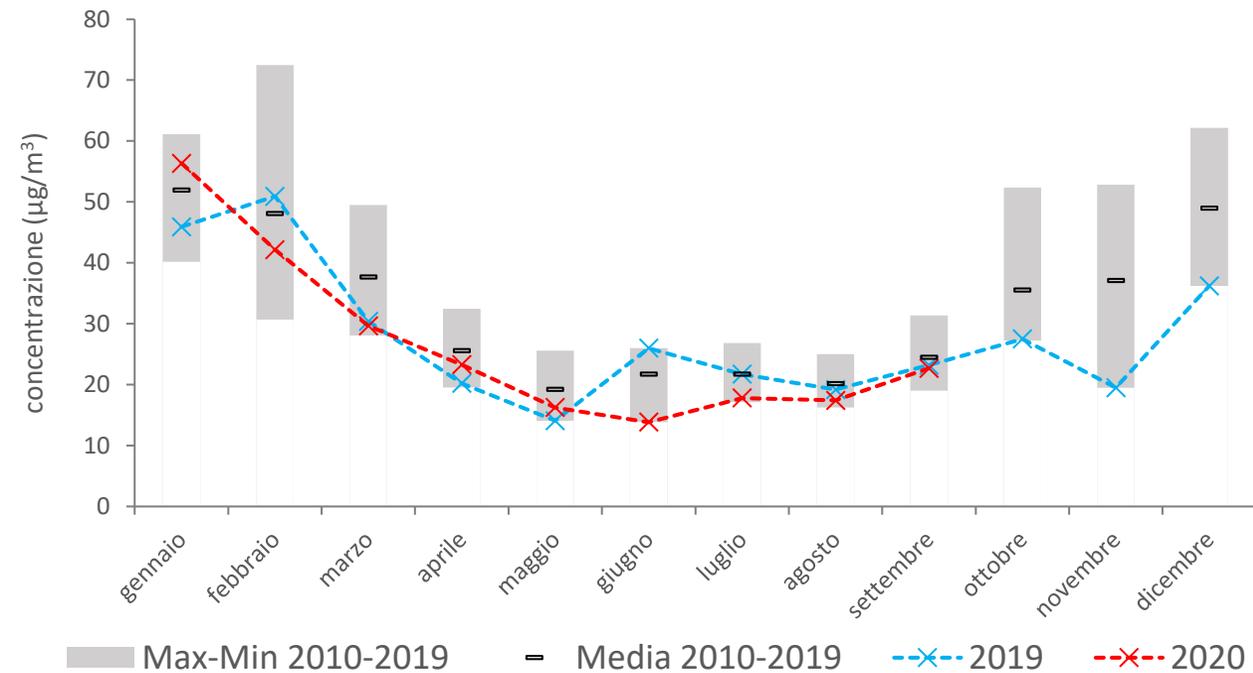
**Andamento delle concentrazioni medie annuali di PM10
 Agglomerato di Milano**



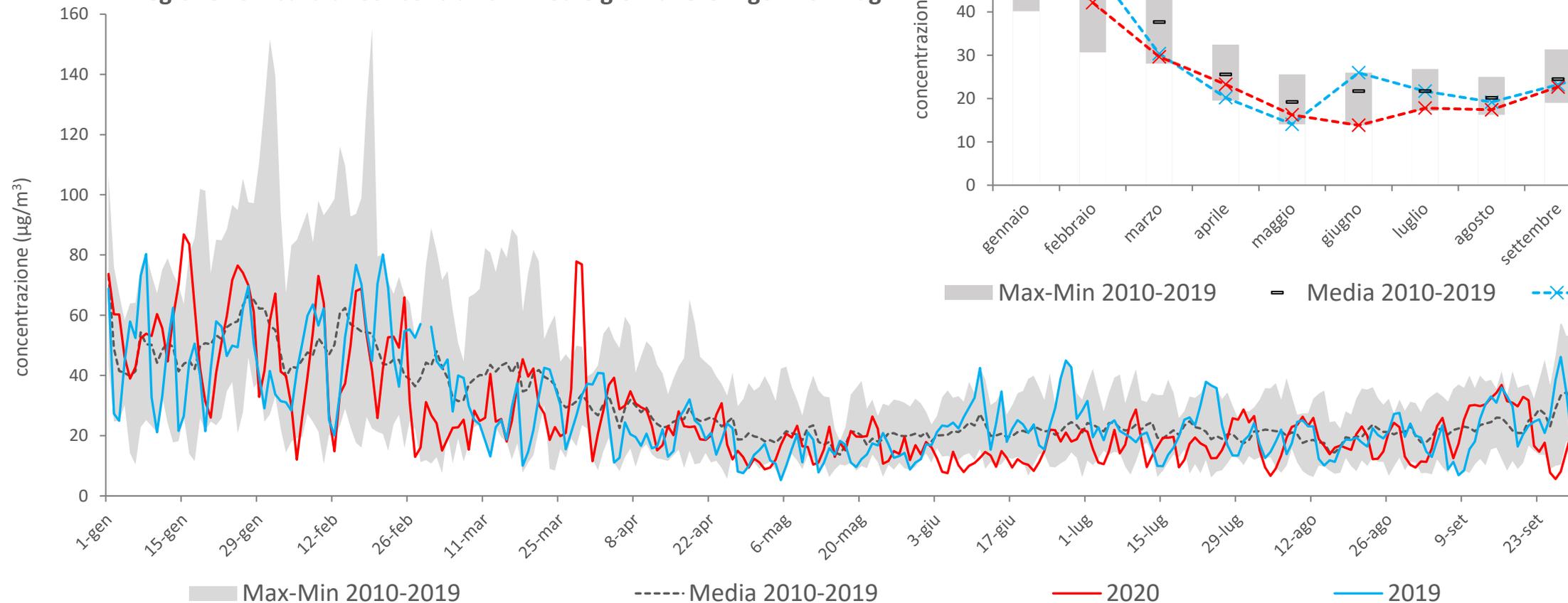
**Andamento delle concentrazioni medie annuali di PM10
 Agglomerato di Milano**



Regione Lombardia: Concentrazioni medie mensili PM10

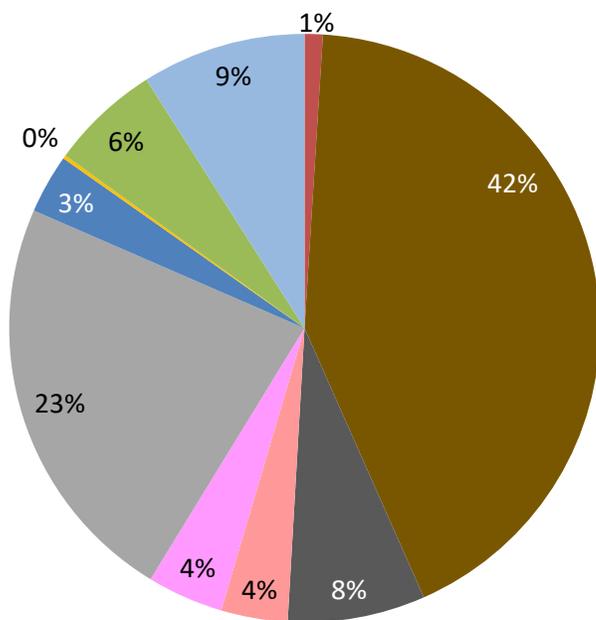


Regione Lombardia: Concentrazioni medie giornaliere 1°gen - 31mag



Contributi % dei macrosettori alle emissioni in atmosfera di PM10

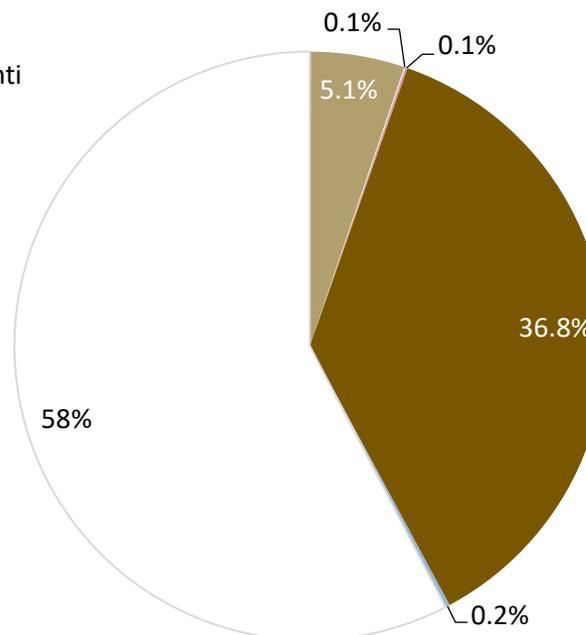
Regione Lombardia



- Produzione energia e trasformazione combustibili
- Combustione non industriale
- Combustione nell'industria
- Processi produttivi
- Estrazione e distribuzione combustibili
- Uso di solventi
- Trasporto su strada
- Altre sorgenti mobili e macchinari
- Trattamento e smaltimento rifiuti
- Agricoltura
- Altre sorgenti e assorbimenti

Solo PM10 primario!

Combustione non industriale

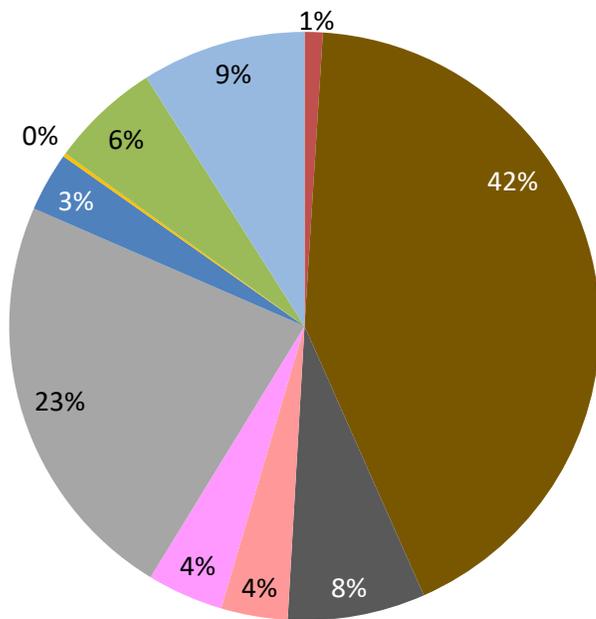


- Impianti commerciali ed istituzionali - GPL
- Impianti commerciali ed istituzionali - Gasolio
- **Impianti commerciali ed istituzionali - Legna e similari**
- Impianti commerciali ed istituzionali - Metano
- Impianti in agricoltura silvicoltura e acquacoltura - Altro
- Impianti in agricoltura silvicoltura e acquacoltura - GPL
- Impianti in agricoltura silvicoltura e acquacoltura - Gasolio
- Impianti in agricoltura silvicoltura e acquacoltura - Metano
- Impianti residenziali - GPL
- Impianti residenziali - Gasolio
- **Impianti residenziali - Legna e similari**
- Impianti residenziali - Metano
- Altri macrosettori

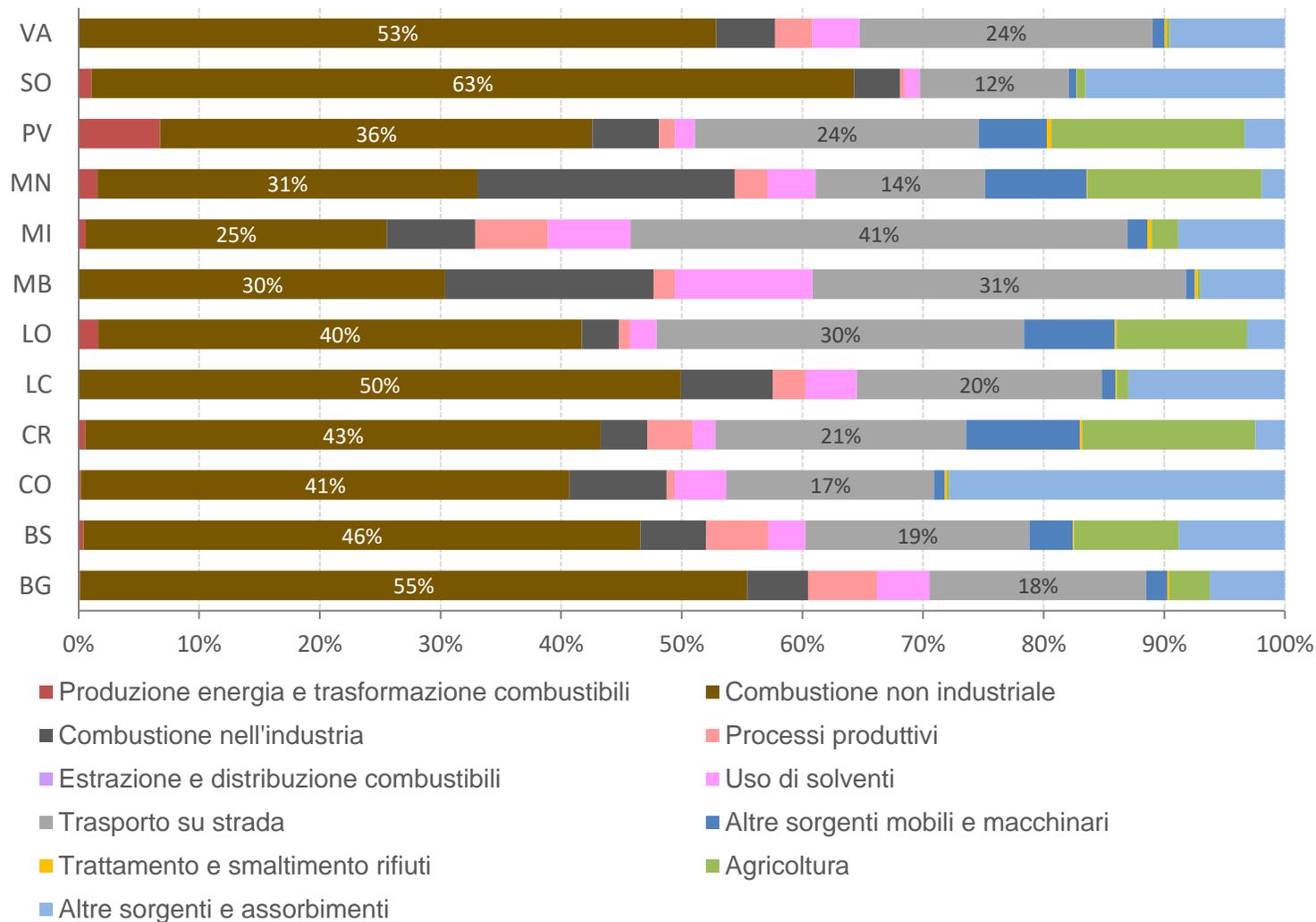
INEMAR 2017

<https://www.inemar.eu/xwiki/bin/view/Inemar/HomeLombardia>

Contributi % dei macrosettori alle emissioni in atmosfera di PM10 Regione Lombardia



