



# Progetto PULVIRUS

## **OBIETTIVO 3 - CARATTERIZZAZIONE DELLA COMPOSIZIONE CHIMICA E DELLA DISTRIBUZIONE DIMENSIONALE DEL PARTICOLATO**



## **AUTORI**

Bacco Dimitri, Scotto Fabiana, Trentini Arianna - Arpae Emilia-Romagna

Algieri Andrea, Colombi Cristina, Cuccia Eleonora - Arpa Lombardia

Cremona Giuseppe, La Torretta Teresa, Malaguti Antonella, Petralia Ettore, Stracquadanio Milena - ENEA

Gualtieri Maurizio - Università Milano Bicocca

## **HANNO COLLABORATO**

Abbate M., Liburdi P. (Arpa Lazio)

Dal Santo U., Di Leo A., Lanzani G. (Arpa Lombardia)

Benassi A., Formenton G. (Arpa Veneto)

Ferrari S., Maccone C. (Arpae Emilia-Romagna)

Amoroso A., Cadoni F., Centioli D., Di Menno A., Marcheggiani G. (Ispra)

Inglessis M., Settimo G. (ISS)



## Sommario

PREMESSA	5
RINGRAZIAMENTI	5
INTRODUZIONE	5
1 - COMPOSIZIONE CHIMICA DEL PARTICOLATO	7
1.1 FRAZIONE CARBONIOSA	7
1.1.1 LEVOGLUCOSANO	13
1.1.2 BLACK CARBON	15
1.2 FRAZIONE IONICA	22
1.2.1 GAS PRECURSORE: AMMONIACA	27
1.3 DISCUSSIONE	32
2 - RIPARTIZIONE DEL PARTICOLATO IN BASE ALLE SUE ORIGINI	34
2.1 SOURCE APPORTIONMENT PM2.5	34
2.1.1 SORGENTI PRIMARIE PM2.5	35
2.1.2 FATTORI SECONDARI PM2.5	39
2.2 SOURCE APPORTIONMENT PM10	42
2.2.1 SORGENTI PRIMARIE PM10	43
2.2.1 FATTORI SECONDARI PM10	47
2.3 DISCUSSIONE	49
3 - ANALISI DEI TREND TEMPORALI CON METODI DI MACHINE LEARNING	51
3.1 COMPONENTI CHIMICHE DEL PM	51
3.1.1 RANDOM FOREST PM2.5	52
3.1.2 RANDOM FOREST PM10	55
3.2 RANDOM FOREST BLACK CARBON	59
3.3 RANDOM FOREST AMMONIACA	62
3.4 DISCUSSIONE	65
4 - DISTRIBUZIONE DIMENSIONALE	66
4.1 DISCUSSIONE	70
5 - FOCUS SUL SITO “ENEA-CR BOLOGNA”	73
6 - CONCLUSIONI	86



APPENDICE I - RIPARTIZIONE DEL PARTICOLATO IN BASE ALLE SUE ORIGINI (Source Apportionment: PMF)	89
I.I - RIPARTIZIONE DEL PM2.5 IN BASE ALLE SUE ORIGINI	89
I.II - RIPARTIZIONE DEL PM10 IN BASE ALLE SUE ORIGINI	106
APPENDICE II - ANALISI DEI TREND TEMPORALI CON METODI DI MACHINE LEARNING, (Random Forest - RF)	112



## PREMESSA

Il particolato atmosferico è uno degli inquinanti atmosferici più critici in Italia, soprattutto il PM10, a causa del numero di superamenti al limite giornaliero stabilito per legge ([DLgs 155/2010](#)), registrati ogni anno e dell'effetto negativo che ha sulla salute<sup>1,2</sup>.

Il PM (*Particulate Matter*) è l'insieme delle particelle solide e liquide presenti in atmosfera e comprende principalmente polvere, fumo, particelle di suolo, fuliggine. Si compone di una notevole varietà di sostanze, alcune emesse tal quali in aria da processi naturali o dall'attività umana (definite primarie) e altre che si generano in atmosfera (chiamate secondarie) per trasformazioni di altre specie in essa presenti (precursori).

Sul sito del [progetto Pulvirus](#) è possibile trovare informazioni sulle principali componenti del particolato, trattate di seguito.

## RINGRAZIAMENTI

I partecipanti all'obiettivo 3 tengono a rivolgere un sentito ringraziamento al proprio gruppo di lavoro, a gli Istituti, gli Enti e le Agenzie che hanno messo a disposizione le proprie misure per permettere lo svolgimento delle attività del progetto Pulvirus.

## INTRODUZIONE

Durante il periodo febbraio-maggio 2020 essendo in vigore regole stringenti di limitazione delle attività e di distanziamento fisico tra le persone (DPCM 23/02/2020 e successivi), volte a ridurre la diffusione del Covid-19 (primo *lockdown*: 9 marzo - 14 giugno 2020: Fase 1 e 2), si sono ridotte come mai in precedenza molte delle principali sorgenti emmissive antropiche di inquinanti atmosferici, in particolare legate al trasporto e, in misura più limitata, alla attività produttive. Questo ha generato riduzioni delle concentrazioni in atmosfera di inquinanti come gli ossidi di azoto, anche del 40-60%<sup>1,2</sup>. Il particolato, pur raggiungendo valori inferiori a quelli che si sarebbero potuti avere in assenza del *lockdown*, sembrerebbe aver mostrato cali decisamente più contenuti, intorno al 10-20%<sup>1,2</sup>, probabilmente a causa della sua natura varia e complessa.

Mentre le azioni di limitazione alla circolazione e chiusura di attività, possono agire in maniera diretta sulla componente primaria, il loro effetto sembra essere più limitato sulle componenti secondarie, che hanno nelle condizioni meteorologiche la discriminante principale alla loro formazione. Inoltre, alcune delle sorgenti di particolato o dei suoi precursori non hanno avuto riduzioni (come le attività agricole e le attività produttive essenziali) o potrebbero essere aumentate di intensità come conseguenza dell'obbligo della popolazione a non uscire di casa (come il riscaldamento domestico).



Capire maggiormente come la variazione della pressione delle diverse sorgenti territoriali abbia agito sulla concentrazione del particolato è difficile e richiede anche la distinzione tra la parte primaria e secondaria di esso: lo studio delle diverse specie che lo compongono, sia in modo maggioritario che in tracce, può dare importanti indicazioni in questo senso e all'interno dell'Obiettivo 3 del Progetto Pulvirus sono stati analizzati questi dati e il loro andamento nel tempo. Ulteriori considerazioni si possono ricavare anche dalla conoscenza della distribuzione dimensionale e dalla concentrazione in numero delle particelle, e dall'andamento di alcuni inquinanti non convenzionali come l'ammoniaca e il *black carbon*.

Siccome queste informazioni non coprono omogeneamente l'intero territorio, gli approfondimenti sono stati fatti in base alla disponibilità spaziale dei diversi parametri (Report 1 Ob.3).

Le attività dell'obiettivo 3 si sono concentrate perciò sull'analizzare la variazione delle concentrazioni delle componenti chimiche del particolato, e di alcuni inquinanti specifici come *black carbon* e ammoniaca, dall'inizio della pandemia rispetto a quanto registrato negli anni precedenti e se tali variazioni fossero statisticamente significative o meno laddove presenti cercando di distinguere tra diminuzioni legate a trend già in essere o indotte dalle misure contro il Covid19. Per quanto possibile si è inoltre cercato di legare gli inquinanti alle sorgenti emissive principali per valutare anche l'effetto delle variazioni delle specifiche sorgenti individuabili con analisi di *source apportionment*. Essendo le concentrazioni degli inquinanti in atmosfera strettamente legate alle condizioni meteo si è, infine, cercato di valutare anche l'influenza di questo elemento sui valori misurati.



## 1 - COMPOSIZIONE CHIMICA DEL PARTICOLATO

La caratterizzazione chimica delle componenti del particolato non è comunemente eseguita all'interno di SNPA: più comunemente sono condotte campagne specifiche per periodi di tempo limitato o per specifici traccianti, oppure vengono effettuate analisi cumulate nel tempo che restituiscono un valore medio, ad esempio mensile, di una o più specie chimiche. L'inatteso innescarsi degli eventi legati alla diffusione della pandemia e le restrizioni introdotte per contenerla non hanno però permesso di pianificare ed eseguire, nella maggior parte dei casi, delle campagne *ad hoc*.

Le informazioni necessarie a verificare i cambiamenti prodotti nella composizione del particolato prevederebbero serie storiche di riferimento e analisi giornaliere. Questo restringe la possibilità di analisi a pochi siti, in particolare al *dataset* PM10 prodotto all'interno del [progetto Prepair](#), che è già stato analizzato in un [report](#) appositamente redatto dal gruppo di lavoro Prepair, arricchito con una serie storica dal 2013 per 2 siti urbani di Milano (Milano Pascal, MI-PSC, e Milano Senato, MI-SE) e a un *dataset* di composizione di PM2.5 di 3 siti urbani (Bologna, Parma e Rimini) e 1 sito rurale (S. Pietro Capofiume, BO).

Al contrario, alcune misure specifiche (ad esempio quella dell'ammoniaca) sono disponibili in diverse aree nazionali e sono stati considerati tutti i siti a disposizione.

Dettagli su siti, serie storiche e analiti considerati sono disponibili sul report delle attività svolte dall'obiettivo 3 (Report 1 Ob.3).

### 1.1 FRAZIONE CARBONIOSA

Uno degli elementi maggiormente presenti nel particolato in atmosfera è il carbonio, la parte di massa attribuibile ad esso è definita come "frazione carboniosa".

Esso si presenta principalmente legato solo a se stesso, carbonio elementare (EC), come nella fuliggine, oppure legato anche ad altri elementi (H, O, S, N, Cl, ...) per costituire molte specie organiche diverse (carbonio organico, OC).

Mentre il carbonio elementare è legato esclusivamente a sorgenti primarie da combustione (antropiche - salvo casi eccezionali come gli incendi - principalmente traffico e biomassa legnosa), il carbonio organico presente sulle particelle comprende un insieme di sostanze primarie, sia antropiche che naturali, e di sostanze secondarie, formatesi in atmosfera per ossidazione, condensazione o, più in generale, trasformazione di composti pre-esistenti o precursori gassosi detti COV, cioè composti volatili del carbonio.

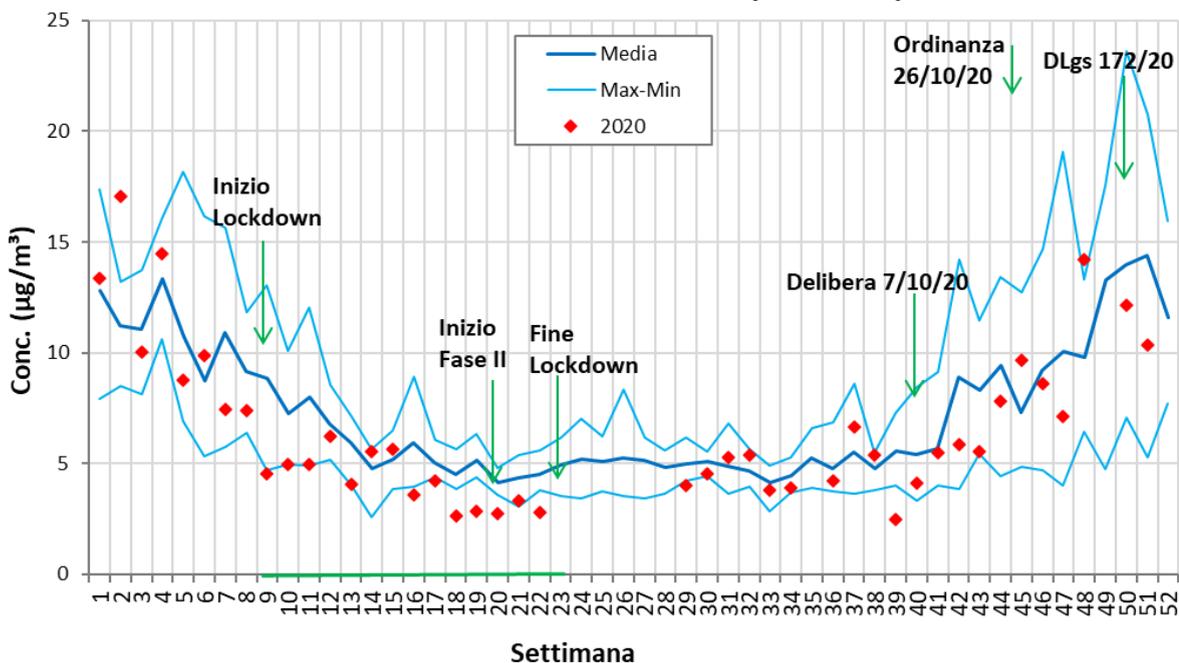
L'insieme delle sostanze organiche primarie può essere definito come aerosol primario organico (POA: *Primary Organic Aerosol*); la frazione secondaria è identificata con il nome aerosol secondario organico (SOA: *Secondary Organic Aerosol*).

Tuttavia, la quantificazione del carbonio organico presente nel PM non rappresenta l'esatta quantità di massa di particolato espressa dalla somma delle sostanze organiche. Tale quantità, definita materia organica (OM: *Organic Matter*), deve infatti tenere conto, oltre che degli atomi di carbonio, anche degli altri atomi presenti nelle molecole organiche.