Contributi % dei macrosettori alle emissioni in atmosfera di PM10 Province Lombardia



INEMAR 2017

La composizione chimica del PM10

Serie storiche:

- Milano via Pascal (Urbana di Fondo) – dal 2013
- Milano via Senato (Urbana di Traffico) – dal 2013
- Schivenoglia (Rurale di Fondo) – dal 2018 (dal 2013 al 2018 su PM2.5)

Serie temporanee:

- Bergamo via Meucci (Urbana di Fondo) – luglio 2016 ÷ marzo 2017
- Brescia Villaggio Sereno (Urbana di Fondo) – ottobre 2018 ÷ luglio 2019
- Mantova via Sant'Agnese (Urbana di Fondo) – novembre 2017 ÷ luglio 2018
- Pavia (Urbana di Fondo) – ottobre 2016 ÷ agosto 2017
- Moggio (Rurale di Fondo) – novembre 2019 ÷ luglio 2020 (in stesura)
- Lodi via Sant'Alberto (Urbana di Fondo) – ottobre 2019 ÷ agosto 2020 (in stesura)

<https://www.arpalombardia.it/Pages/Aria/Aria-Progetti/Progetto-Supersiti.aspx>

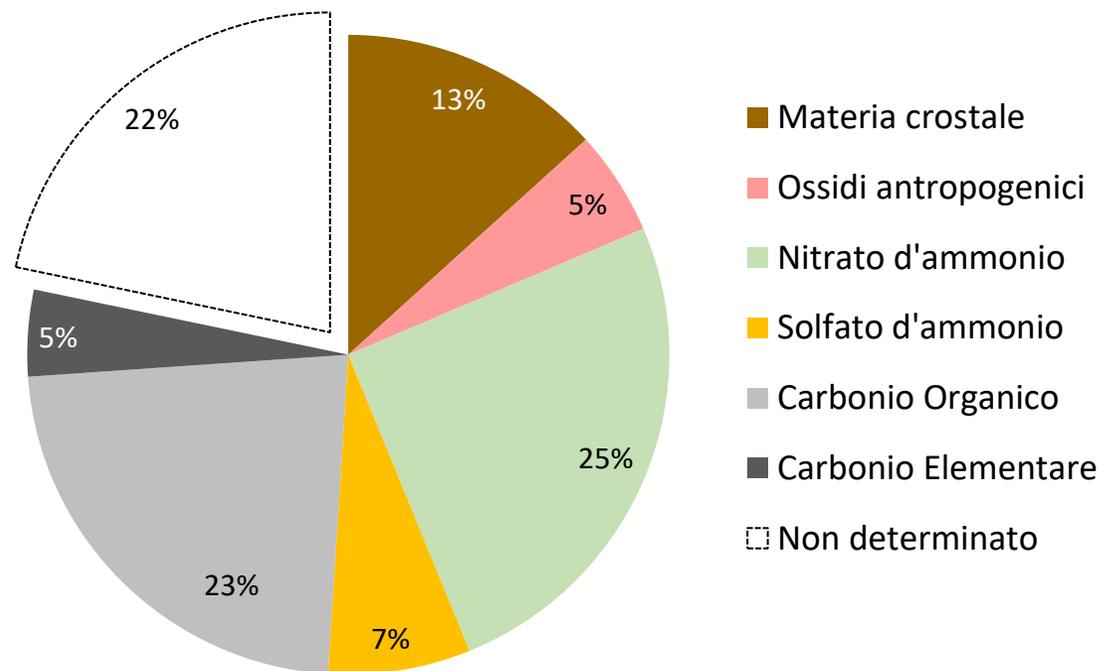
La composizione chimica del PM10

- Mediante uno spettrometro a fluorescenza di raggi X (XRF) sono state determinate le concentrazioni dei seguenti elementi con Z>11: alluminio (Al), silicio (Si), zolfo (S), cloro (Cl), potassio (K), calcio (Ca), titanio (Ti), cromo (Cr), manganese (Mn), ferro (Fe), rame (Cu), zinco (Zn), bromo (Br) e piombo (Pb).
- In Cromatografia Ionica (IC) sono stati determinati i principali ioni solubili (nitrati, solfati, ammonio, calcio, magnesio, potassio, sodio e cloruri). Utilizzando lo stesso IC ma con detector amperometrico è stato determinato il levoglucosano, zucchero tracciante specifico delle combustioni di biomassa.
- Con metodo termo-ottico, ovvero TOT/TOR Thermal-Optical Transmittance/Reflectance, secondo i criteri definiti dalla norma CEN/TR 16243:2011 e con l'applicazione del protocollo NIOSH-Like, è stata determinata la componente carboniosa, distinta in carbonio organico (OC) e carbonio elementare (EC).
- In cromatografia liquida ad alta prestazione (HPLC-UV-VIS) e in gas cromatografia e spettrometria di massa (GC-MS) sono stati determinati gli Idrocarburi Policiclici Aromatici (IPA): B(a)P, B(a)A, B(b)F, B(j)F, B(k)F, I(1,2,3,c,d)P e dB(a,h)A.

La composizione chimica del PM10

- La frazione minerale o materia crostale (cioè gli ossidi minerali tipici della crosta terrestre).
- Gli ossidi di origine prevalentemente antropica (tipici delle attività umane).
- Gli ioni inorganici (solfati, nitrati, ammonio, etc.).
- La frazione carboniosa (composti a base di carbonio).

- IPA
- Levoglucosano



N.B. Il Grafico, riportato come esempio, si riferisce al sito di BS-Villaggio Sereno (ottobre 2018 ÷ luglio 2019)

Frazione minerale e ossidi antropogenici

$$\text{frazione minerale} = 1.15 \cdot \left(\sum_{FA_X \leq FA} C_X \cdot K_X + \sum_{FA_X > FA} \frac{C_X \cdot K_X}{FA_X} \right)$$

$$\text{ossidi antropogenici} = \sum_{FA_X > FA} C_X \cdot K_X \cdot \left(1 - \frac{1}{FA_X} \right)$$

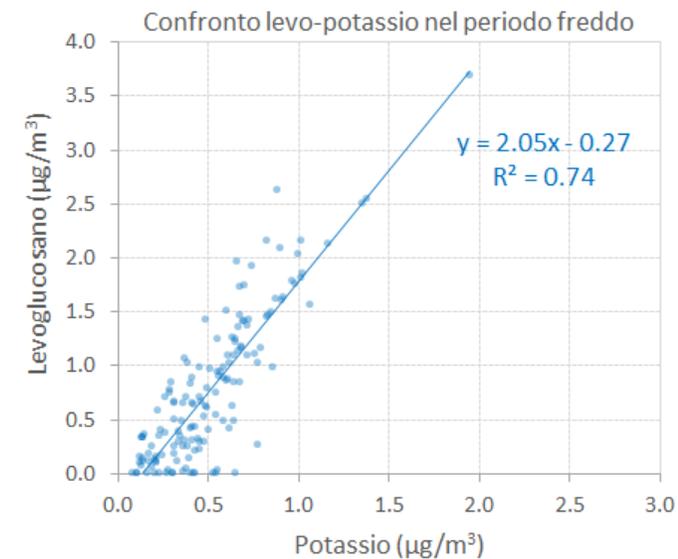
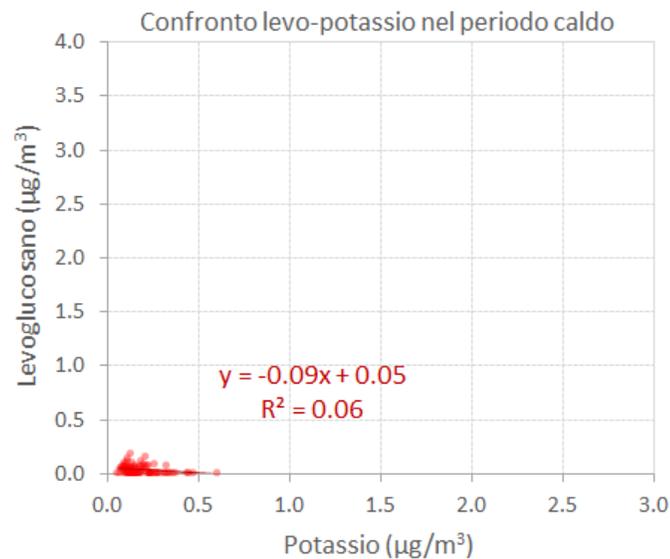
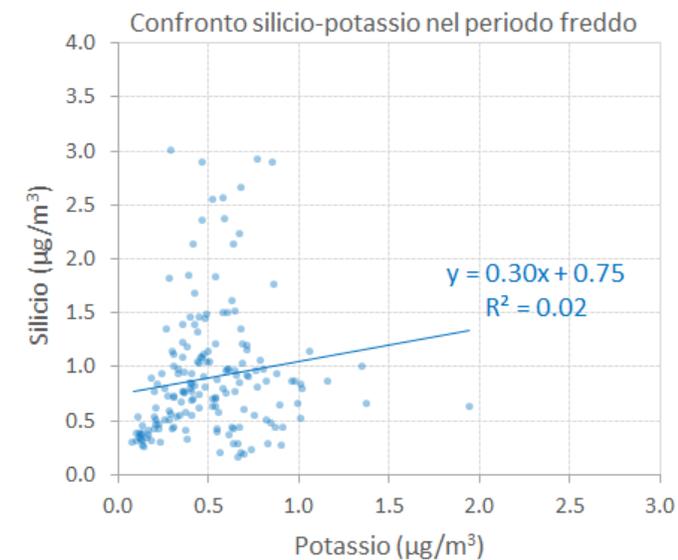
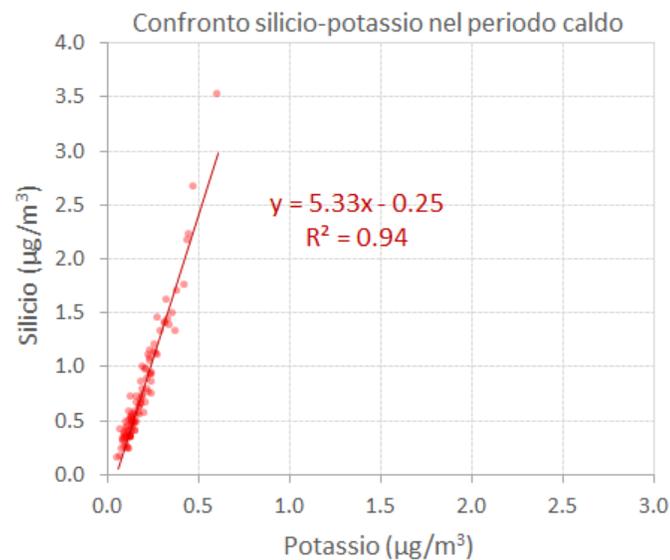
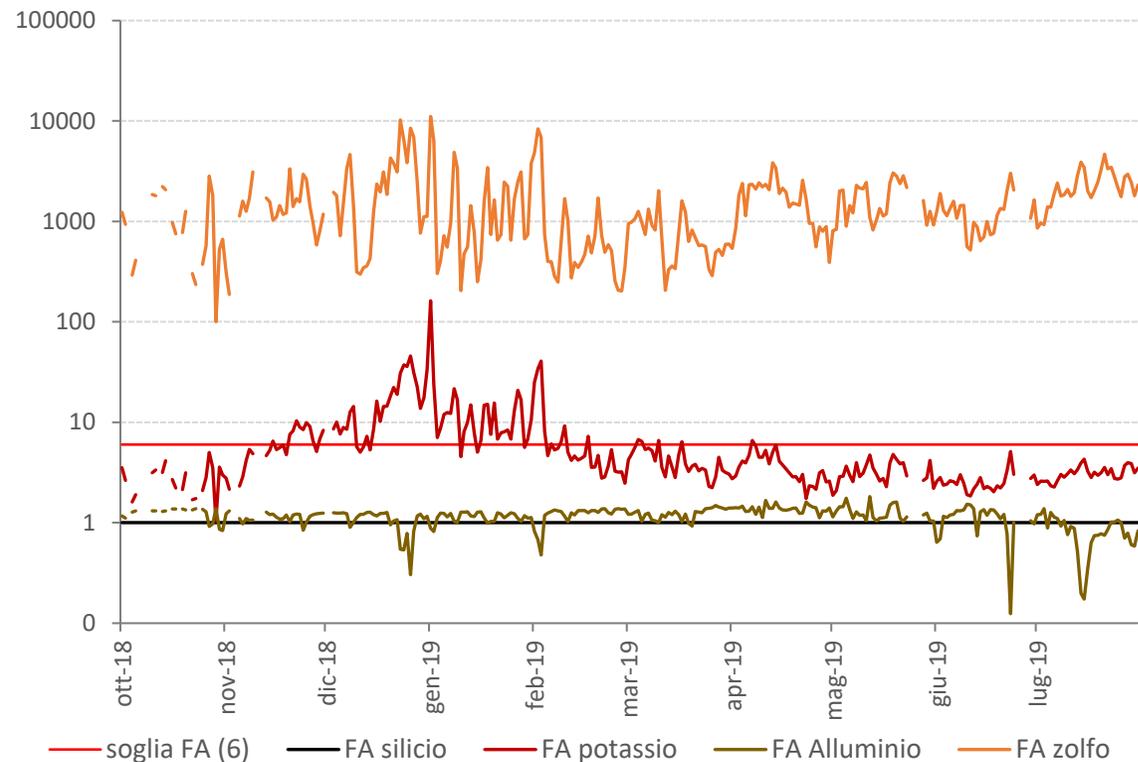
C_X e K_X sono rispettivamente la concentrazione e il coefficiente di conversione in ossido del generico elemento X; FA_X è il fattore di arricchimento dell'elemento X; FA è un valore soglia per i fattori di arricchimento FA_X , opportunamente scelto, per suddividere gli elementi di origine prevalentemente crostale da quelli prevalentemente antropogenici. Il fattore 1.15 tiene conto di Na e Mg non determinati in XRF.

I **Fattori di Arricchimento (FA)** sono indicatori importanti per valutare la causa, antropica o naturale, della presenza degli elementi nel particolato atmosferico. Essi sono stati ottenuti come quoziente tra i rapporti della concentrazione in aria e nel suolo di ciascun elemento e di un elemento di riferimento, nel nostro caso il silicio, considerato di sola origine naturale, secondo la formula:

$$FA_X = (C_X/C_{Si})^{\text{aria}} / (C_X/C_{Si})^{\text{suolo}}$$

Frazione minerale e ossidi antropogenici

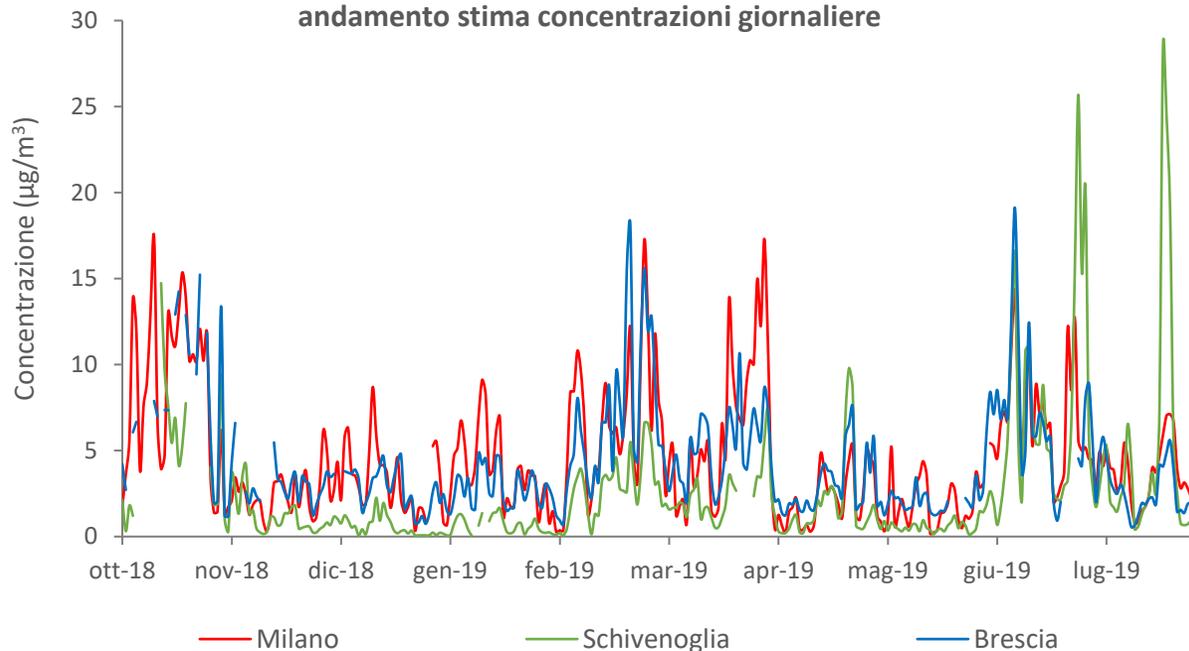
Andamento giornaliero di fattori di arricchimento



N.B. Grafici riferiti al sito di BS-Villaggio Sereno

Frazione minerale e ossidi antropogenici

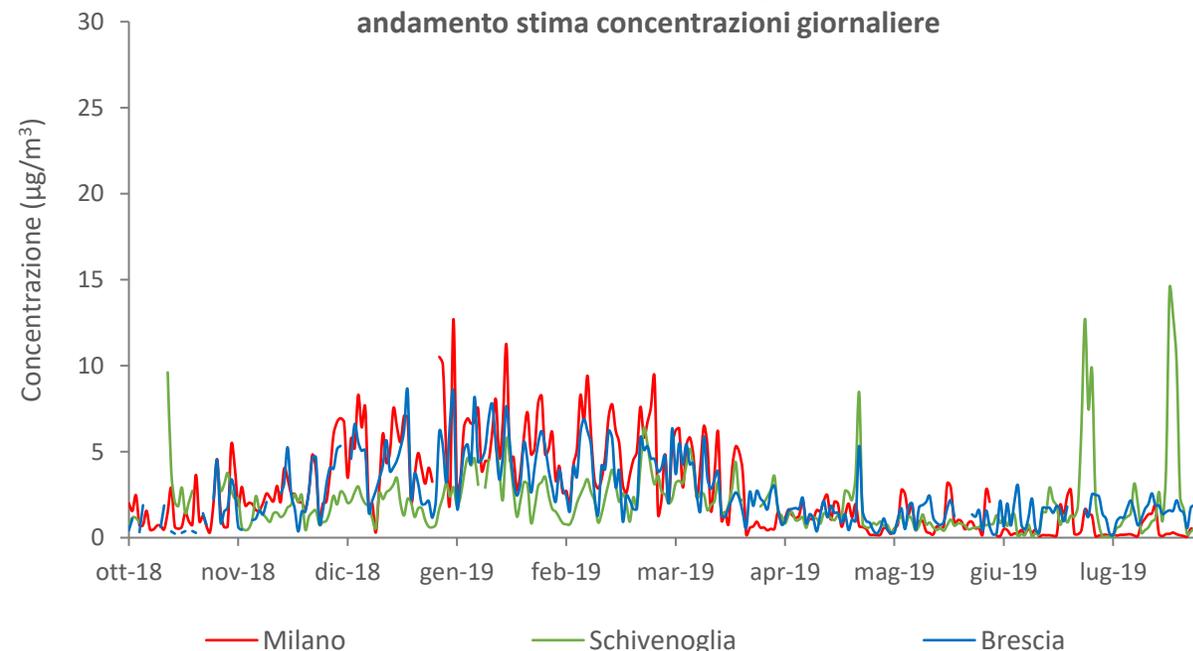
Frazione ossidi materia costale:
 andamento stima concentrazioni giornaliere



Fatto salvo episodi locali, gli andamenti sono modulati prevalentemente dalle condizioni meteorologiche; essendo di natura grossolana risulta più sensibile all'azione delle precipitazioni. Viceversa, si hanno concentrazioni maggiori in corrispondenza di lunghi periodi di siccità o di fenomeni di trasporto di polveri di origine desertica.

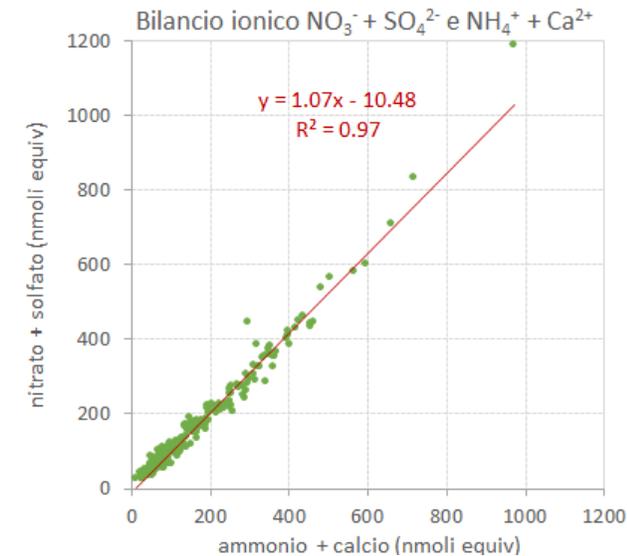
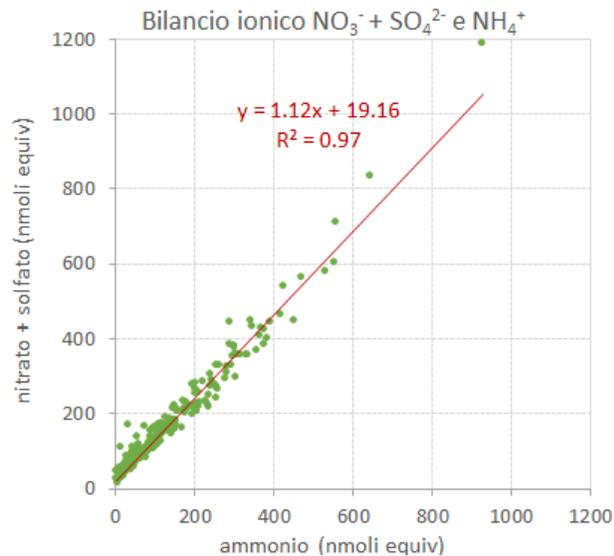
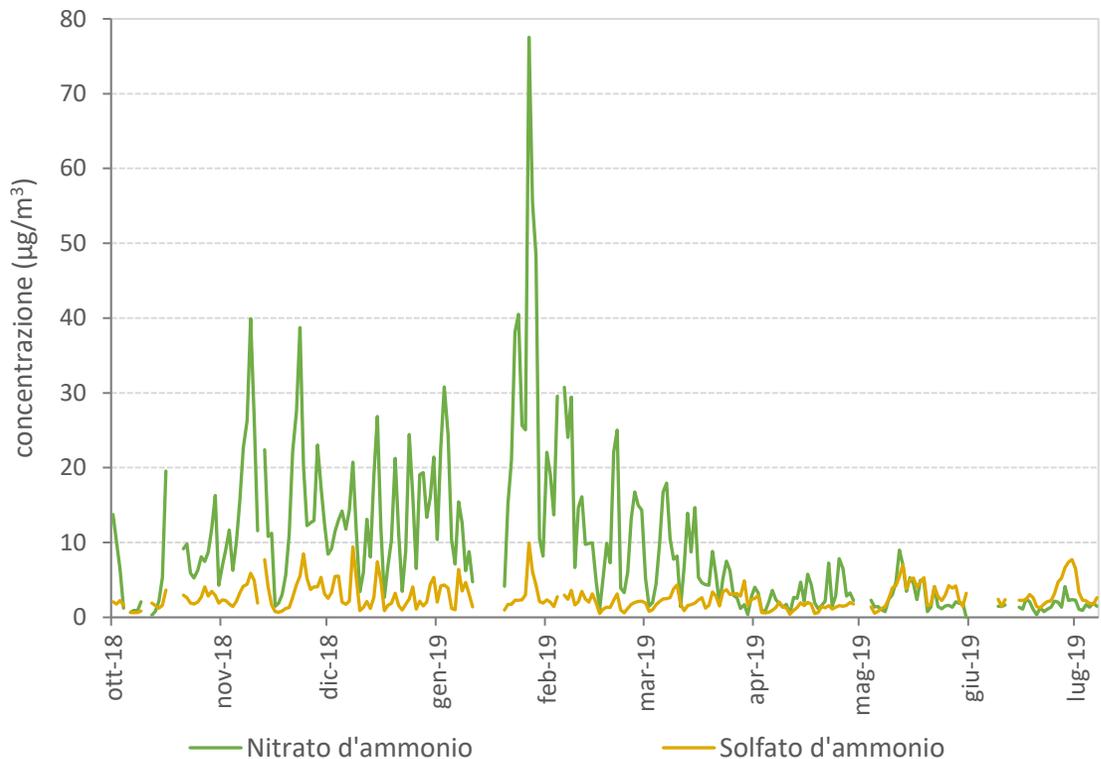
L'andamento delle concentrazioni risulta meno influenzato dalle variabili meteorologiche come le precipitazioni, mentre tende ad assumere valori maggiori durante il periodo invernale a causa sia delle peggiori condizioni dispersive dell'atmosfera sia delle sorgenti antropiche aggiuntive come ad esempio il riscaldamento degli edifici.