Nelle Figure 1.1 e 1.2 sono riportati gli andamenti settimanali di OC e di EC rilevati nel 2020 (rombi rossi) rispetto agli andamenti minimo, medio e massimo delle serie storiche 2013-2019 per il PM10 di Milano e 2012-2019 per il PM2.5 di Bologna, rispettivamente. Le Figure 1.3 e 1.4 riportano, invece, le medie annuali di OC, EC e del loro rapporto, dal 2013, evidenziando la tendenza della serie storica rispetto al 2020. Infine, nelle Tabelle 1.1-1.3 vengono riportate le statistiche sintetiche per una lettura più immediata delle differenze percentuali; per eliminare parte della eventuale tendenza della serie storica, si è scelto di mediare sul periodo 2016-2019 rispetto al 2020 e i confronti sono effettuati sulla media annua e sulla media del periodo di *lockdown*.

### OC nel PM10 2013-2019 vs 2020 (MI-Pascal)



### EC nel PM10 2013-2019 vs 2020 (MI-Pascal)

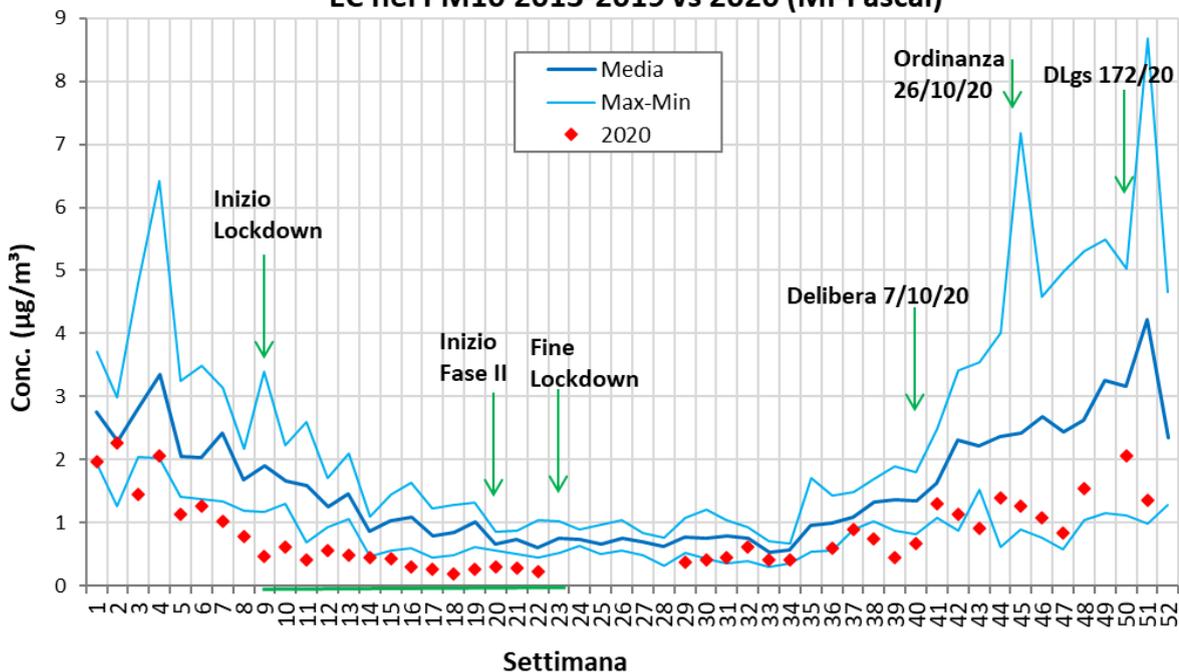


Figura 1.1. Media settimanale di OC (in alto) e EC (in basso) nel PM10 nel 2020 rispetto alla serie storica disponibile (2013-2019) per il sito di Milano Pascal (*urban background*). Le linee verdi indicano i periodi di limitazione alla circolazione delle persone.

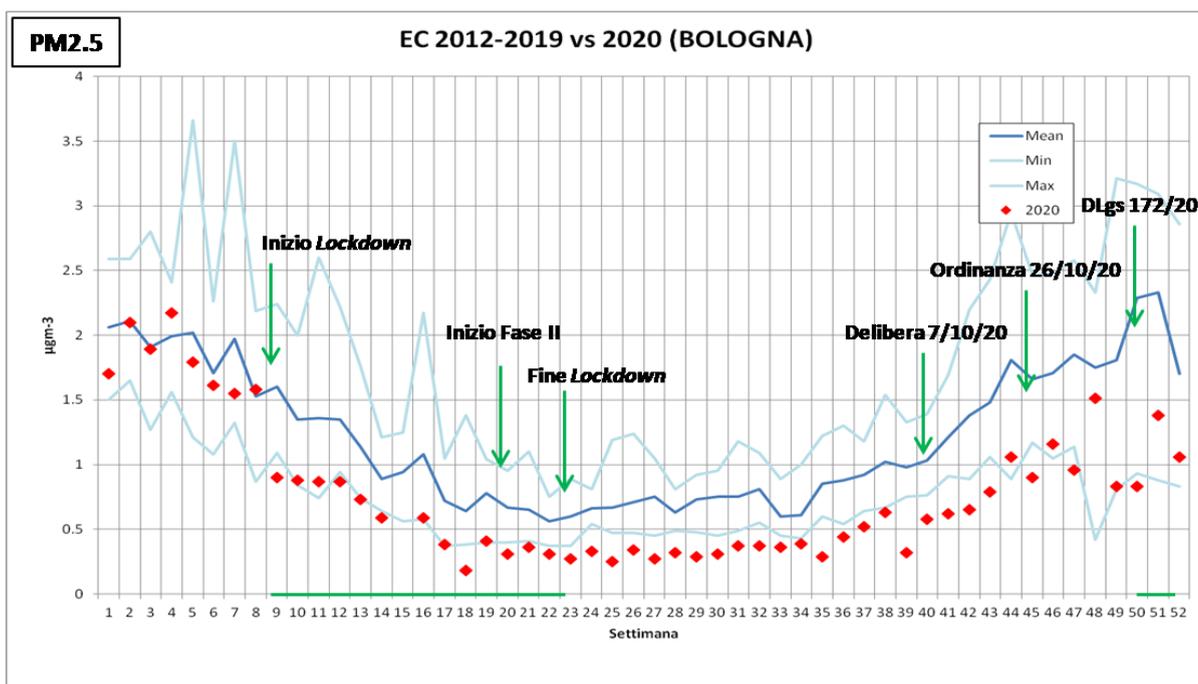
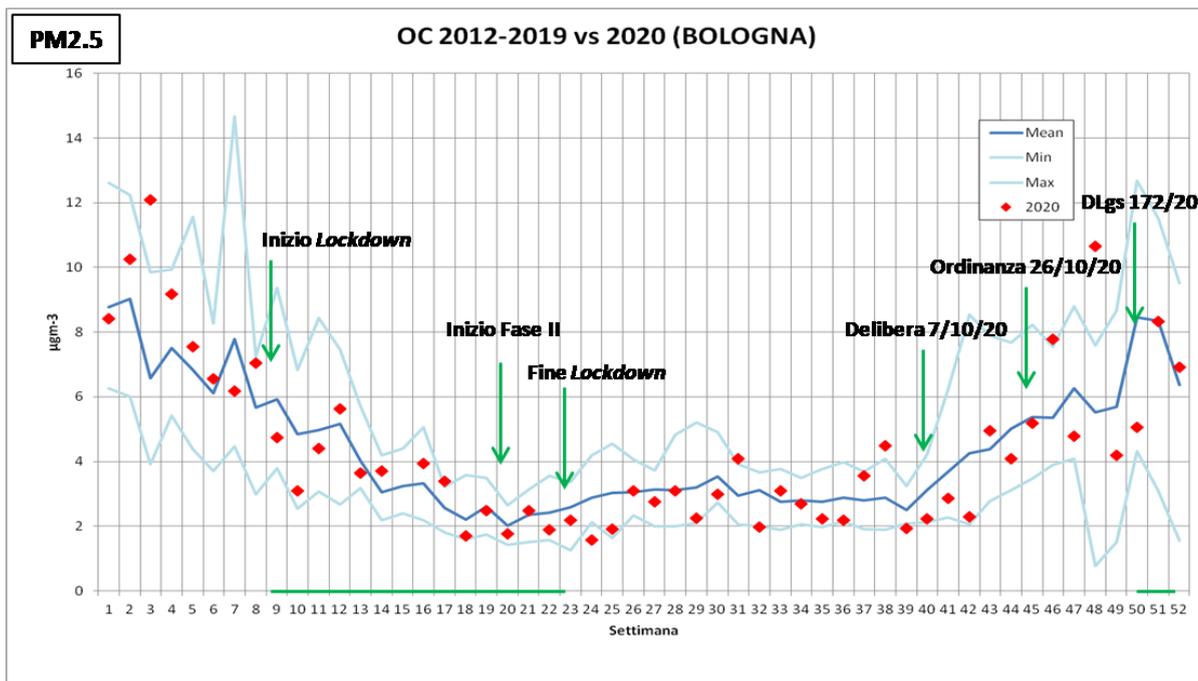


Figura 1.2. Media settimanale di OC (in alto) e EC (in basso) nel PM2.5 nel 2020 rispetto alla serie storica disponibile (2012-2019) per il sito di Bologna (*urban background*). Le linee verdi indicano i periodi di limitazione alla circolazione delle persone.

### PM10

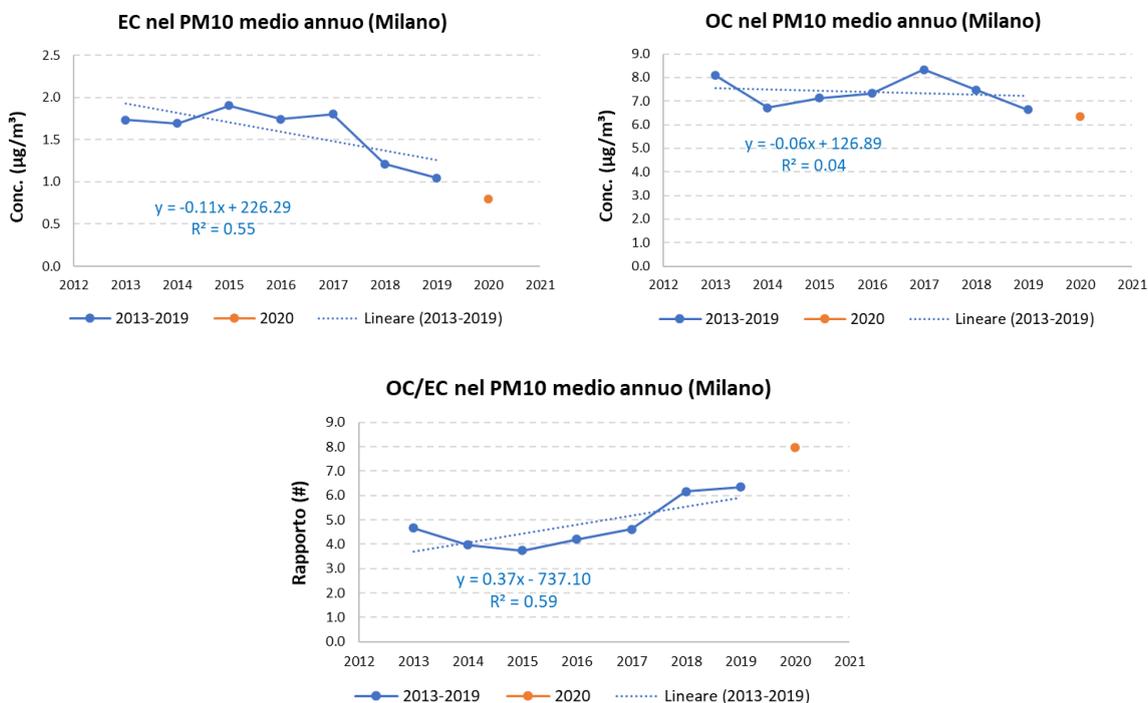


Figura 1.3. Andamento medio annuo di EC (in alto a sx), OC (in alto a dx) e del loro rapporto OC/EC (in basso) nel PM10 negli anni dal 2013 al 2020 per Milano Pascal (UB).