Frazione ossidi antropogenici:
 andamento stima concentrazioni giornaliere

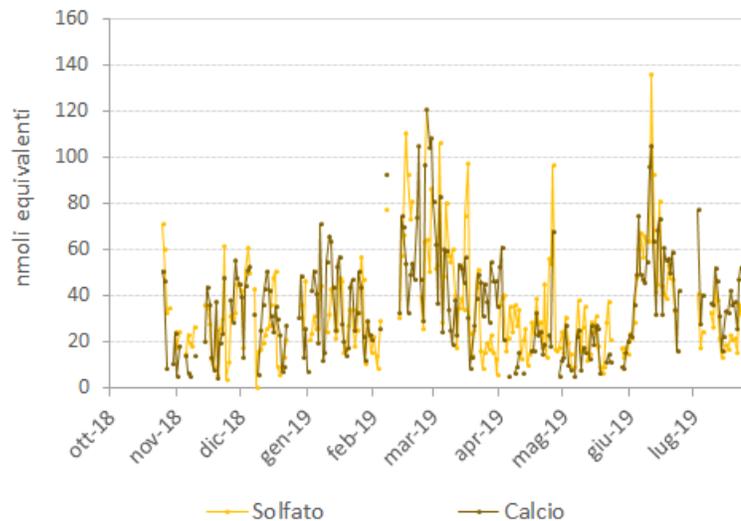


Frazione ioni inorganici

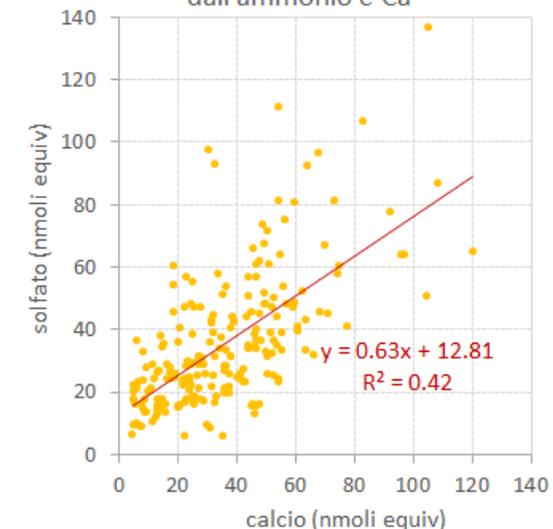
Andamento giornaliero del nitrato e solfato d'ammonio



Andamento calcio e solfato non bilanciato dall'ammonio



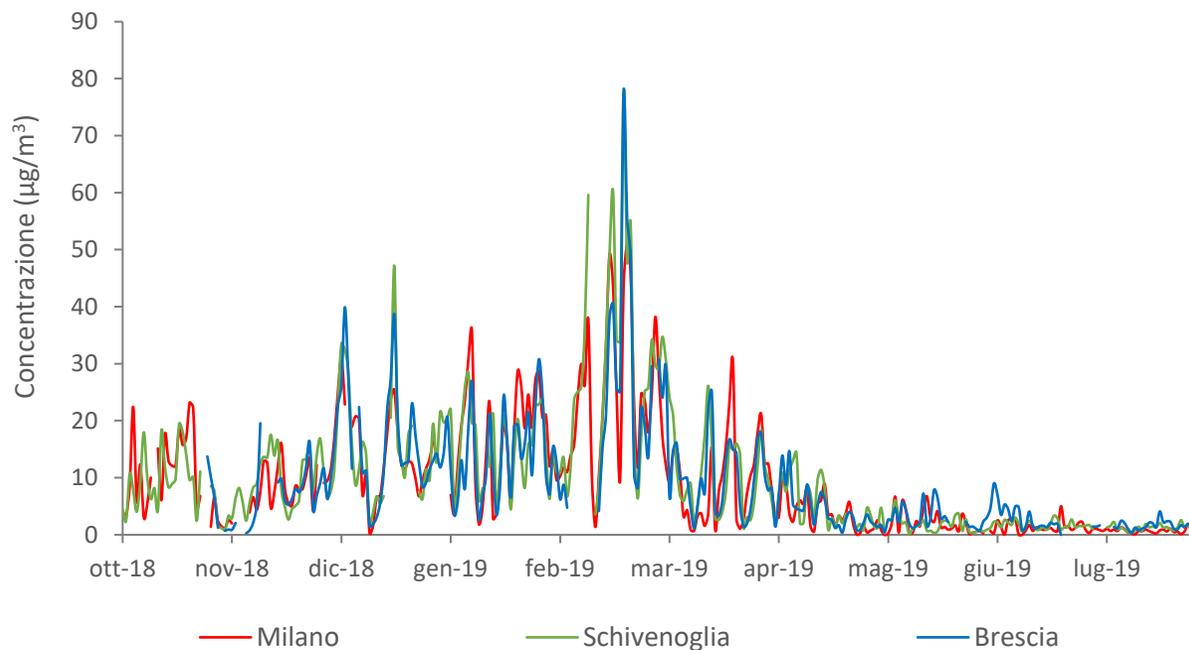
Bilancio ionico SO_4^{2-} non bilanciato dall'ammonio e Ca^{2+}



N.B. Grafici riferiti al sito di BS-Villaggio Sereno

Frazione ioni inorganici

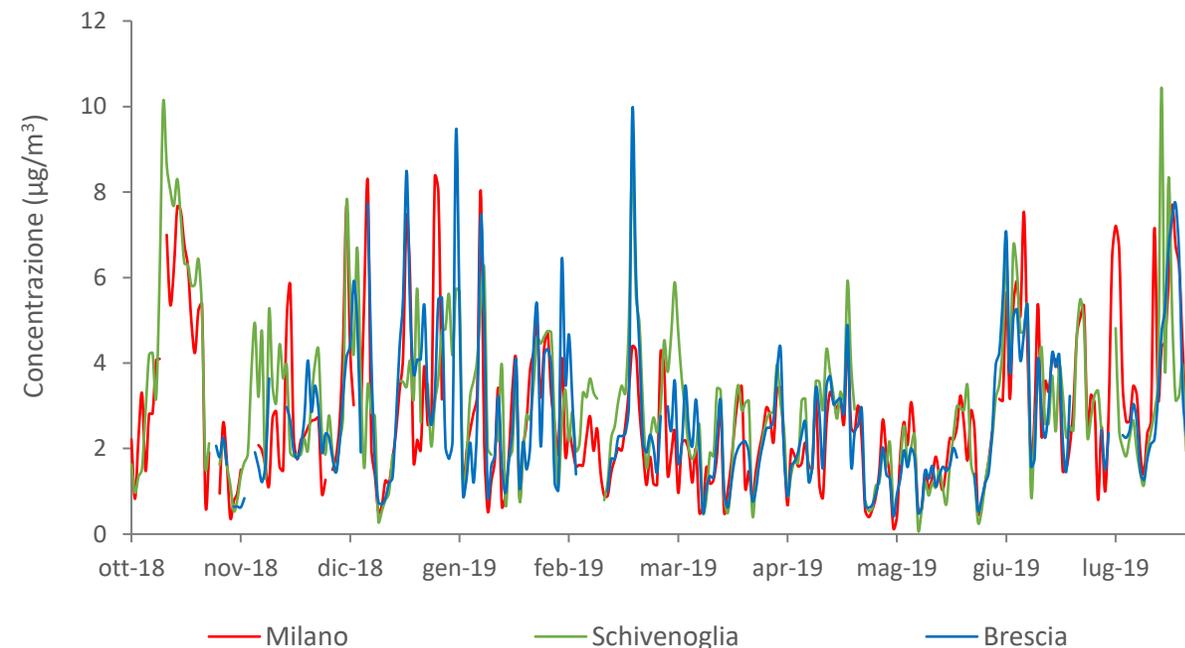
Nitrato d'ammonio: andamento concentrazioni giornaliere



Il nitrato d'ammonio è presente in concentrazioni maggiori durante la stagione invernale mentre durante la stagione estiva, data l'elevata volatilità del composto, le concentrazioni si abbassano notevolmente a causa delle elevate temperature.

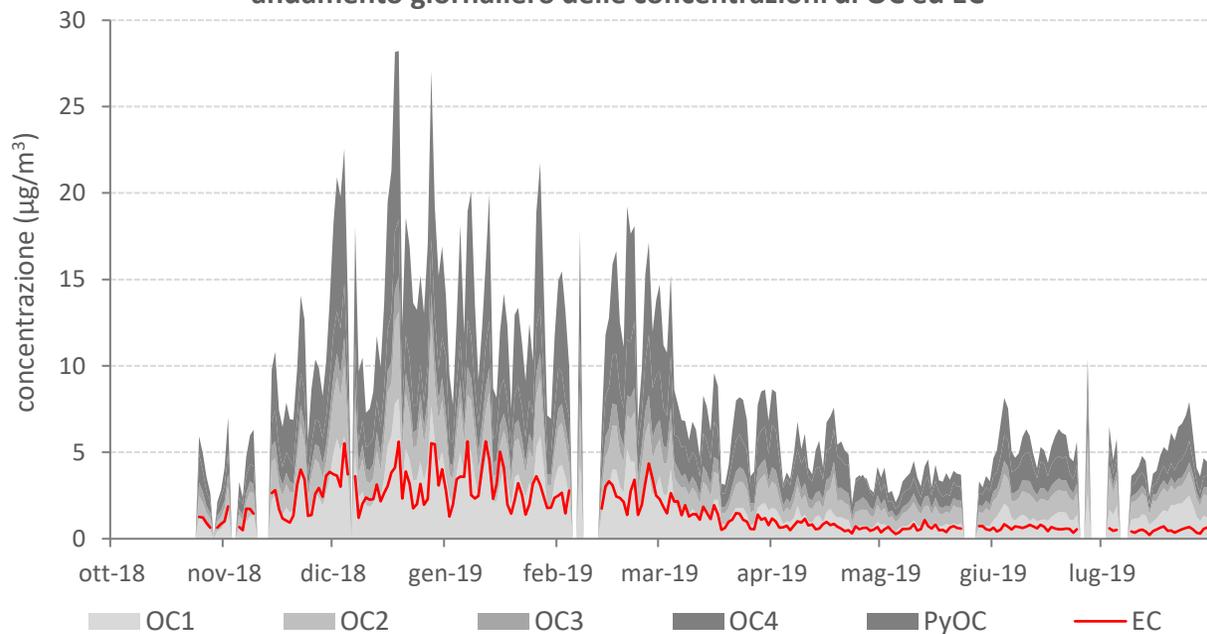
Il solfato d'ammonio è presente in concentrazioni confrontabili in entrambe le stagioni.