### PM2.5

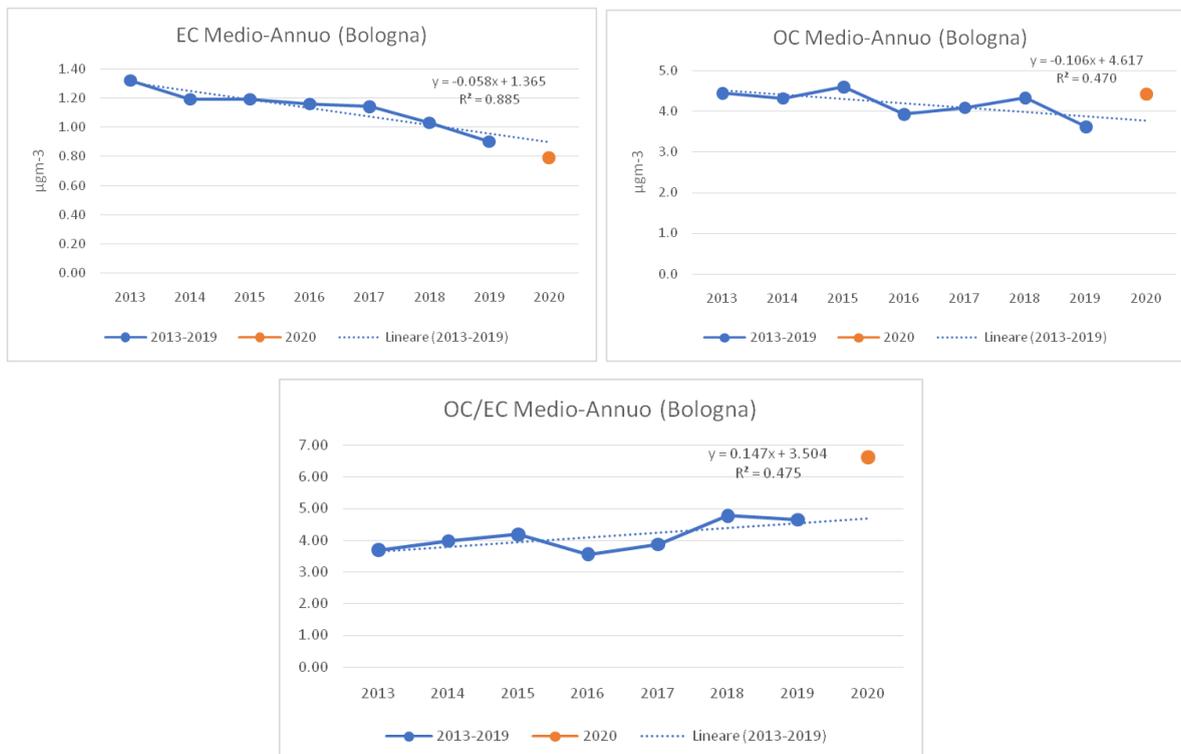


Figura 1.4. Andamento medio annuo di EC (in alto a sx), OC (in alto a dx) e del loro rapporto OC/EC (in basso) nel PM2.5 negli anni dal 2013 al 2020 per Bologna (UB).

Tabella 1.1. Concentrazione media di EC e OC nel PM10 per il sito di fondo urbano di Milano Pascal sia per il solo periodo di *lockdown* e per le stesse settimane del periodo 2016-2019 che per l'intero anno 2020 e gli anni 2016-2019.

Milano Pascal (PM10)	Lockdown		Anno	
	EC [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	OC [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	EC [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	OC [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]
Media 2016-2019	1.0	5.7	1.5	7.5
2020	0.4	4.3	0.8	6.4
Diff.	-0.6	-1.4	-0.7	-1.1
Diff. %	-63%	-24%	-45%	-15%

Tabella 1.2. Concentrazione media di EC nel PM2.5 per i siti di fondo urbano (Bologna, Parma e Rimini) e per il sito di fondo rurale (S. Pietro Capofiume) dell'Emilia-Romagna sia per il solo periodo di *lockdown* e per le stesse settimane del periodo 2016-2019 che per l'intero anno 2020 e gli anni 2016-2019.

EC [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ] (PM2.5)	Lockdown		Anno	
	UB	RB	UB	RB
Media 2016-2019	0.8	0.5	1.1	0.8
2020	0.5	0.3	0.6	0.4
Diff.	-0.3	-0.2	-0.5	-0.4
Diff. %	-41%	-42%	-42%	-51%

Tabella 1.3. Concentrazione media di OC nel PM2.5 per i siti di fondo urbano (Bologna, Parma e Rimini) e per il sito di fondo rurale (S. Pietro Capofiume) dell'Emilia-Romagna sia per il solo periodo di *lockdown* e per le stesse settimane del periodo 2016-2019 che per l'intero anno 2020 e gli anni 2016-2019.

OC [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ] (PM2.5)	Lockdown		Anno	
	UB	RB	UB	RB
Media 2016-2019	3.3	2.8	4.6	4.4
2020	3.5	2.8	4.5	3.4
Diff.	0.2	-	-0.2	-1.0
Diff. %	5%	0%	-4%	-22%

L'andamento della concentrazione di EC mostra una diminuzione netta in concomitanza con l'introduzione delle regole per la lotta alla diffusione del Covid19 (inizio primo *lockdown*) in tutti i siti disponibili. Tale riduzione rimane evidente anche dopo il termine delle restrizioni più stringenti alla mobilità (fine del *lockdown*) e continua almeno fino alla fine del 2020. Il confronto tra la media della concentrazione di EC nel periodo di *lockdown* con quella dello stesso periodo degli anni precedenti ha un calo significativo (compreso tra  $-0.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$  nel sito rurale di S. Pietro e  $-0.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$  del sito urbano di Milano, rispettivamente  $-38\%$  e  $-63\%$ ;  $p\text{-value} < 0.05$  con test di Wilcoxon-Mann), che si registra anche confrontando la media dell'intero 2020 con la media del quadriennio precedente (in questo caso compreso tra  $-0.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$  e  $-0.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$  dei siti urbani di Bologna e Milano, rispettivamente  $-30\%$  e  $-45\%$ ).

La concentrazione di OC, al contrario, non mostra cambiamenti così evidenti a Bologna, dove le medie non hanno variazioni significative né in senso positivo né negativo. Al contrario, un calo significativo della media sull'intero 2020 rispetto agli anni precedenti si individua per il sito rurale ( $-1.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ;  $-22\%$ ). A Milano, invece, si osserva un decremento paragonabile al sito RB emiliano per il periodo di *lockdown* e più contenuto ( $-1.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ;  $-15\%$ ) per l'intero 2020.

Dall'andamento delle concentrazioni dei due parametri consegue un incremento del rapporto tra OC ed EC.

### 1.1.1 LEVOGLUCOSANO

Tra le diverse specie organiche, il levoglucosano è presente spesso a concentrazione relativamente elevata, anche superiore ad  $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , d'inverno. Questa sostanza viene analizzata nell'aerosol, anche se non è previsto dalla norma vigente, perché è un tracciante specifico (*marker*) di una determinante sorgente, la combustione di biomassa, in quanto deriva esclusivamente dalla combustione incompleta della cellulosa presente nelle piante.

La combustione di biomassa produce inquinanti diversi, sia sotto forma di gas che di particolato e il levoglucosano ne è solo un componente minoritario: il suo peso in massa non è dunque di per sé

sufficiente a permettere di quantificare il contributo al PM di questa sorgente emissiva, ma può permettere di riconoscerne l'andamento nel tempo e nello spazio.

Tabella 1.4. Concentrazione media di levoglucosano nel PM10 nel sito di fondo urbano di Milano Pascal e nel PM2.5 per i siti di fondo urbano (Bologna, Parma e Rimini) e per il sito di fondo rurale (S. Pietro Capofiume) dell'Emilia-Romagna, sia per il solo periodo di *lockdown* e per le stesse settimane del periodo 2016-2019 che per l'intero anno 2020 e gli anni 2016-2019.

Levoglucosano [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	Lockdown			Anno		
	UB (PM10)	UB (PM2.5)	RB (PM2.5)	UB (PM10)	UB (PM2.5)	RB (PM2.5)
Media 2016-2019	0.08	0.08	0.19	0.26	0.23	0.20
2020	0.10	0.12	0.08	0.27	0.23	0.12
Diff.	0.02	0.04	-0.11	0.01	-0.01	-0.08
Diff.%	22%	45%	-40%	3%	-2%	-58%

Legenda: UB (PM10) = Milano; UB (PM2.5) = Bologna, Parma, Rimini; RB (PM2.5) = S. Pietro Capofiume

## PM10

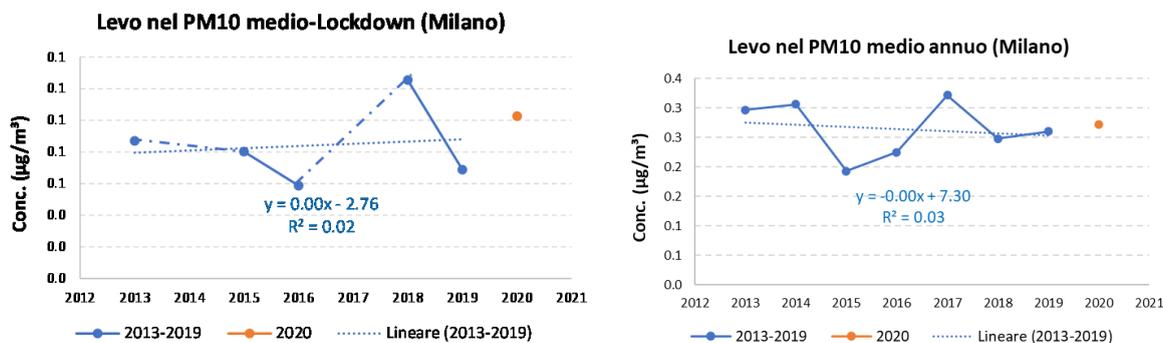


Figura 1.5. Concentrazione media di levoglucosano nel PM10 nel periodo corrispondenti al *lockdown* 2020 per gli anni a partire dal 2016 (a sx) e come intera annualità (a dx) nel sito di Milano Pascal.

## PM2.5

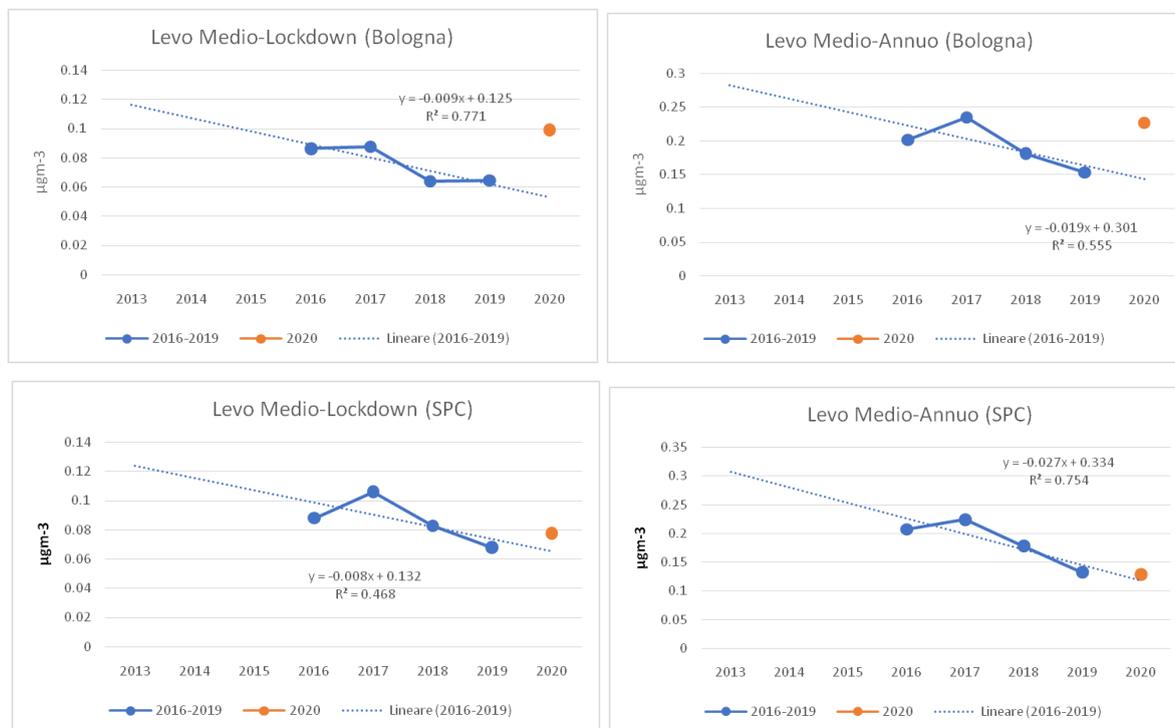


Figura 1.6. Concentrazione media di levoglucosano nel PM2.5 nel periodo corrispondenti al *lockdown* 2020 per gli anni a partire dal 2016 (a sx) e come intera annualità (a dx). In alto Bologna (UB) e in basso S. Pietro Capofiume (RB).

La concentrazione del levoglucosano, che in tutti i siti studiati mostra un trend di decrescita negli anni pre-pandemici, ha avuto, nel corso del 2020 e soprattutto nel periodo di *lockdown*, un incremento rispetto alla media degli anni precedenti nei siti urbani, risultato significativo per il sito di Bologna (+35 ng/m<sup>3</sup>; +46%).

Il sito rurale, al contrario, ha mostrato un andamento in linea con quello evidenziato dalla serie storica disponibile.

Nel PM10 di Milano la concentrazione del levoglucosano non mostra un trend altrettanto evidente, ma la concentrazione registrata durante il lockdown 2020 risulta comunque maggiore alla media degli anni precedenti (+19 ng/m<sup>3</sup>; +22%).

### 1.1.2 BLACK CARBON

In relazione alla frazione carboniosa del particolato atmosferico non c'è pieno accordo sulla terminologia da utilizzare nella definizione delle diverse componenti. Nella letteratura scientifica, le definizioni utilizzate fanno riferimento a specifiche proprietà dei composti carboniosi o al metodo di misura utilizzato; si tratta quindi di definizioni operative.



Il black carbon (BC) è definito come l'insieme delle particelle carboniose in grado di assorbire luce con lunghezza d'onda caratteristica nello spettro del visibile (380÷760 nm). Le definizioni di EC e BC fanno quindi riferimento a differenti proprietà (rispettivamente termiche e ottiche), tuttavia, la frazione carboniosa del particolato che vanno a individuare è quasi la stessa. Le sorgenti emmissive sono dunque le stesse descritte nel paragrafo 1.1.