Solfato d'ammonio: andamento concentrazioni giornaliere



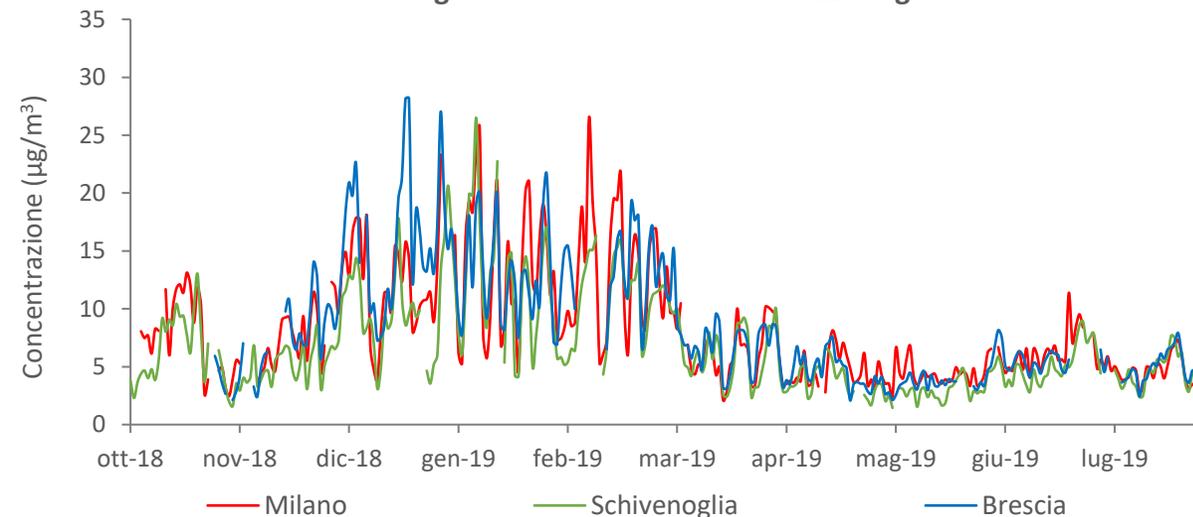
Frazione carboniosa

Frazione carboniosa nel sito di BS-Villaggio Sereno:
 andamento giornaliero delle concentrazioni di OC ed EC

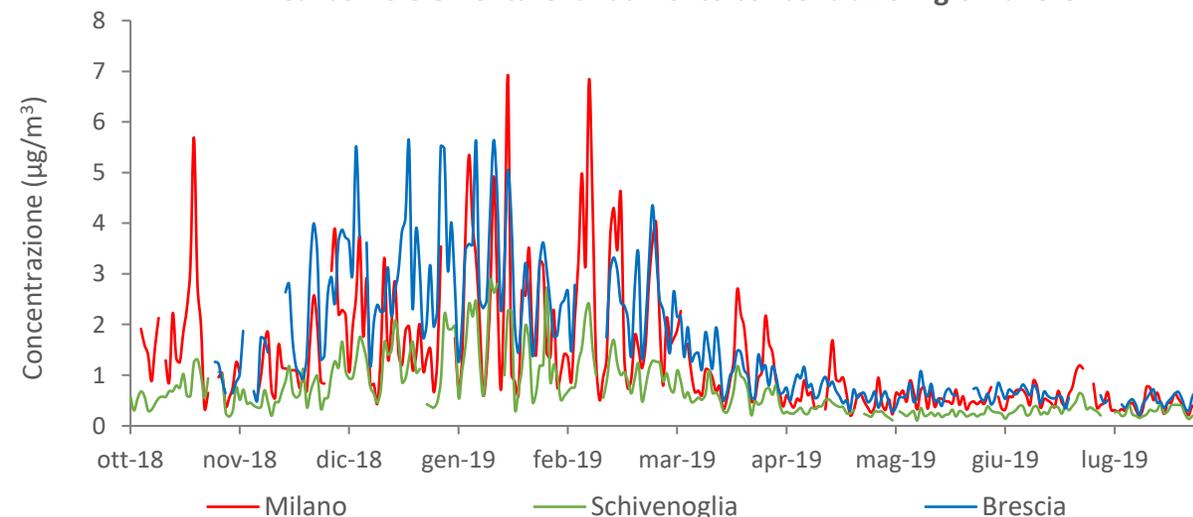


Le diverse componenti del carbonio presentano un andamento temporale correlato, con valori più alti nei mesi più freddi a causa sia delle sorgenti di inquinamento aggiuntive, come ad esempio il riscaldamento degli edifici, sia delle condizioni meteorologiche più favorevoli all'accumulo degli inquinanti al suolo.

Carbonio organico: andamento concentrazioni giornaliere

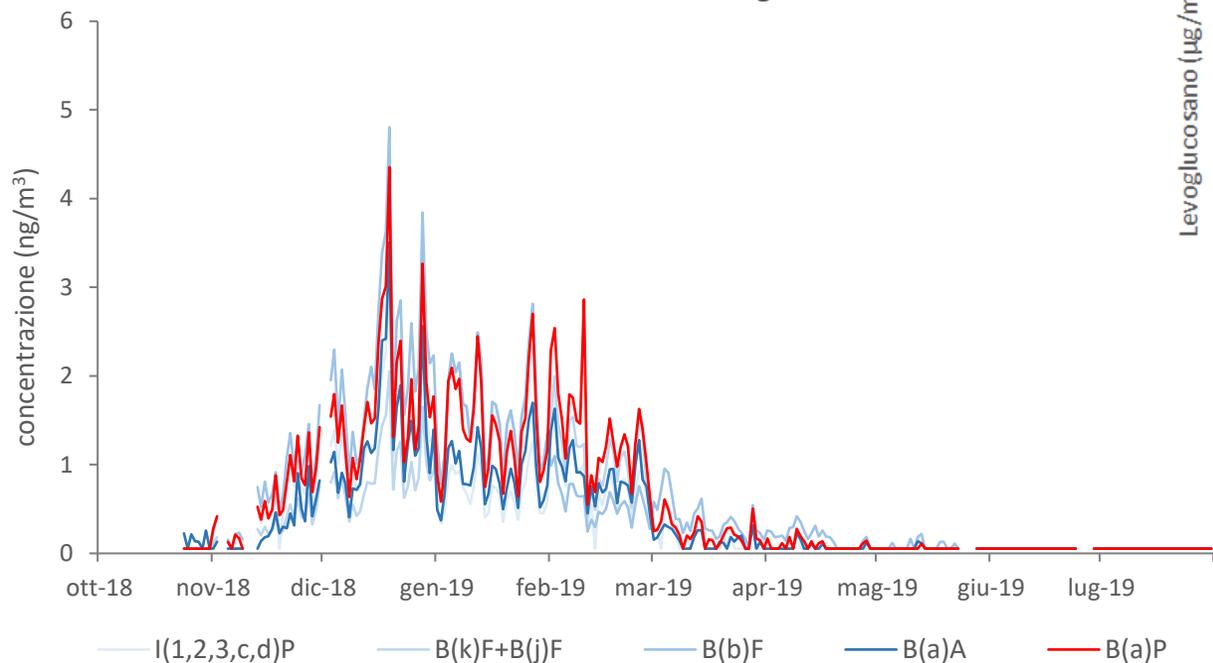


Carbonio elementare: andamento concentrazioni giornaliere



IPA e Levoglucosano

Andamento delle concentrazioni giornaliere di IPA

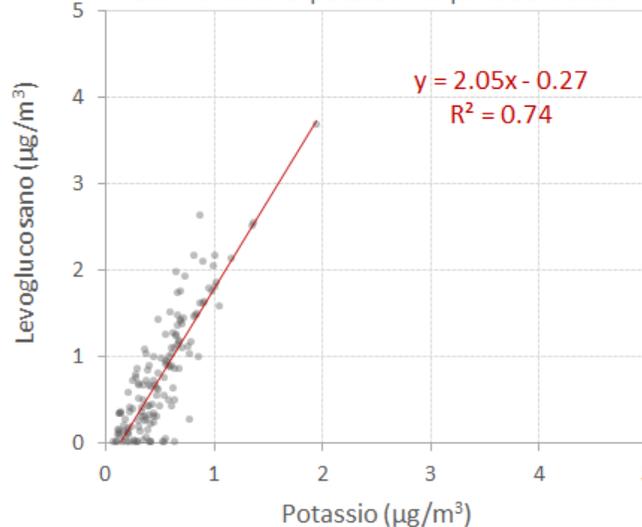


Gli IPA, causa della loro fotodegradabilità, sono minori nel periodo estivo. Tra le combustioni di cui sono traccianti, la sorgente prevalente è la combustione di biomassa.

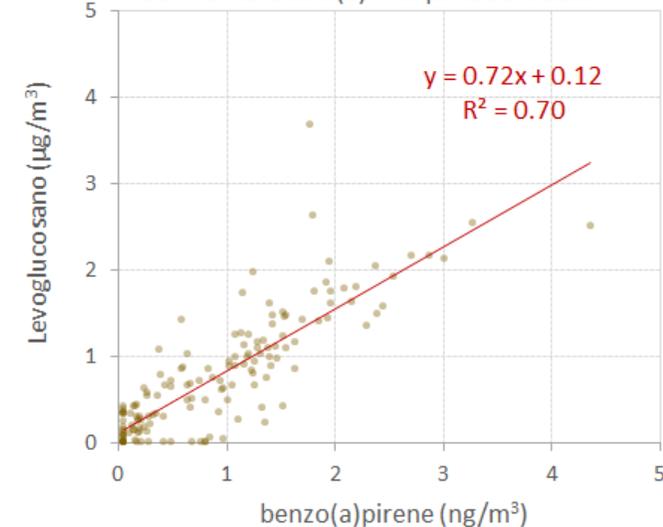
Nel periodo invernale, l'andamento del levoglucosano appare correlato con quello del potassio e del benzo(a)pirene.

N.B. Grafici riferiti al sito di BS-Villaggio Sereno

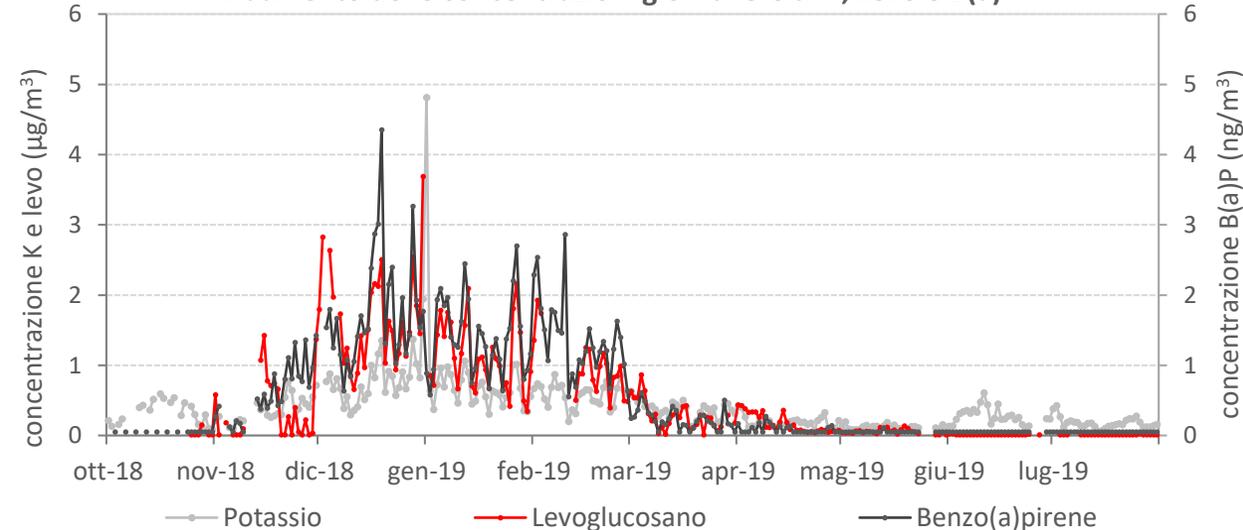
Confronto levo-potassio nel periodo freddo