La maggioranza delle stazioni con la misura della concentrazione del *black carbon* ha un numero di anni limitato prima del 2020: molti siti partono dal 2018 inoltrato (Domodossola, Torino Lingotto, Bologna) quindi l'unico anno completo di confronto risulta essere il 2019 (soprattutto per il periodo di *lockdown*) oppure hanno avuto cambi strumentali nell'arco della serie storica (Milano Pascal, Marche e Senato), che comunque possono incidere sulla comparazione dei dati. Milano Pascal e Cagliari, posseggono una lunga serie storica e come confronto pre-pandemia è stato scelto il periodo dal 2016 al 2019. I confronti con il "periodo precedente" hanno quindi un valore indicativo. Per i dettagli si veda il Report 1 Ob.3.

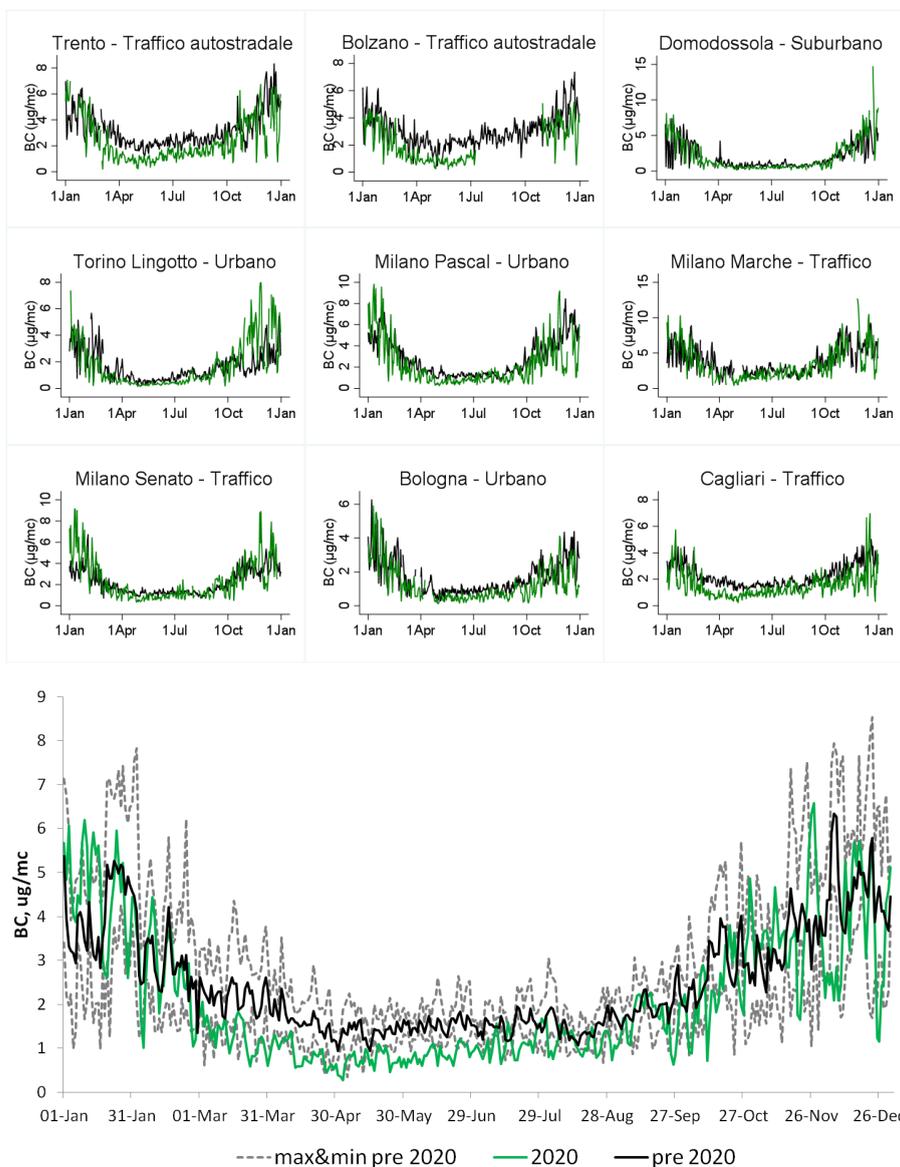


Figura 1.7. Andamento giornaliero dei dati di BC disponibili nell'anno 2020 (linea verde) e negli anni precedenti: in alto per ogni sito disponibile, in basso come media dei siti. L'anno 2020 nel sito di Milano Marche è confrontato con la media giornaliera del periodo 2013-2015. I dati derivanti dai due siti sull'A22 fanno parte del progetto [BrennerLec](#).

L'andamento della concentrazione di BC mostra una diminuzione netta in concomitanza con l'introduzione delle regole per la lotta alla diffusione del Covid19 (inizio primo *lockdown*) in tutti i siti disponibili. Tale riduzione in molti casi permane anche una volta terminato il periodo con le misure più restrittive.

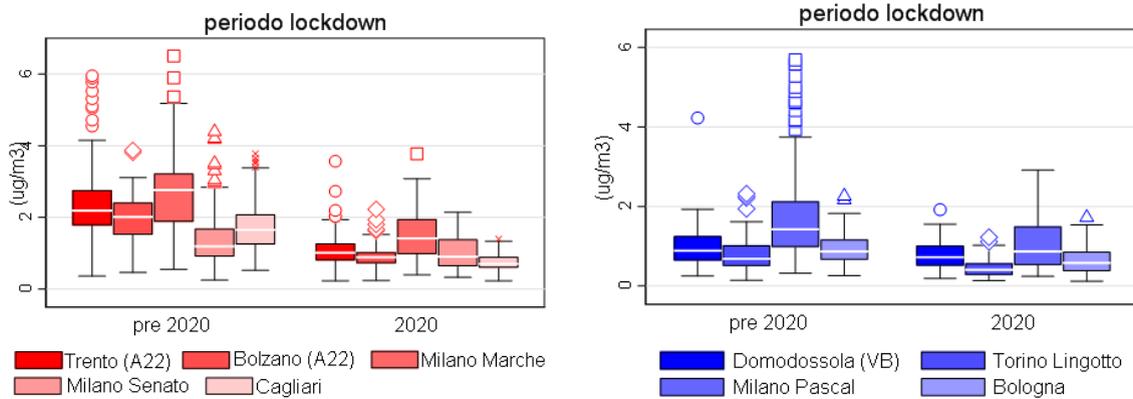


Figura 1.8. Confronto a *boxplot* tra il periodo del *lockdown* totale (11 marzo-18 maggio) nel 2020 e lo stesso periodo negli anni precedenti disponibili. A sinistra, in rosso, i siti da traffico; a destra, in blu, i siti di fondo urbano o suburbano. Il *lockdown* 2020 nel sito di Milano Marche è confrontato con la media giornaliera del periodo 2013-2015.

Tabella 1.5. Confronto tra le medie dell'anno 2020 e quelle degli anni precedenti per tutti i siti analizzati. Piccole variazioni nelle differenze assolute sono legate agli arrotondamenti. [I dati di Domodossola e Torino Lingotto partono da luglio 2018, quelli di Bologna da maggio 2018]

Variazione annuale [µg/m <sup>3</sup> ]	TN	BZ	VB	TO	CA	MI-PSC	BO	MI-SE
Media anni precedenti	3.1	3.2	2.0	1.7	2.2	2.6	1.6	2.0
Media 2020	2.3	2.0	2.0	1.7	1.5	2.2	1.3	2.3
Diff	-0.8	-1.2	-	-	-0.7	-0.4	-0.4	0.3
Diff %	-27%	-37%	-	-	-32%	-16%	-22%	15%

Legenda: MI-PSC = Milano Pascal; MI-SE = Milano Senato

Tabella 1.6. Confronto tra le medie nel periodo del *lockdown* nel 2020 e quelle degli stessi periodi negli anni precedenti per tutti i siti analizzati. Piccole variazioni nelle differenze assolute sono legate agli arrotondamenti. [I dati di Domodossola e Torino Lingotto partono da luglio 2018, quelli di Bologna da maggio 2018]

Variazione lockdown [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	TN	BZ	VB	TO	CA	MI-PSC	BO	MI-SE
Media anni precedenti	2.3	2.0	1.0	0.8	1.7	1.6	0.9	1.3
Lockdown 2020	1.1	1.0	0.8	0.5	0.8	1.0	0.6	1.0
Diff	-1.2	-1.1	-0.2	-0.4	-1.0	-0.6	-0.3	-0.3
Diff %	-52%	-53%	-23%	-45%	-56%	-37%	-31%	-20%

Legenda: MI-PSC = Milano Pascal; MI-SE = Milano Senato

Tutte le stazioni mostrano un decremento delle concentrazioni di BC sia nel confronto del periodo di *lockdown* che nel confronto dell'intera annualità, tranne i siti piemontesi che non evidenziano differenze nella variazione annuale, e Milano Senato che mostra nello stesso periodo un incremento del 9%. Le variazioni, per entrambi i periodi, risultano statisticamente significative ( $p\text{-value} < 0.05$  con test di Wilcoxon-Mann) per tutti i siti. Nel sito milanese di Senato (che, al contrario degli altri siti, ha una bassa significatività) lo strumento utilizzato durante l'anno 2020 era differente rispetto a quello utilizzato negli anni precedenti, inoltre Milano Senato è principalmente influenzato da un traffico commerciale ed è in prossimità di un cantiere di dimensioni rilevanti, sorto verso metà del 2019. L'insieme di questi effetti potrebbe aver determinato il valore positivo per la variazione di BC, a fronte di un calo che si è comunque registrato per altri inquinanti (ad es.  $\text{NO}_2$  registra -45% nel periodo di *lockdown* e -20% nella media annuale).

A Milano Marche invece è presente una riduzione, sia annuale che durante il *lockdown*, ma essendo il periodo di confronto 2013-2015 e considerato il trend in calo di questo inquinante nel tempo, è difficile poter fare considerazioni sull'effetto dei provvedimenti presi contro la pandemia.

I decrementi più importanti in entrambi i periodi riguardano i due siti da traffico autostradale e il sito da traffico di Cagliari. Questo è presumibilmente dovuto al fatto che in questi siti l'impatto della biomassa legnosa, che ha mostrato una crescita in diverse aree della [pianura padana](#) durante il *lockdown*, sia minimo. Nei primi due casi per la tipologia di sito (gli strumenti sono prossimi all'autostrada A22) nel secondo per posizione geografica.

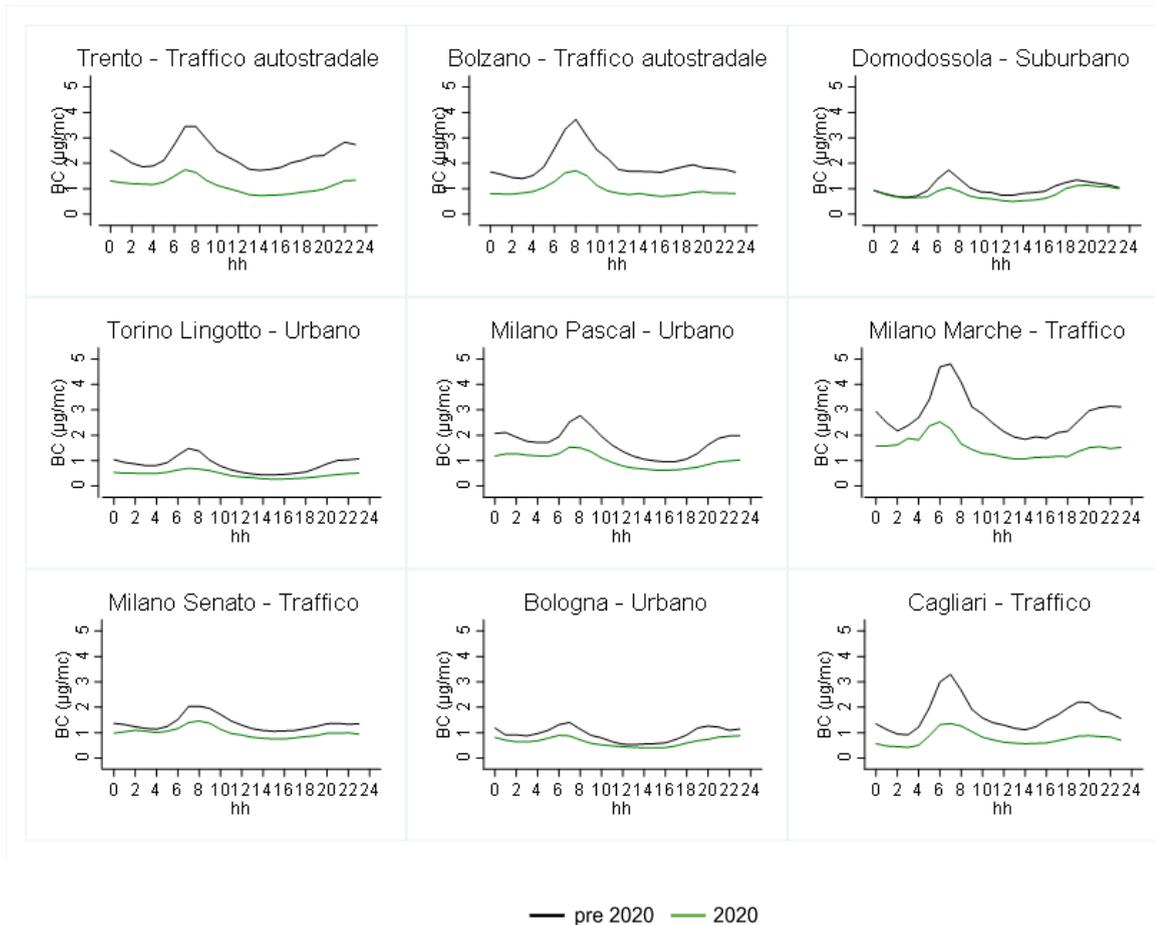


Figura 1.9. Andamento orario di un giorno medio nel periodo di *lockdown* totale nel 2020 (linea verde) e nello stesso periodo (linea nera) negli anni precedenti disponibili. Per il sito di Milano Marche il confronto è fatto con la media del periodo 2014-2015.

Dai grafici dei giorni medi (considerati in diversi siti i pochi anni a disposizione prima del 2020 non sono stati eseguiti confronti con il dato minimo o con un percentile) si vede il crollo delle concentrazioni nei momenti di picco. In particolare le diverse tipologie di sito mostrano un calo evidente nel picco mattutino, la cui entità diminuisce passando da concentrazioni tipiche del traffico autostradale a quelle di un'area urbana.

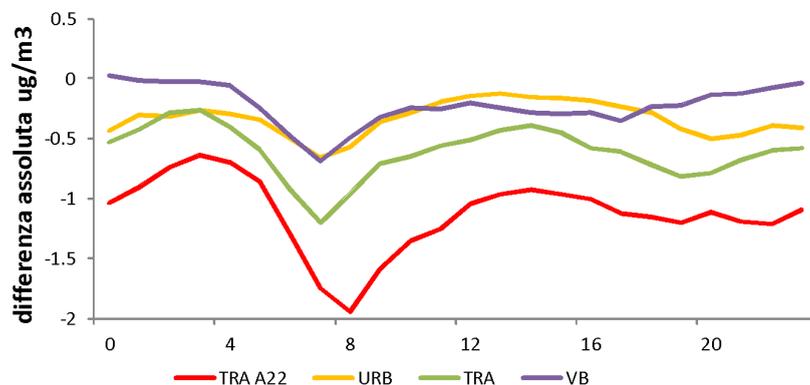


Figura 1.10. Andamento della differenza oraria tra le concentrazioni medie durante il *lockdown* del 2020 e quelle del periodo precedente. È stata calcolata prima la media di ogni gruppo di stazione poi la differenza: Domodossola (VB) è l'unico sito suburbano e quindi è rappresentato da solo.

Solo nei siti di Milano Pascal (FU) e Cagliari (TU), siccome la serie storica lo permetteva, sono state calcolate le medie annuali degli anni disponibili sia come media annua che come media durante il periodo di *lockdown*. Il 2021 a Milano si ferma ai primi di Novembre.

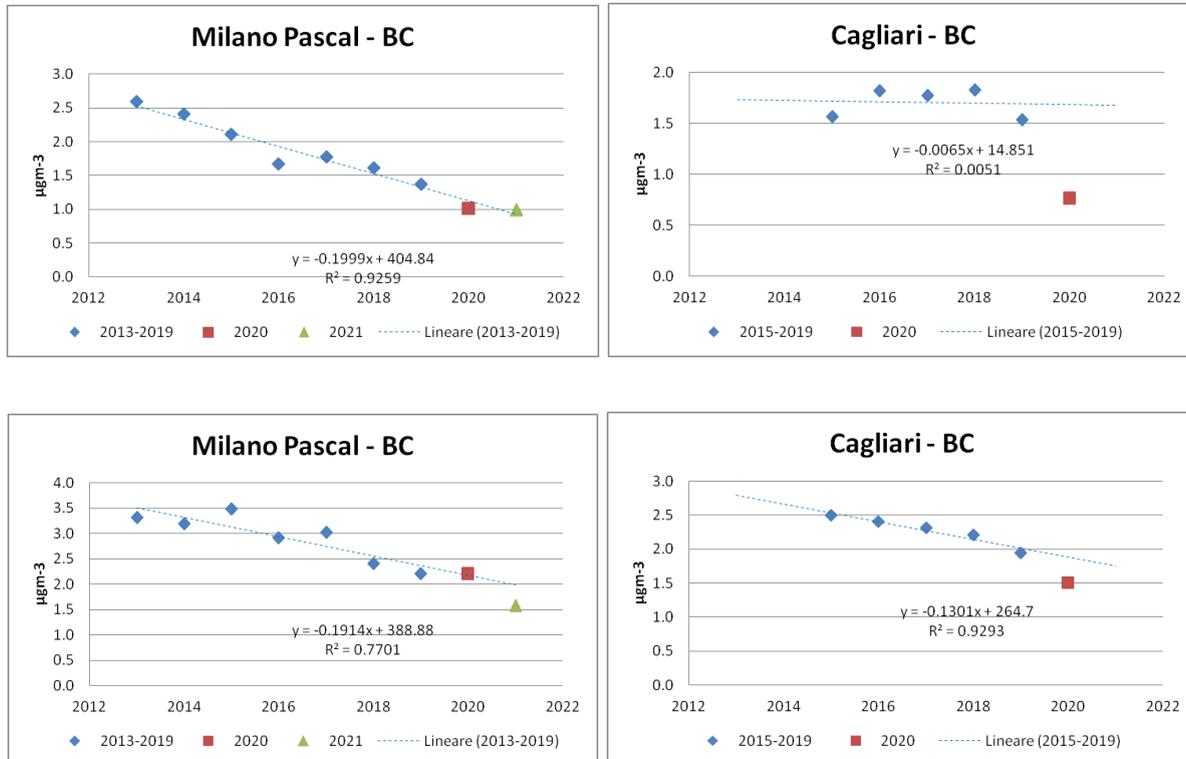


Figura 1.11. Andamento medio annuo di BC a Milano Pascal (sx) e a Cagliari (dx) durante il solo lockdown (in alto) e l'intero anno (in basso).

Informazioni sulla scomposizione del dato di BC nelle sue componenti legate alle diverse combustioni (BCff, traffico, e BCbb, combustione da biomassa legnosa) sono disponibili solo per alcuni siti.

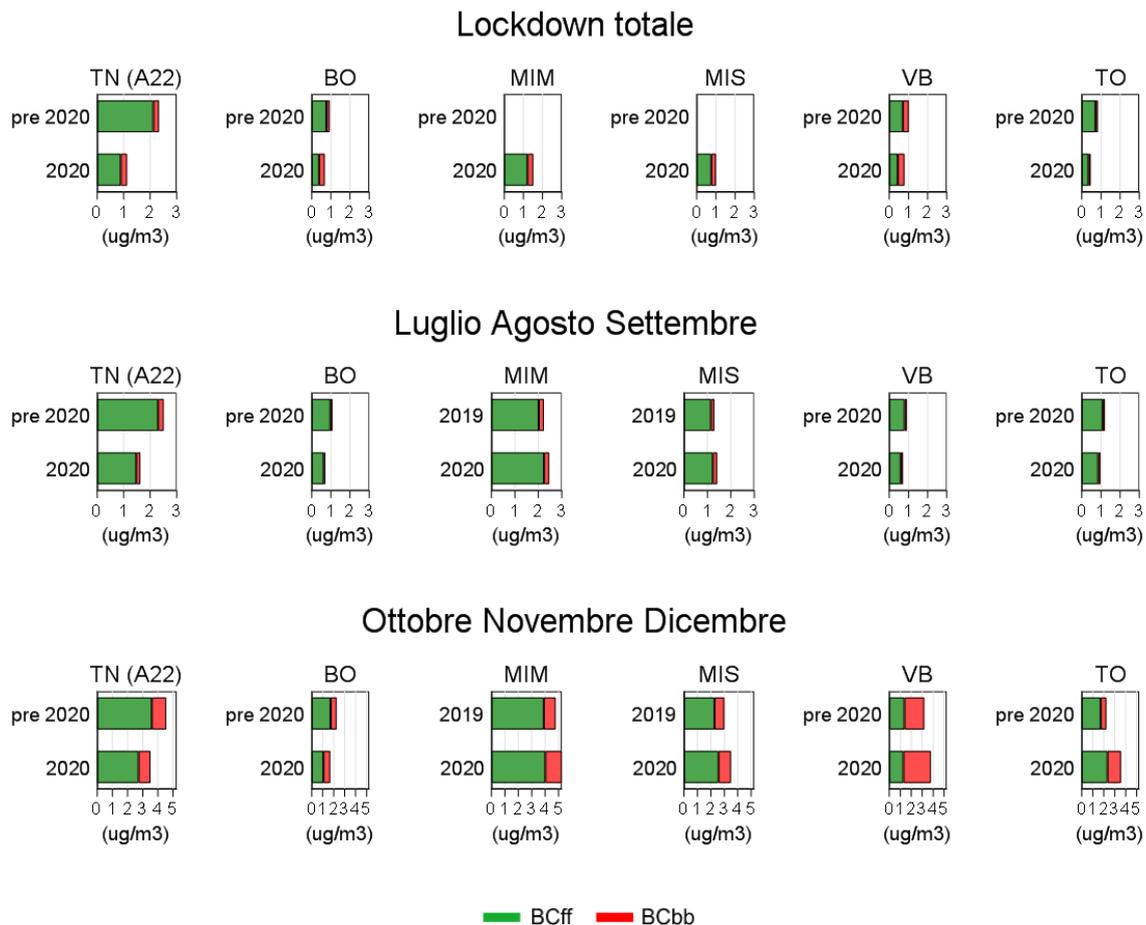


Figura 1.12. Confronto tra il 2020 e gli anni precedenti della media della concentrazione di BCff (verde) e BCbb (rosso) nei diversi siti in tre diversi periodi.

[MIM = Milano Marche; MIS = Milano Senato]

Durante il periodo di *lockdown* totale si nota chiaramente il calo della componente legata al traffico (decremento statisticamente significativo,  $p\text{-value} < 0.05$  con test di Wilcoxon-Mann) e, parallelamente, l'aumento della componente legata alla combustione di biomassa legnosa, che però non risulta statisticamente significativo. Le variazioni calcolate a Bologna e a Domodossola (VB) devono tenere conto del numero davvero esiguo dei giorni a disposizione per il mese di marzo 2019 (rispettivamente 8 e 7 giorni rispetto ai 21 giorni di marzo 2020).

Nelle stazioni di Trento, Domodossola, Bologna la diminuzione del BCff è presente anche nel periodo estivo (Luglio - Agosto - Settembre) e autunnale (Ottobre - Novembre - Dicembre), mentre nei siti milanesi e in quello di Torino, quest'ultimo per il solo periodo autunnale, sono presenti variazioni modeste ma con valori positivi. Nel trimestre freddo le stazioni di Domodossola, Torino,



Milano Marche e Milano Senato mostrano valori più alti di BCbb nel 2020 rispetto al periodo precedente che è il biennio 2018-2019 per i siti piemontesi e l'anno 2019 per quelli lombardi.

Tabella 1.7. Variazione percentuale media di BCbb e BCff nel 2020 e nel solo periodo di *lockdown* rispetto agli stessi intervalli temporali negli anni di riferimento per i siti disponibili. Per Milano Senato (MI-SE) e Milano Marche (MI-M) non sono disponibili dati di serie storica per il periodo di *lockdown*. [I dati di Domodossola e Torino Lingotto partono da luglio 2018, quelli di Bologna da maggio 2018. I dati di Milano Senato e Marche sono relativi al secondo semestre 2019 e 2020]

<b>Variazione annuale</b>	<b>TN</b>	<b>TO</b>	<b>VB</b>	<b>BO</b>	<b>MI-M</b>	<b>MI-SE</b>
BCbb	-4%	37%	19%	26%	13%	23%
BCff	-30%	-9%	-24%	-32%	-2%	5%
<b>Variazione periodo lockdown</b>	<b>TN</b>	<b>TO</b>	<b>VB</b>	<b>BO</b>	<b>MI-M</b>	<b>MI-SE</b>
BCbb	14%	-8%	13%	76%	-	-
BCff	-58%	-51%	-37%	-51%	-	-

A Domodossola la percentuale di BCbb sul BC totale è la più alta tra i siti considerati sia nel periodo autunnale (55% rispetto a una media dei siti urbani del 30%, del 26% di quelli da traffico e infine del 19% per quelli autostradali) che sull'intero anno (34% rispetto una media urbana del 20%, del 18% di quelli da traffico e infine del 13% per quelli autostradali) poiché la stazione di misura è ubicata in un'area residenziale dove c'è un elevato consumo di legna utilizzato come riscaldamento domestico, come spiegato nella [relazione annuale di Arpa Piemonte](#).

## 1.2 FRAZIONE IONICA

La frazione ionica inorganica del PM comprende alcune delle sostanze che concorrono a comporre una parte importante della chiusura in massa (fino al 50% in pianura padana). Gli ioni principali (nitrato, solfato e ammonio) hanno tutti origine principalmente secondaria, derivano cioè da gas precursori (NOx, NH<sub>3</sub>, SOx, ...) che reagiscono in atmosfera.

Il nitrato (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) è tra i più importanti componenti secondari che caratterizzano il PM in inverno in molte aree del nord Italia. Lo ione solfato (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>), che di solito è diffuso omogeneamente nello spazio e nelle stagioni, è comunemente considerato legato a un fondo sovraregionale o continentale. Questi due ioni si trovano nel PM legati all'ammonio sotto forma di nitrato d'ammonio e solfato d'ammonio. La somma di questi tre ioni viene definita aerosol secondario inorganico (SIA, Secondary Inorganic Aerosol).