Confronto levo-B(a)P nel periodo freddo

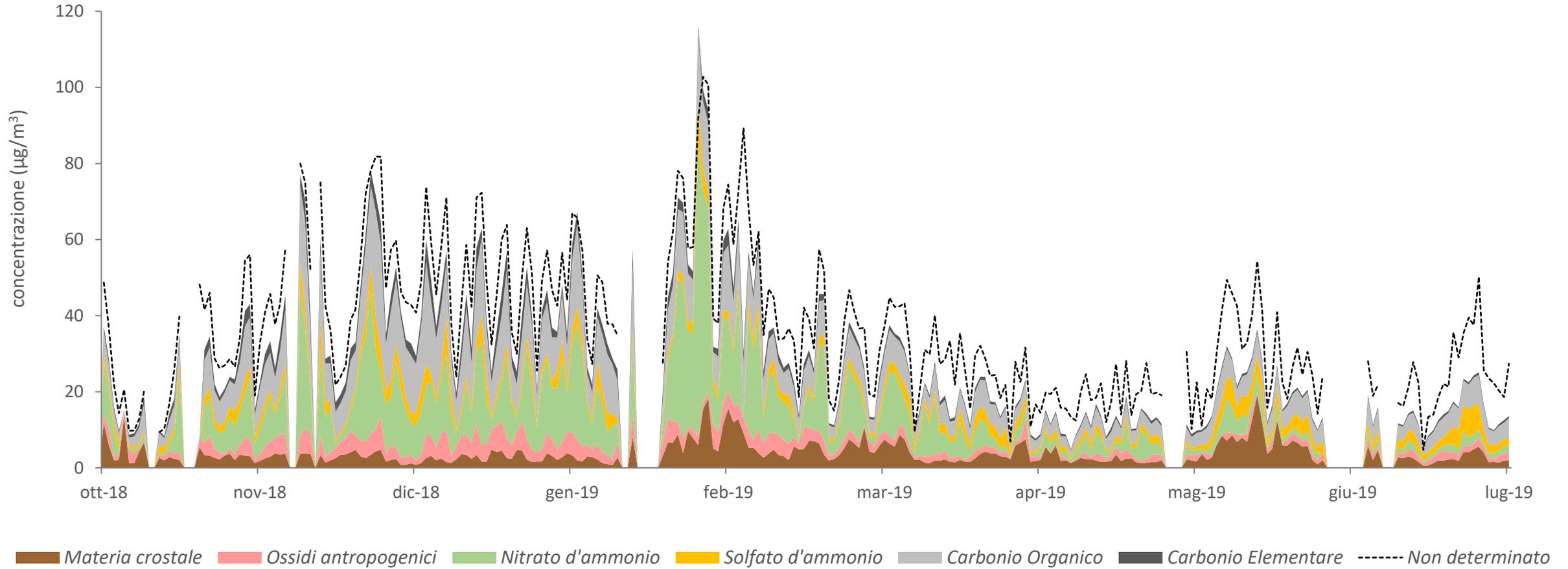


Andamento delle concentrazioni giornaliere di K, Levo e B(a)P



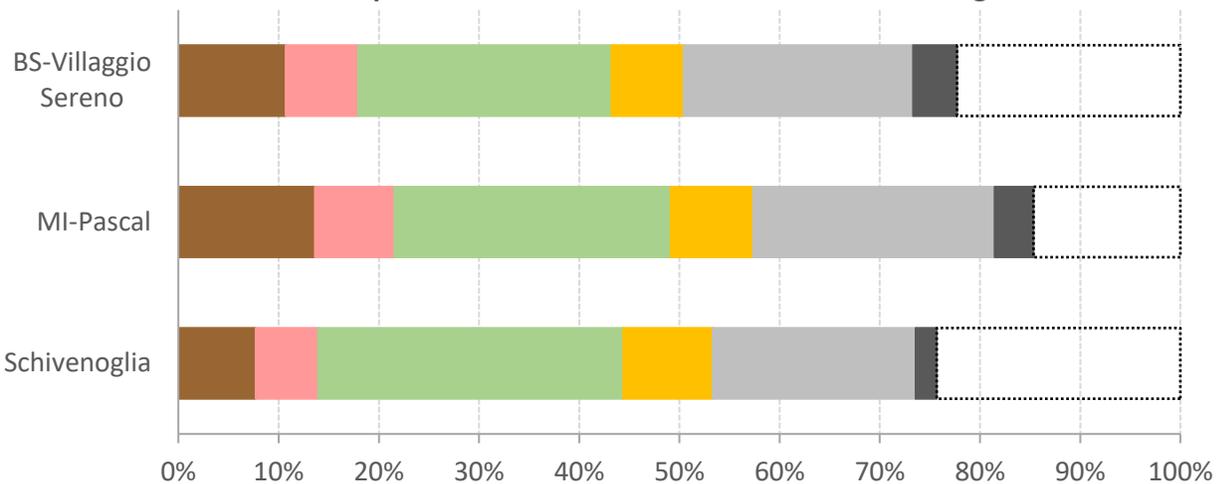
La chiusura di massa del PM10

BS-Villaggio Sereno: Andamento giornaliero della composizione chimica del PM10

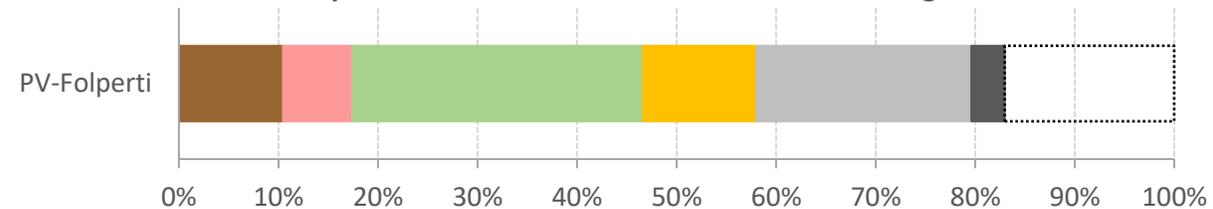


La chiusura di massa del PM10

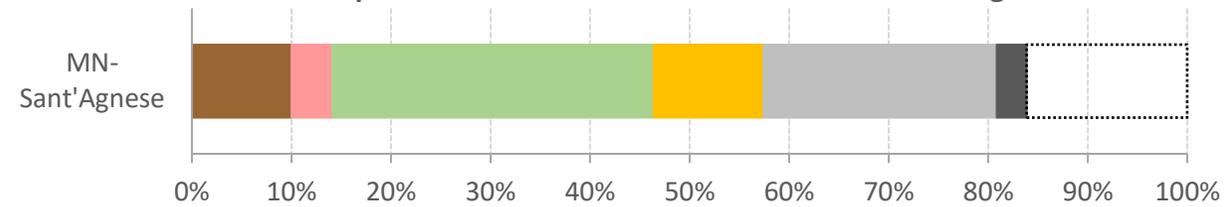
Composizione chimica del PM10 ottobre 2018 ÷ luglio 2019



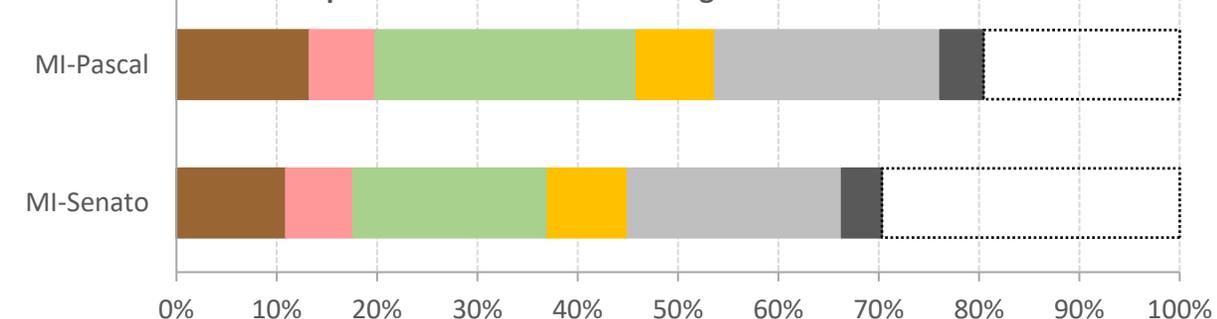
Composizione chimica del PM10 ottobre 2016 ÷ agosto 2017



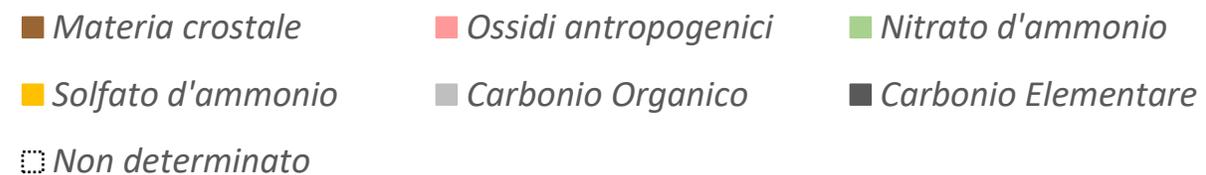
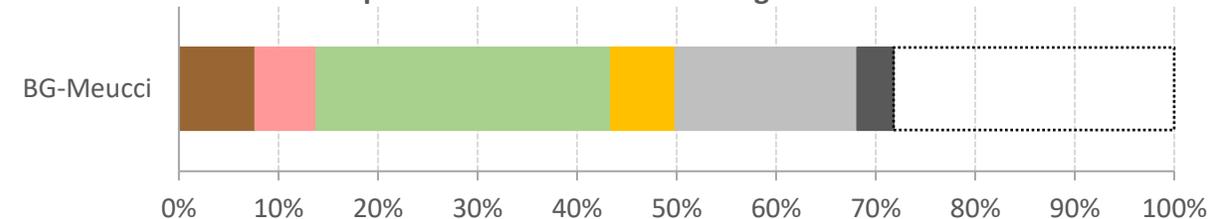
Composizione chimica del PM10 novembre 2017 ÷ luglio 2018



Composizione chimica del PM10 gennaio 2016 ÷ dicembre 2018

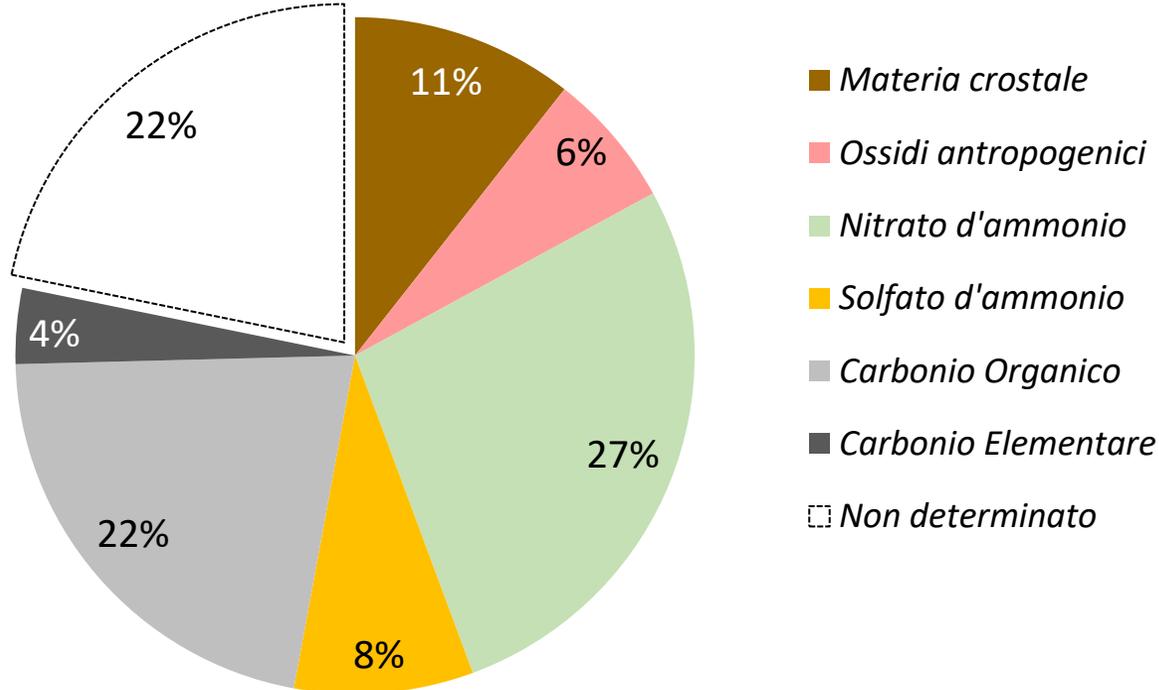


Composizione chimica del PM10 luglio 2016 ÷ marzo 2017

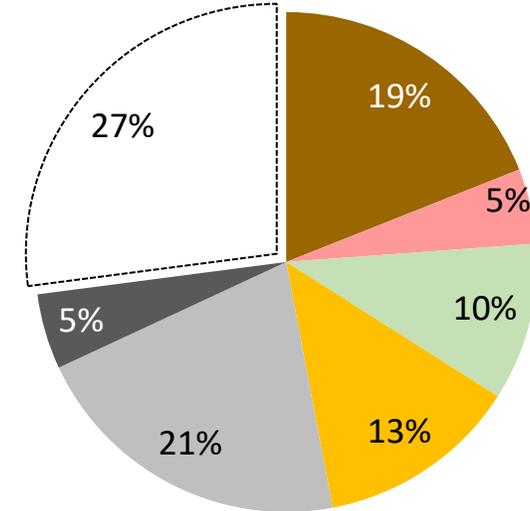


La chiusura di massa del PM10

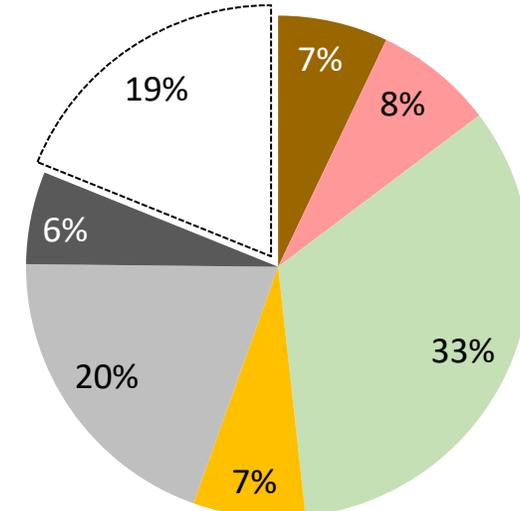
Composizione chimica media del PM10
 Regione Lombardia