La frazione ionica comprende anche altre specie (ad es. Ca<sup>2+</sup>, K<sup>+</sup>, Na<sup>+</sup>, Cl<sup>-</sup>, ...) in concentrazione inferiore, che possono essere sia primarie che secondarie e possono derivare da sorgenti antropiche o naturali.

## PM10

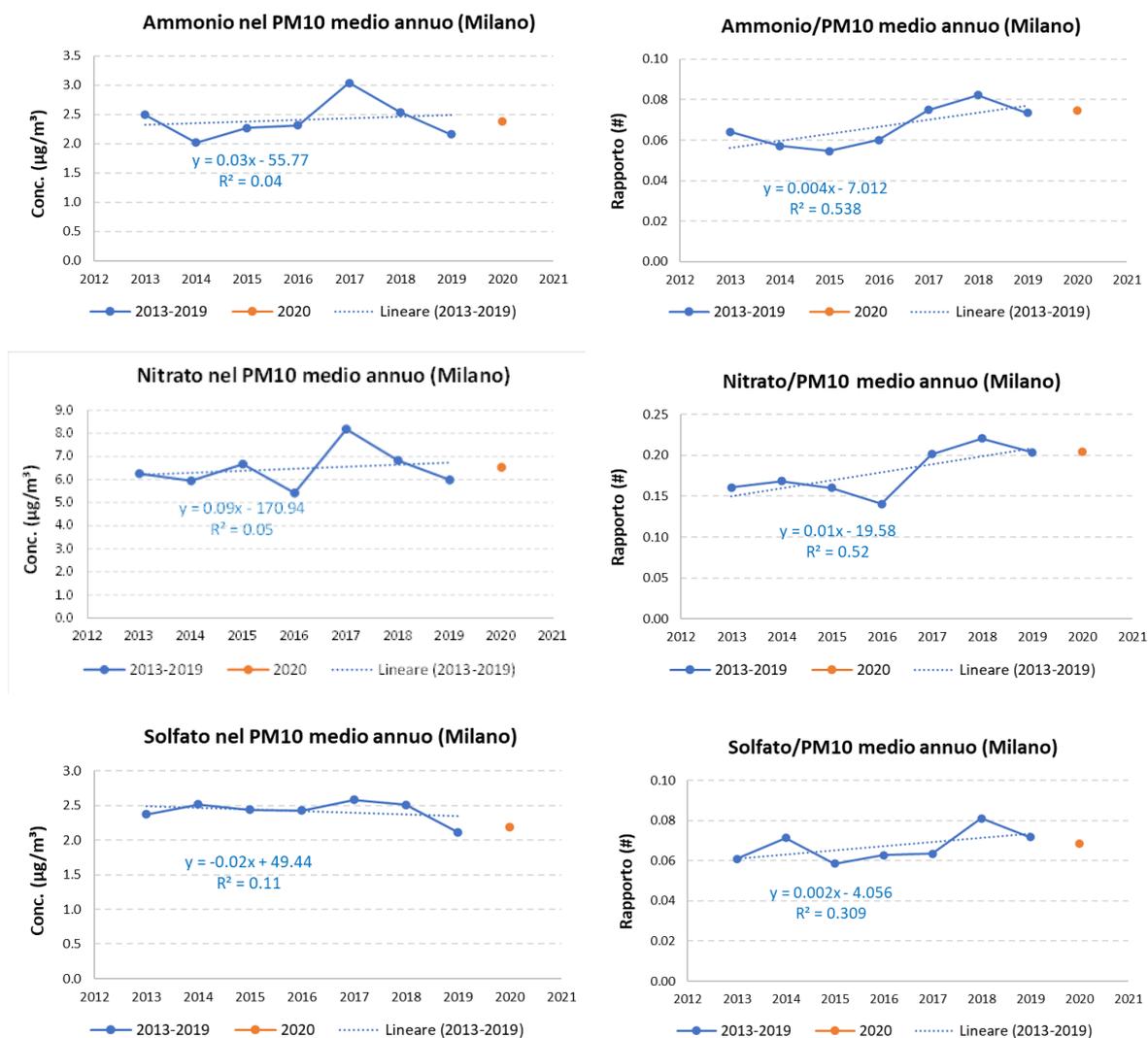


Figura 1.13. Confronto della media annua dal 2013 al 2020 delle concentrazioni di ammonio (in alto), nitrato (al centro) e solfato (in basso) per Milano Pascal (UB). A sx in valore assoluto e a dx in rapporto alle concentrazioni di PM10.

## PM2.5

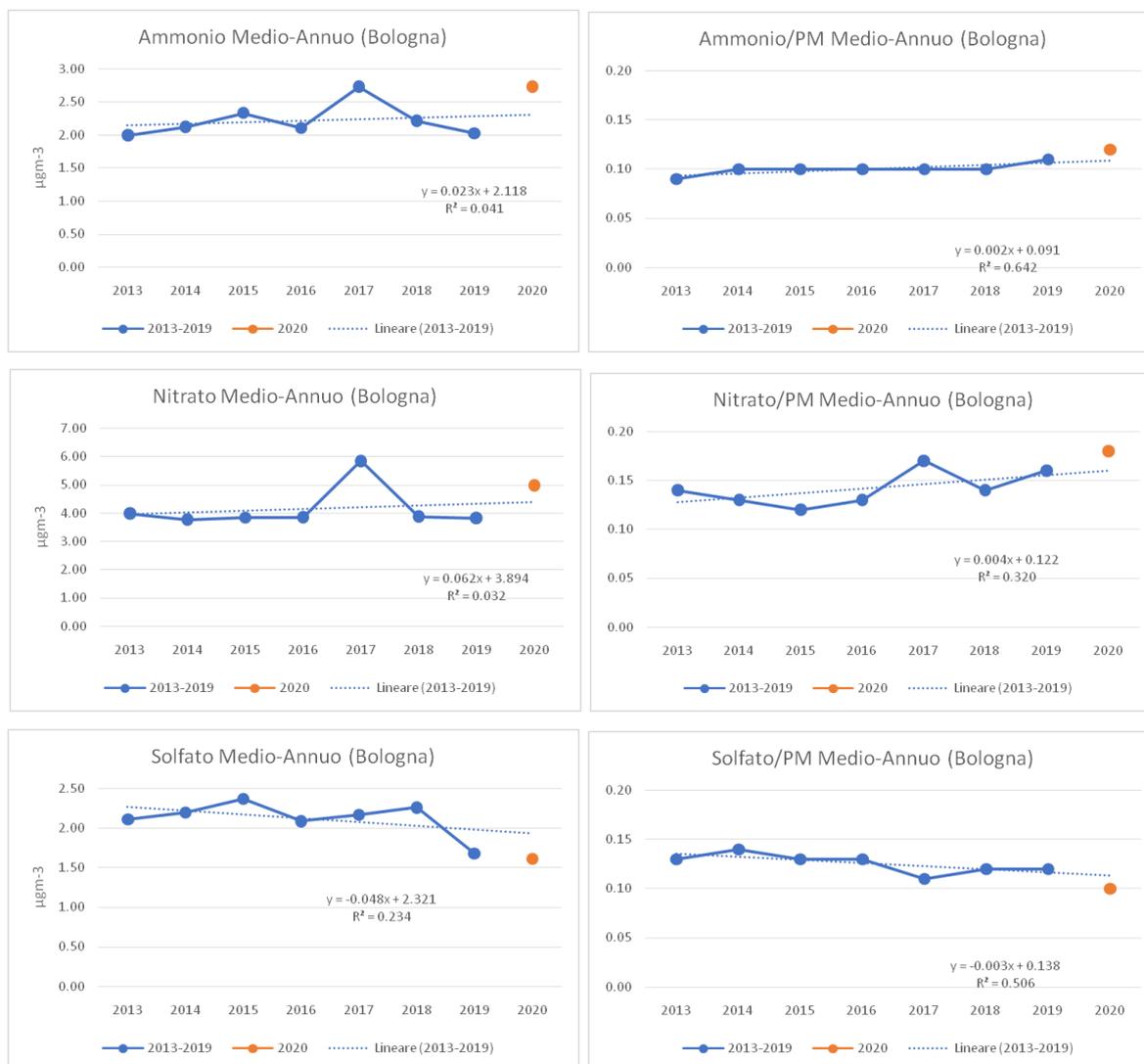


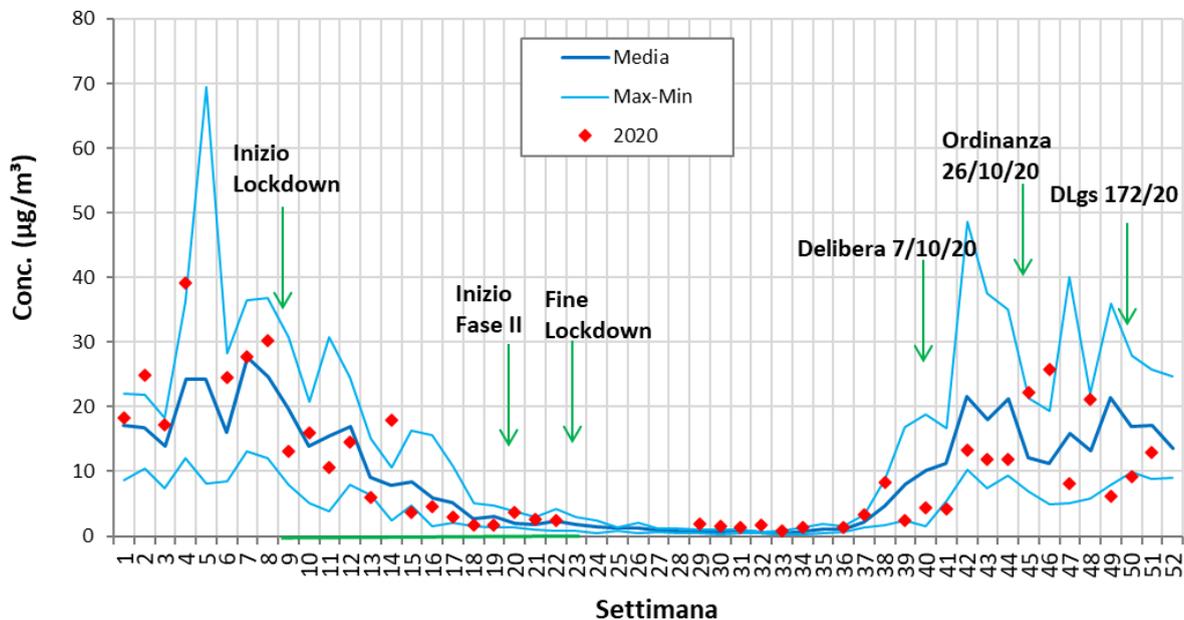
Figura 1.14. Confronto della media annua dal 2013 al 2020 delle concentrazioni di ammonio (in alto), nitrato (al centro) e solfato (in basso) per Bologna (UB). A sx in valore assoluto e a dx in rapporto alle concentrazioni di PM2.5.

La componente nitrica del PM non mostra sostanziali variazioni durante il periodo di *lockdown*, nonostante gli ossidi di azoto, che ne sono precursori, abbiano mostrato un calo importante in seguito alla riduzione della mobilità ([Progetto Prepair](#)). Considerando l'intera annualità, si osservano valori molto elevati nel mese di novembre dovuti a episodi di accumulo (ad esempio, a Bologna nei giorni 3-14-28/11/2020).

Anche il solfato non mostra sostanziali variazioni nel periodo del *lockdown*, mentre la media annua cala significativamente rispetto agli anni passati, per effetto dei valori contenuti nei mesi da maggio in poi.

L'ammonio mostra un comportamento intermedio tra quello dei suoi due controioni.

### (NH<sub>4</sub>)NO<sub>3</sub> nel PM<sub>10</sub> 2013-2019 vs 2020 (MI-Pascal)



### (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> nel PM<sub>10</sub> 2013-2019 vs 2020 (MI-Pascal)

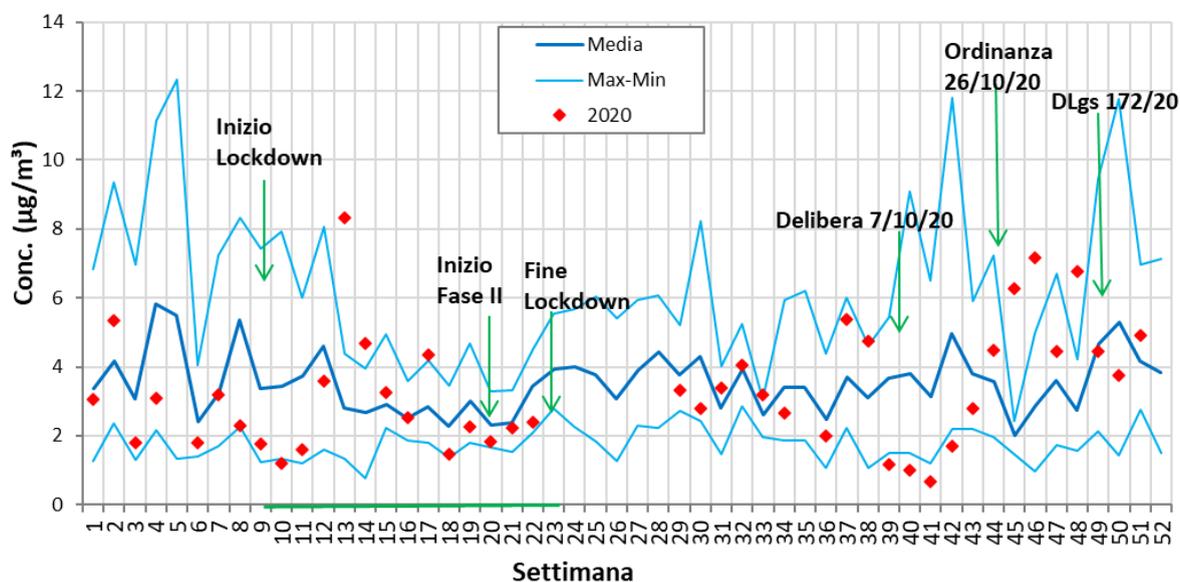


Figura 1.15. Media settimanale di nitrato (in alto) e solfato (in basso) espressi come nitrato d'ammonio e solfato d'ammonio nel PM<sub>10</sub> nel 2020 rispetto alla serie storica disponibile (2013-2019) per il sito di Milano Pascal (Urban background).

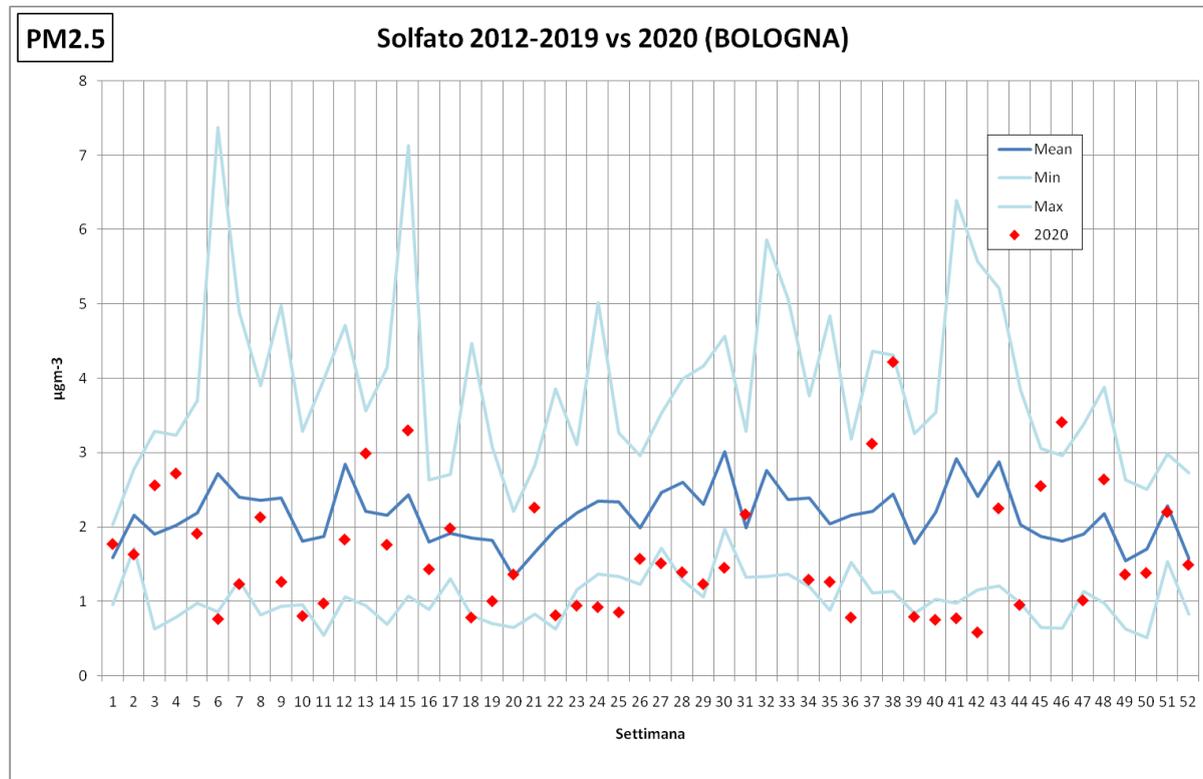
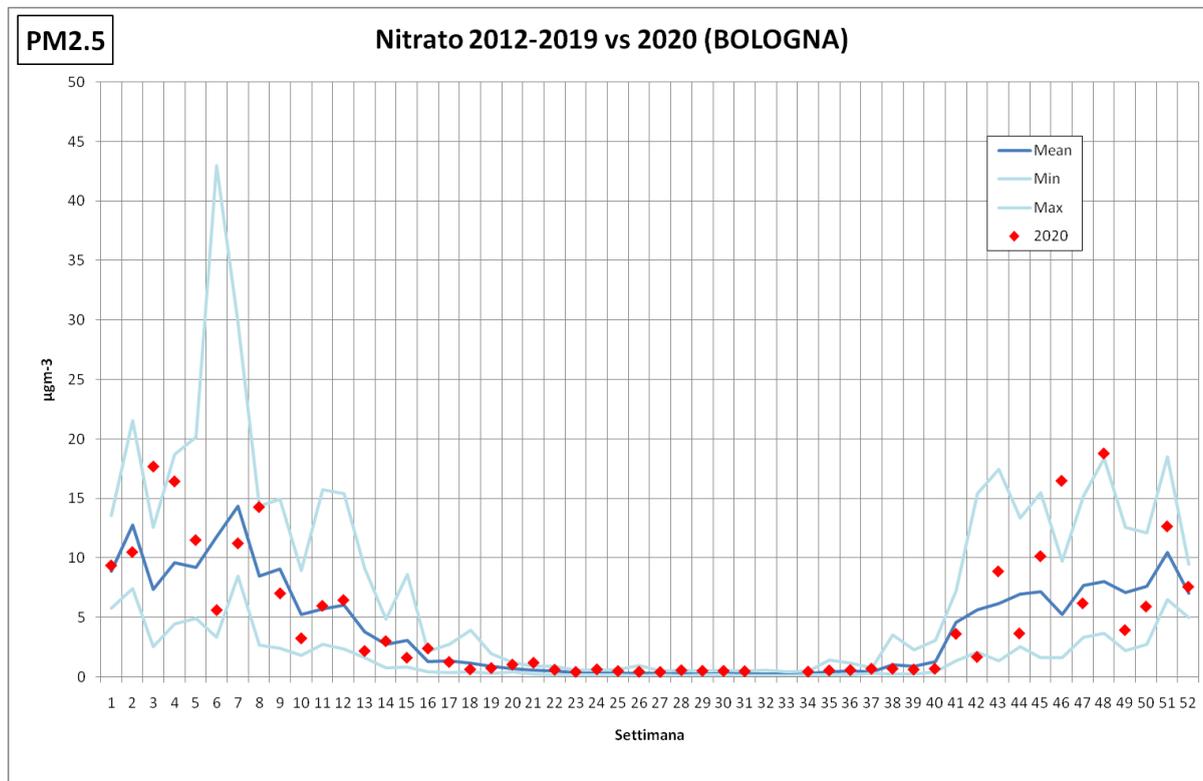


Figura 1.16. Media settimanale di nitrato (in alto) e solfato (in basso) nel PM2.5 nel 2020 rispetto alla serie storica disponibile (2012-2019) per il sito di Bologna (Urban background).

## 1.2.1 GAS PRECURSORE: AMMONIACA

L'ammoniaca ( $\text{NH}_3$ ) è un gas immesso in atmosfera per oltre il 90% dall'agricoltura secondo l'inventario nazionale delle emissioni ([allevamenti zootecnici e utilizzo di fertilizzanti](#)). Anche se nella vigente normativa non è previsto il suo monitoraggio in aria ambiente, essa gioca un ruolo importante in quanto partecipa al ciclo dell'azoto, contribuisce alla neutralizzazione di acidi e partecipa alla formazione di particolato atmosferico. La trasformazione dell'ammoniaca in atmosfera porta alla formazione dello ione ammonio ( $\text{NH}_4^+$ ) che è un inquinante secondario presente nel PM. L' $\text{NH}_3$  infatti reagisce con gli acidi, in particolare l'acido nitrico e l'acido solforico, portando alla formazione rispettivamente di nitrato d'ammonio e solfato d'ammonio, due sali inorganici che sono presenti nel particolato atmosferico in concentrazioni rilevanti.

Nell'analisi di questo gas va considerato che a seconda dei diversi tipi di siti, gli andamenti della concentrazione durante il giorno e durante l'anno possono essere diversi così come la concentrazione media e i picchi legati a particolari periodi/attività più di quanto possa capitare con altri inquinanti.

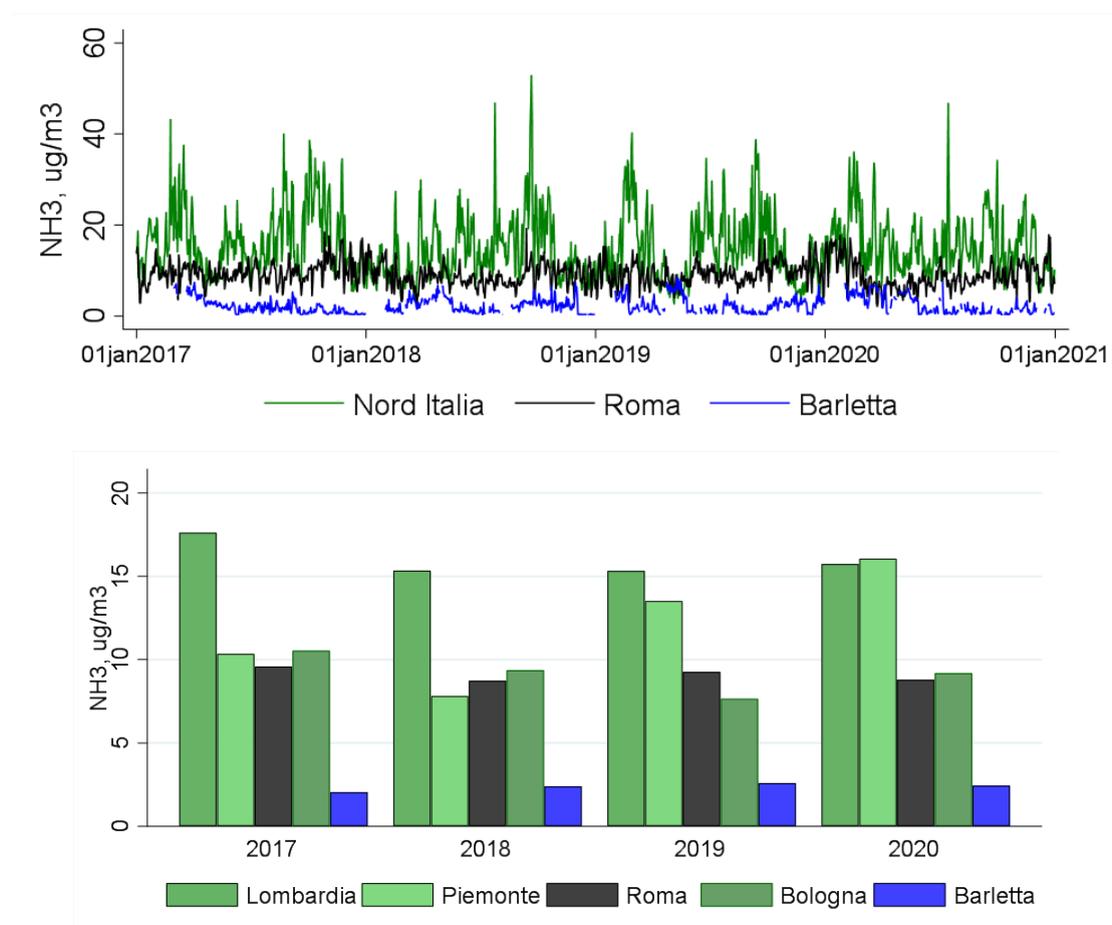


Figura 1.17. Andamento medio giornaliero (in alto) e media annuale (in basso) del periodo disponibile, per gruppi di stazioni differenziate per distribuzione geografica. Nel nord Italia sono presenti diverse stazioni (10 in Lombardia; 2 in Piemonte; 1 in Emilia-Romagna). Roma è la media di due stazioni.

Le medie annuali non mostrano particolari variazioni nel tempo e il 2020 sembra in linea con gli anni precedenti. Considerando che i provvedimenti contro la diffusione di SarsCov2 non hanno interessato i settori agricoli e zootecnici, questa mancata variazione delle concentrazioni era attesa. Dal confronto dell'andamento giornaliero del 2020 con quello medio degli anni precedenti, però, sembra che le stazioni da traffico e quelle suburbane mostrino un calo durante il periodo di *lockdown*, suggerendo un possibile impatto delle misure atte a contenere la pandemia.