Composizione chimica media nel periodo caldo del PM10



Composizione chimica media nel periodo freddo del PM10



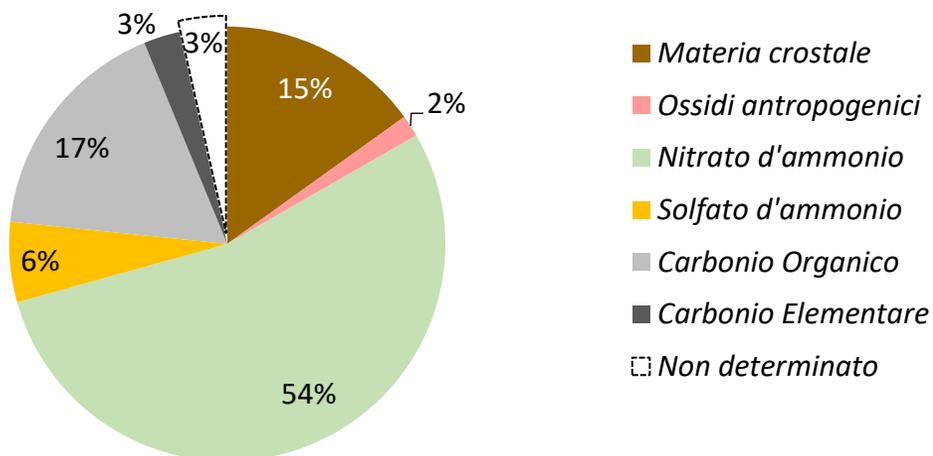
La chiusura di massa del PM10

- Periodo caldo: 15 aprile ÷ 14 ottobre
- Periodo freddo: 15 ottobre ÷ 14 aprile
- Le concentrazioni del periodo freddo risultano mediamente più elevate di quello caldo, a causa sia dalle condizioni atmosferiche particolarmente sfavorevoli alla dispersione degli inquinanti sia alle sorgenti aggiuntive tipiche del periodo invernale (su tutte il riscaldamento).
- In generale, i costituenti principali del PM10 risultano essere il nitrato d'ammonio e la componente organica della frazione carboniosa.
- Con il variare della stagione, le principali differenze si osservano soprattutto sul nitrato d'ammonio, che diminuisce passando dal periodo freddo al periodo caldo, sia in termini assoluti che percentuali. Il nitrato d'ammonio è un sale di origine secondaria la cui formazione è favorita dalle condizioni meteo-climatiche tipiche dei mesi freddi.
- Il solfato d'ammonio, pur rimanendo abbastanza costante in termini assoluti, aumenta in percentuale passando dalla media invernale a quella estiva.
- Il carbonio elementare e la componente degli ossidi antropogenici, passando dal periodo freddo a quello caldo diminuiscono sia in valore assoluto sia in termini percentuali, a causa delle migliori condizioni dispersive dell'atmosfera e lo spegnimento del riscaldamento.
- Per lo stesso motivo, il carbonio organico diminuisce in termini assoluti, seppure non in termini percentuali.
- La materia di origine crostale aumenta nel periodo estivo rispetto a quello invernale, probabilmente a causa della diminuzione delle precipitazioni e dell'umidità, contestualmente all'aumento di temperatura, che rendono il suolo più arido e favorevole a fenomeni di risollevarimento terrigeno.
- La parte di massa non determinata, è da attribuirsi essenzialmente ad altri atomi non quantificati quali, ad esempio, idrogeno e ossigeno, legati al carbonio a formare la Materia Organica (OM) e in parte alla presenza di acqua o altri composti inorganici minoritari. Le frazioni di idrogeno e ossigeno non misurate possono essere stimate: in letteratura il coefficiente di conversione da OC a OM per le emissioni da traffico è pari a 1.2, per le emissioni da combustione di biomasse è pari a 2. Inoltre, durante la stagione estiva le elevate temperature favoriscono la perdita di nitrato d'ammonio in fase di campionamento.

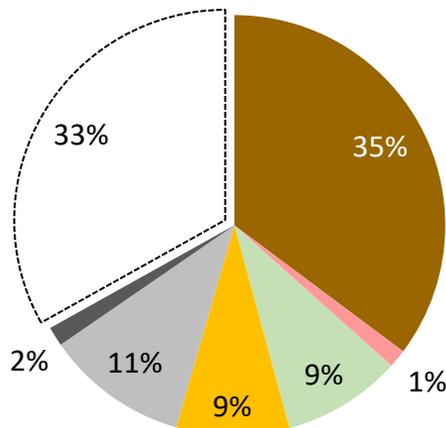
La chiusura di massa del PM10: eventi particolari

BS-Villaggio Sereno:

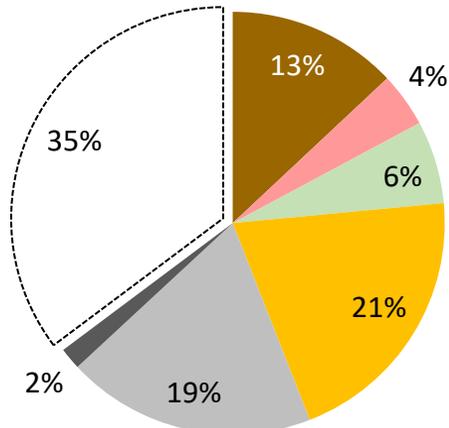
21 febbraio 2019: stabilità atmosferica



11 giugno 2019: sahariana

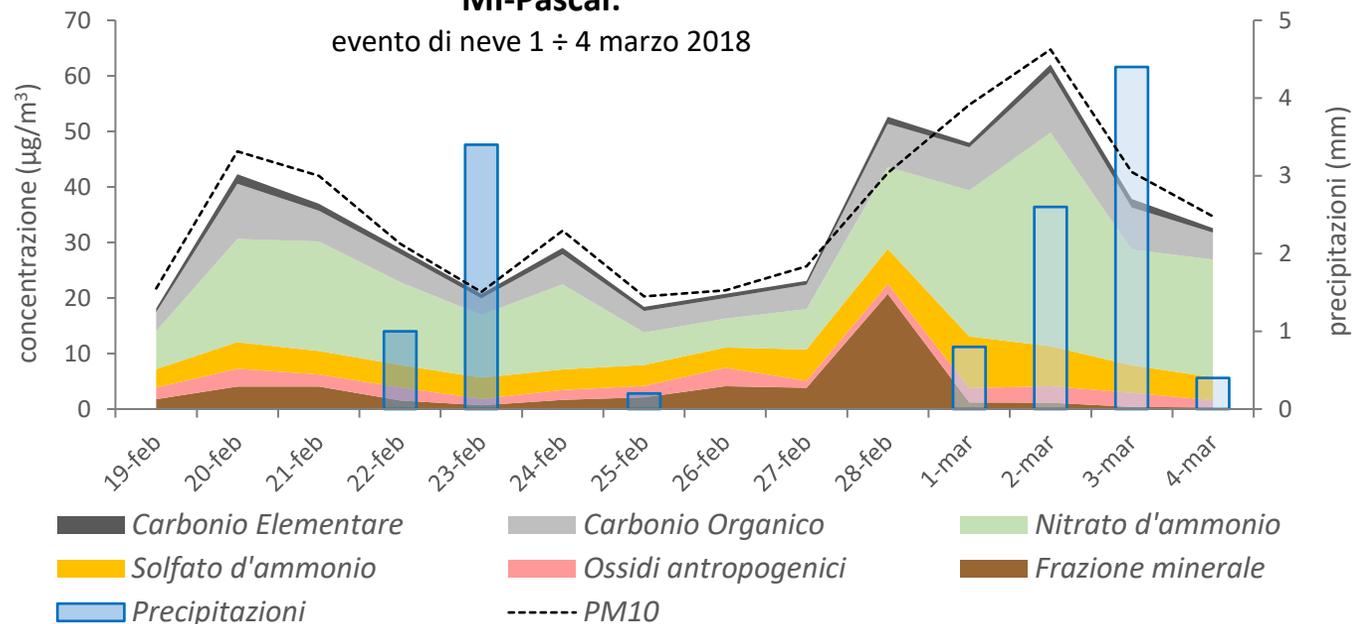


24 luglio 2019: solfato

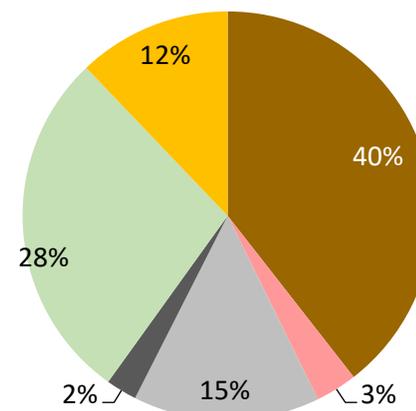


MI-Pascal:

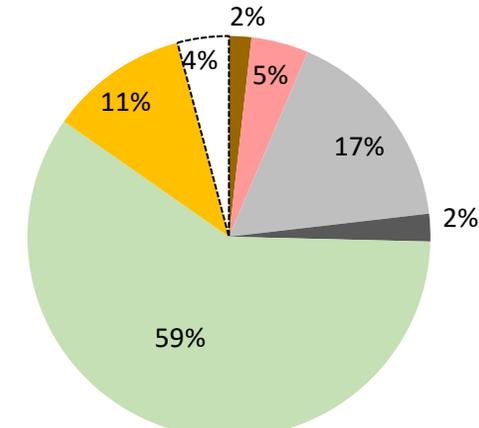
evento di neve 1 ÷ 4 marzo 2018



28 febbraio 2018



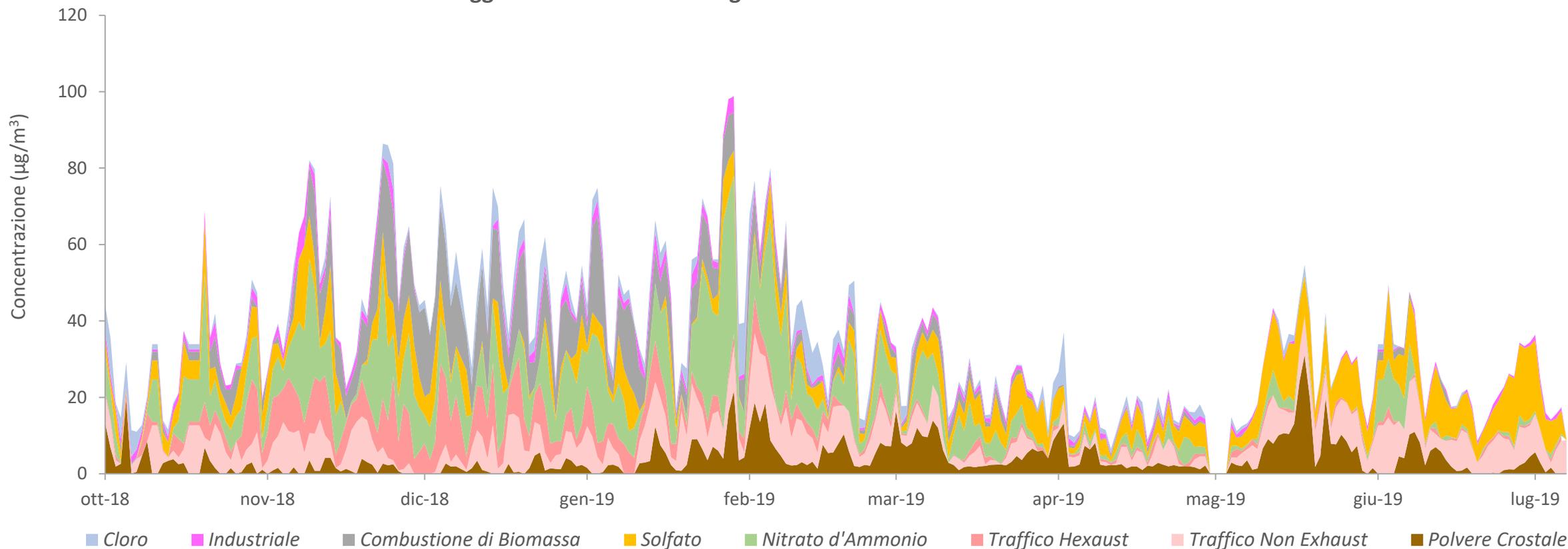
2 marzo 2018



Source Apportionment mediante analisi multivariata

→ Modello a recettore multivariato **PMF**, nella sua ultima versione (PMF5), sviluppato dall'agenzia per la protezione ambientale americana (US-EPA). <http://www.epa.gov/ttn/scram/receptorindex.htm>

BS-Villaggio Sereno: Andamento giornaliero dei diversi fattori identificati dalla PMF



Source Apportionment mediante analisi multivariata

Valutazione quantitativa del contributo delle sorgenti, primarie e secondarie, alle concentrazioni di PM rilevate.

L'analisi si basa su dati ambientali (concentrazione e composizione chimica del PM) misurati nel punto recettore per risalire, sotto la basilare ipotesi di conservazione della massa, al numero, alla tipologia ed al contributo delle diverse sorgenti di emissione che determinano la situazione ambientale osservata.

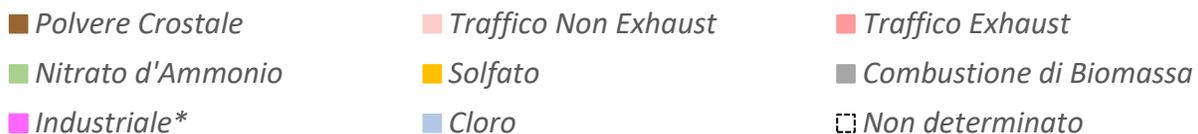
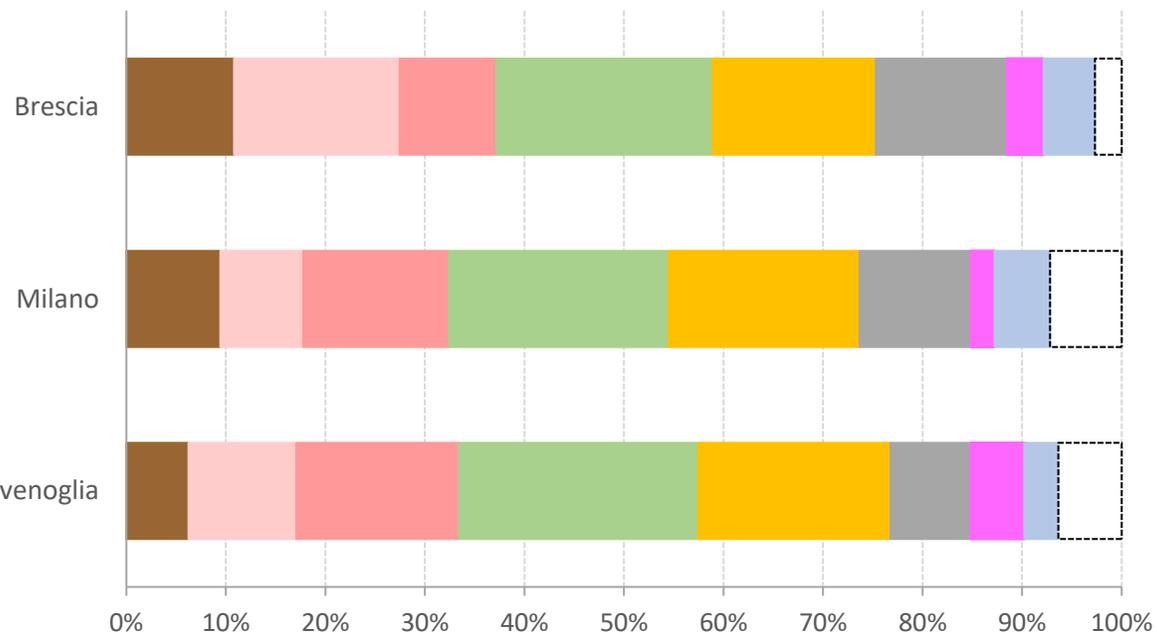
Equazione di bilancio di massa, considerando tutte le m specie chimiche negli n campioni ambientali di PM come contributo di k sorgenti indipendenti:

$$C_{ij} = \sum_{k=1}^N a_{ik} S_{kj}$$

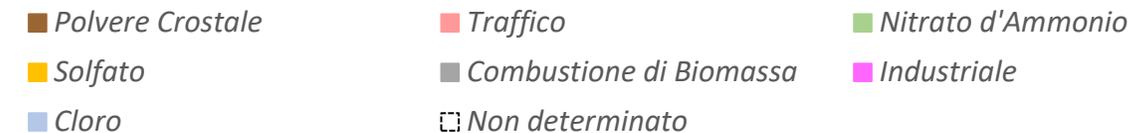
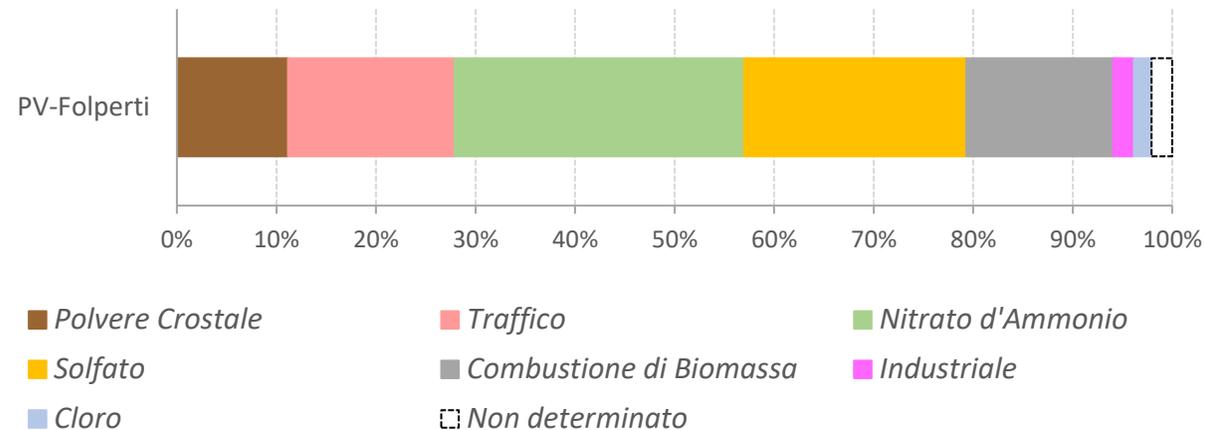
Dove C_{ij} è la concentrazione della i-esima specie nel j-esimo campione, a_{ik} è la frazione di massa della specie i-esima emessa dalla k-esima sorgente e S_{kj} è il contributo della k-esima sorgente al j-esimo campione.

Source Apportionment del PM10

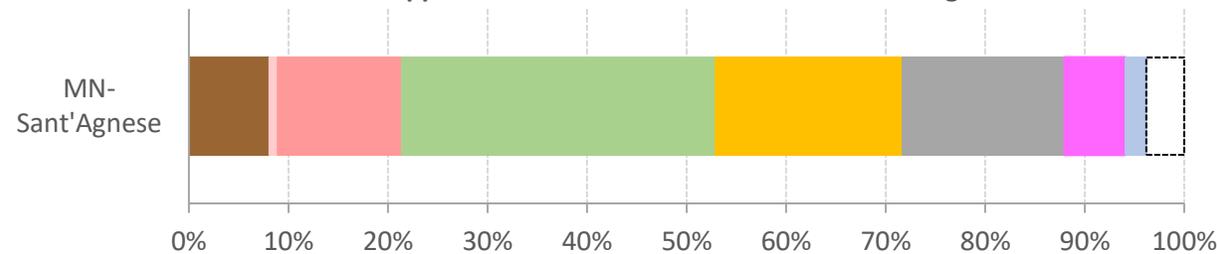
Source Apportionment ottobre 2018 ÷ luglio 2019



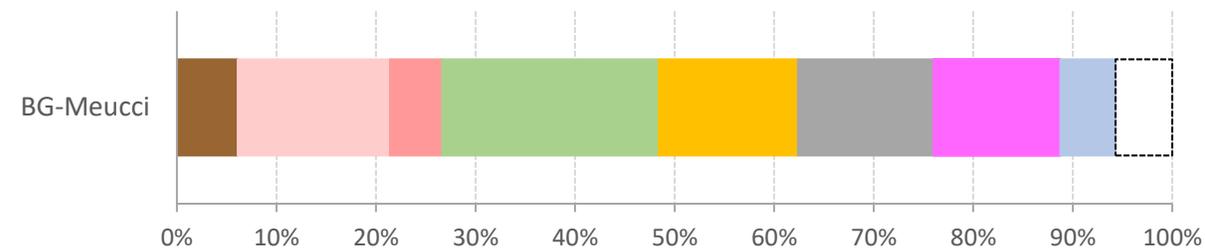
Source Apportionment del PM10 ottobre 2016 ÷ agosto 2017



Source Apportionment del PM10 novembre 2017 ÷ luglio 2018

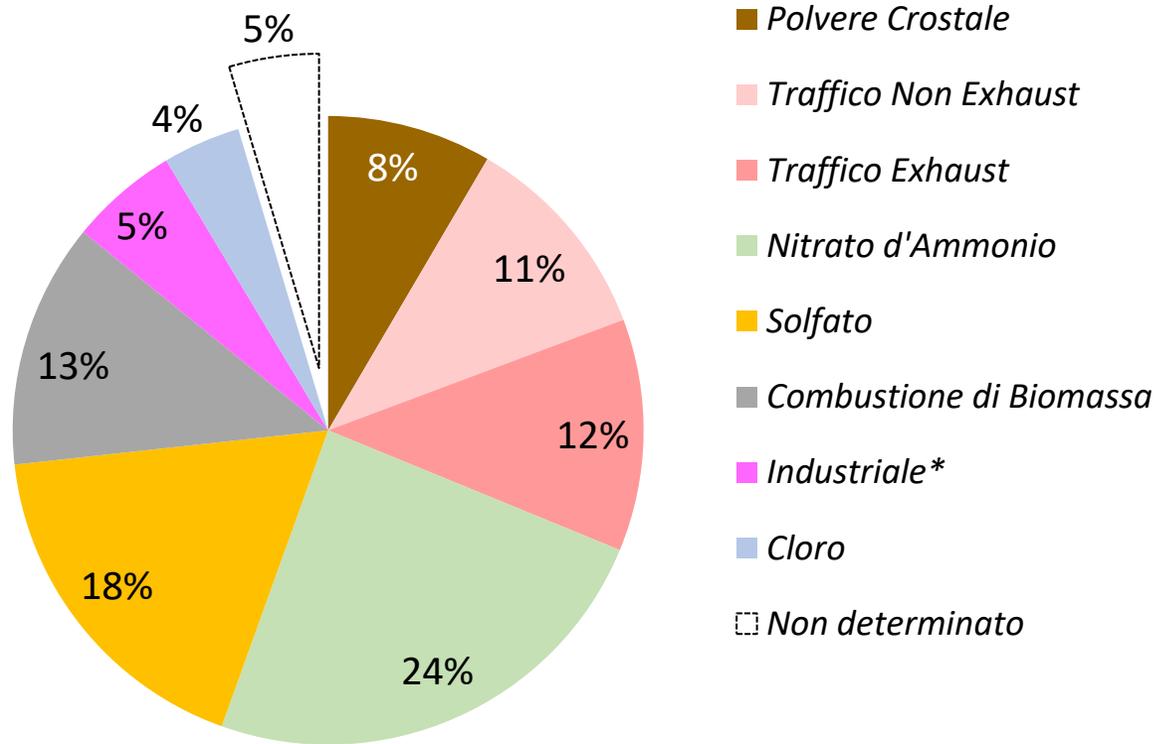


Source Apportionment del PM10 luglio 2016 ÷ marzo 2017

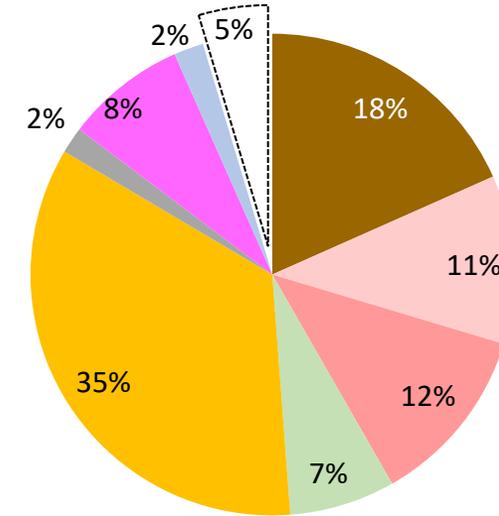


Source Apportionment del PM10

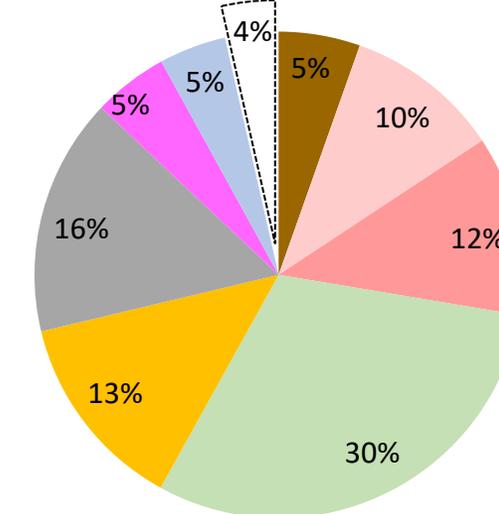
Source Apportionment medio del PM10
 Regione Lombardia



Source Apportionment nel periodo caldo del PM10



Source Apportionment nel periodo freddo del PM10



Conclusioni

Il lavoro di questi anni ha permesso di caratterizzare il PM10 consolidandone alcuni aspetti fondamentali:

- Il PM10 sembra essere in trend negativo (miglioramento)
- La meteo-climatologia rimane una delle forzanti principali
- Forti differenze stagionali
- Il PM10 è un sistema complesso, la parte secondaria è una componente importante
- La componente principale è il nitrato d'ammonio seguito dalla componente organica
- Comprendere il contributo delle sorgenti delle varie componenti
- Comprendere il meccanismo di formazione del nitrato di ammonio (derivazione da ammonica agricola e ossidi di azoto?)
<https://www.arpalombardia.it/Pages/Aria/Aria-Progetti/Progetto-Ammoniaca.aspx>
- La legna (e simili) sono la principale sorgente di polveri da combustioni per il riscaldamento (soprattutto in montagna)
- Il traffico (nella sue componenti Exhaust/Non Exhaust) rimane una sorgente importante soprattutto nei centri urbani

Grazie per l'attenzione