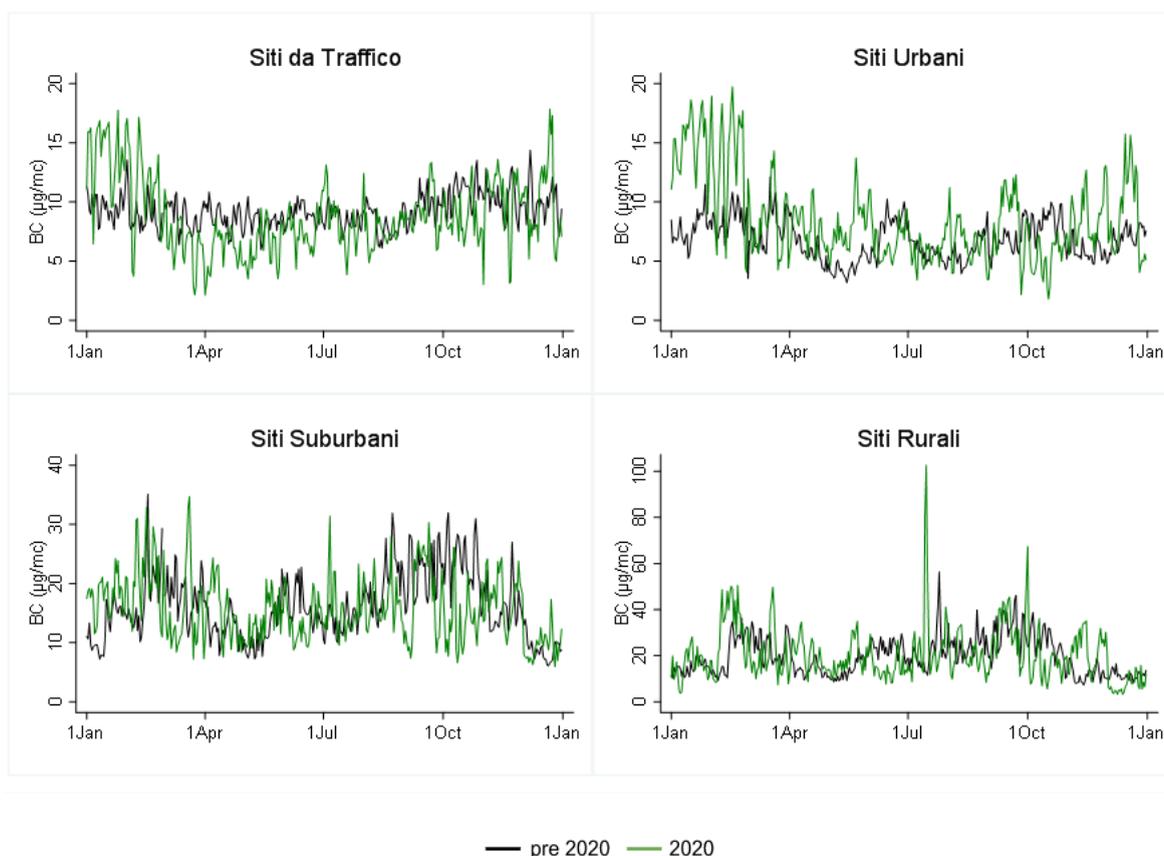


Figura 1.18. Confronto giornaliero da gennaio a dicembre delle diverse tipologie di stazione (traffico urbano, fondo urbano, fondo suburbano, fondo rurale) per l'anno 2020 (in verde) e la media degli anni precedenti disponibili (in nero).

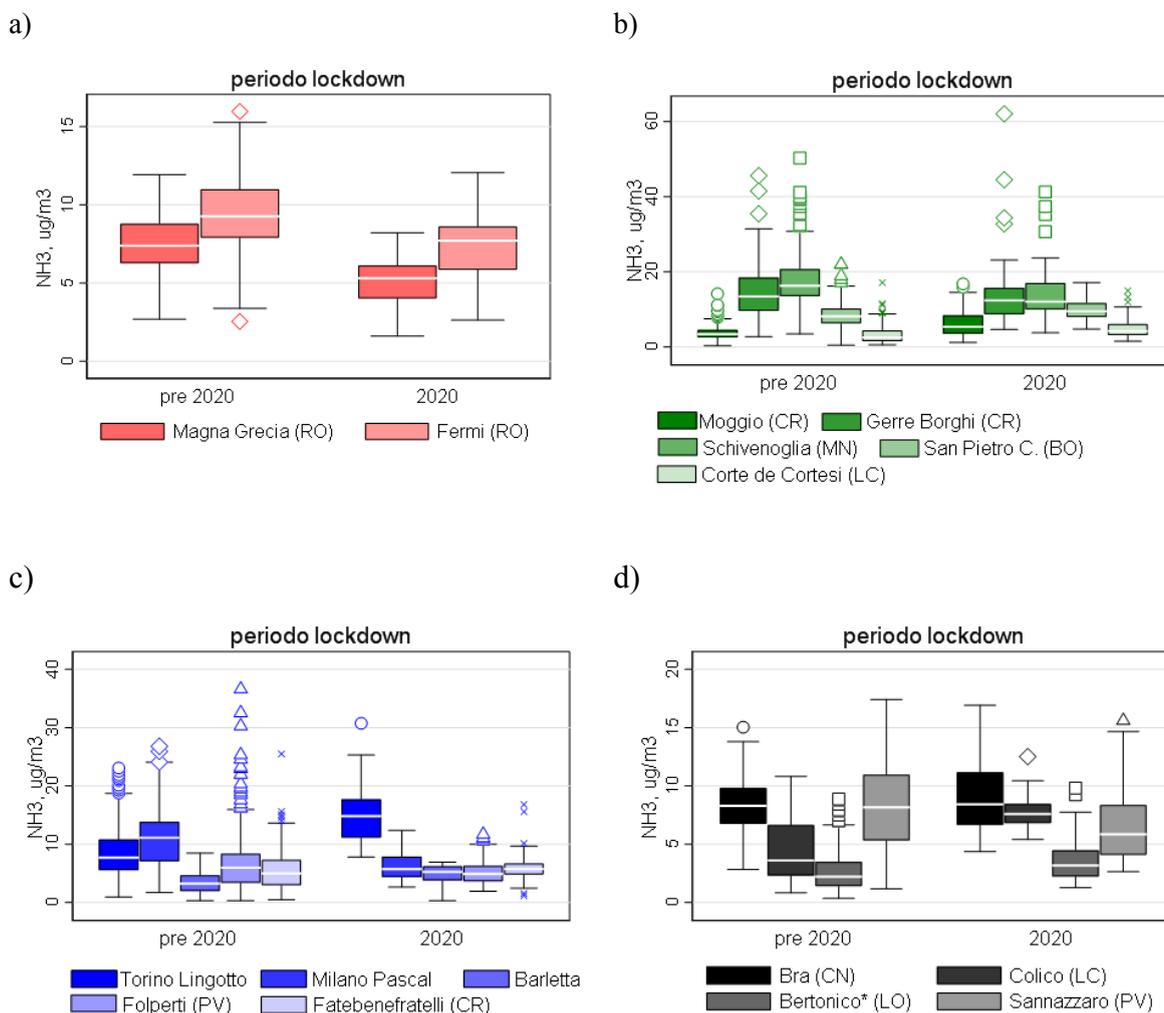


Figura 1.19. Confronto tra il periodo del *lockdown* nel 2020 e lo stesso periodo negli anni precedenti disponibili nei siti a) da traffico, b) rurali, c) urbani e d) suburbani - per questioni di leggibilità del grafico il sito di Bertonico e Corte de Cortesi è stato rappresentato con valori/10.

I valori pre e post *lockdown* evidenziano comportamenti differenti nei diversi gruppi di stazioni ma anche all'interno della stessa tipologia. In alcune stazioni le concentrazioni mostrano aumenti durante il *lockdown* del 2020 rispetto allo stesso periodo negli anni precedenti, in altre invece un calo. Inoltre la tipologia di sito (rurale, urbano, ecc.) non sempre sembra incidere in maniera analoga, probabilmente a causa della presenza di sorgenti differenti a seconda della microubicazione della stazione di misura.

In generale, gli andamenti nel tempo dipendono sia dalle sorgenti limitrofe presenti (come per es. il sito rurale di Corte de Cortesi che è nei pressi di allevamenti) sia dalla posizione geografica (come il sito di Moggio che si trova in quota - ca. 1200 m slm - e risente sia di sorgenti non locali sia dell'altezza del PBL).

Interessante notare la peculiarità dei due siti presenti a Roma (Magna Grecia e Fermi). L'ammoniaca, derivante in questo caso in massima parte dal traffico, mostra un calo conseguente alla diminuzione della circolazione dei mezzi pesanti e leggeri, in particolare durante il *lockdown*. Per questi siti sono stati confrontati gli andamenti dell'ammoniaca con quelli di altri gas tipici del traffico (NO<sub>2</sub>, CO e benzene) durante il *lockdown* e l'intero anno 2020, e risulta evidente una buona coerenza.

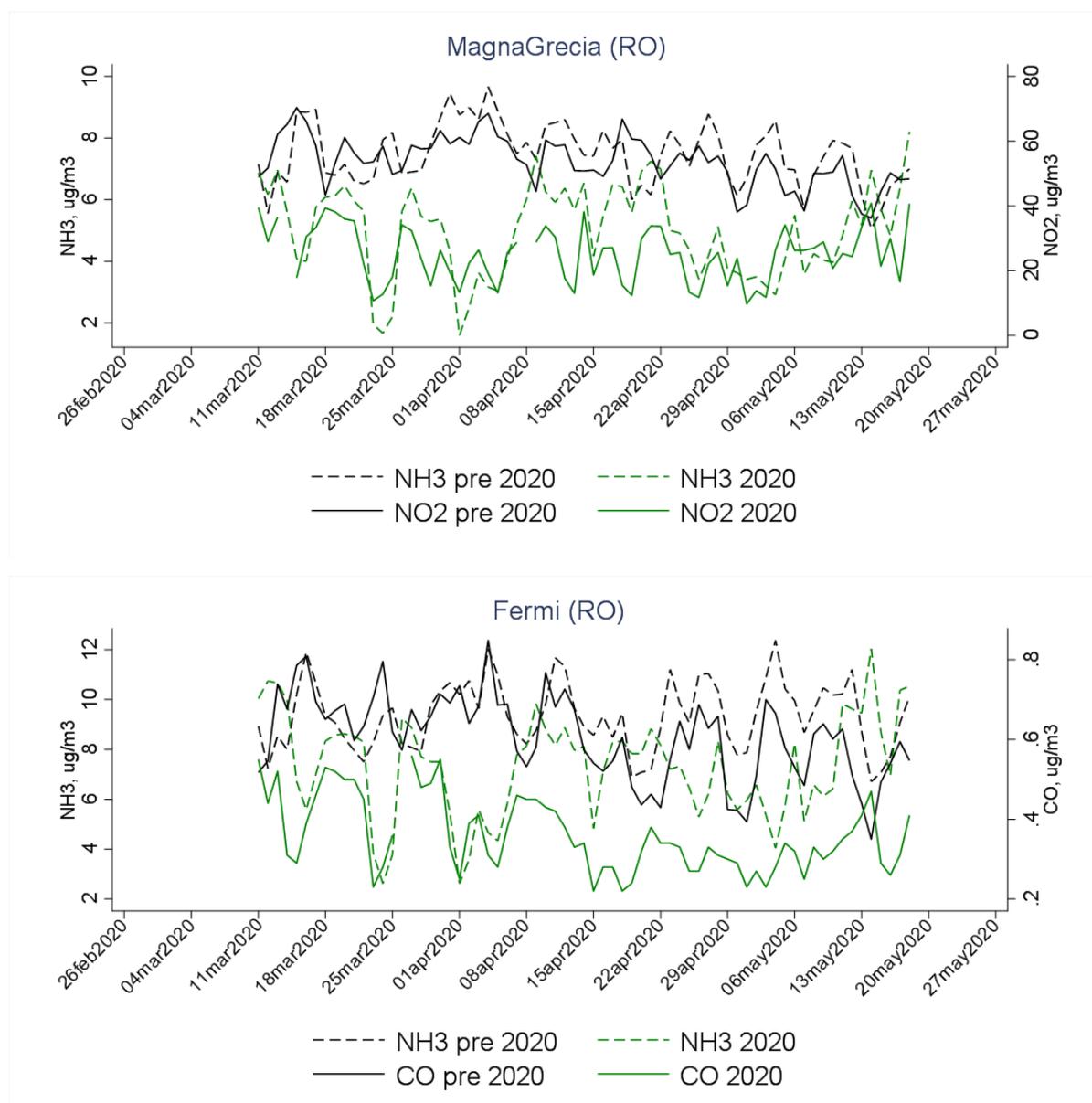


Figura 1.20. Andamenti giornalieri nei siti di Magna Grecia (in alto) e Fermi (in basso) nel periodo del *lockdown*.

Entrambe le stazioni di misura mostrano un calo (statisticamente significativo,  $p\text{-value} < 0.05$  con test Wilcoxon-Mann) anche se, a differenza del biossido di azoto e del benzene, il calo è meno pronunciato e non continuo per tutto il periodo. Le variazioni percentuali nel periodo del *lockdown*

sono -33% a Fermi e -22% a Magna Grecia, mentre, rispettivamente, inferiori al 5% e -13% considerando l'intera annualità.

Tabella 1.8. Variazioni medie percentuali delle concentrazioni di diversi analiti tra il *lockdown* e gli stessi periodi degli anni precedenti (2017-2019) e tra l'intero anno 2020 e gli anni precedenti nei siti di Magna Grecia (Roma) e Fermi (Roma).

Variazione percentuale	NH <sub>3</sub> Magna Grecia	NO <sub>2</sub> Magna Grecia	NH <sub>3</sub> Fermi	NO <sub>2</sub> Fermi	CO Fermi	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> Fermi
Lockdown	-33%	-53%	-22%	-56%	-40%	-68%
Anno 2020	-13%	-25%	4%	-22%	-19%	-47%

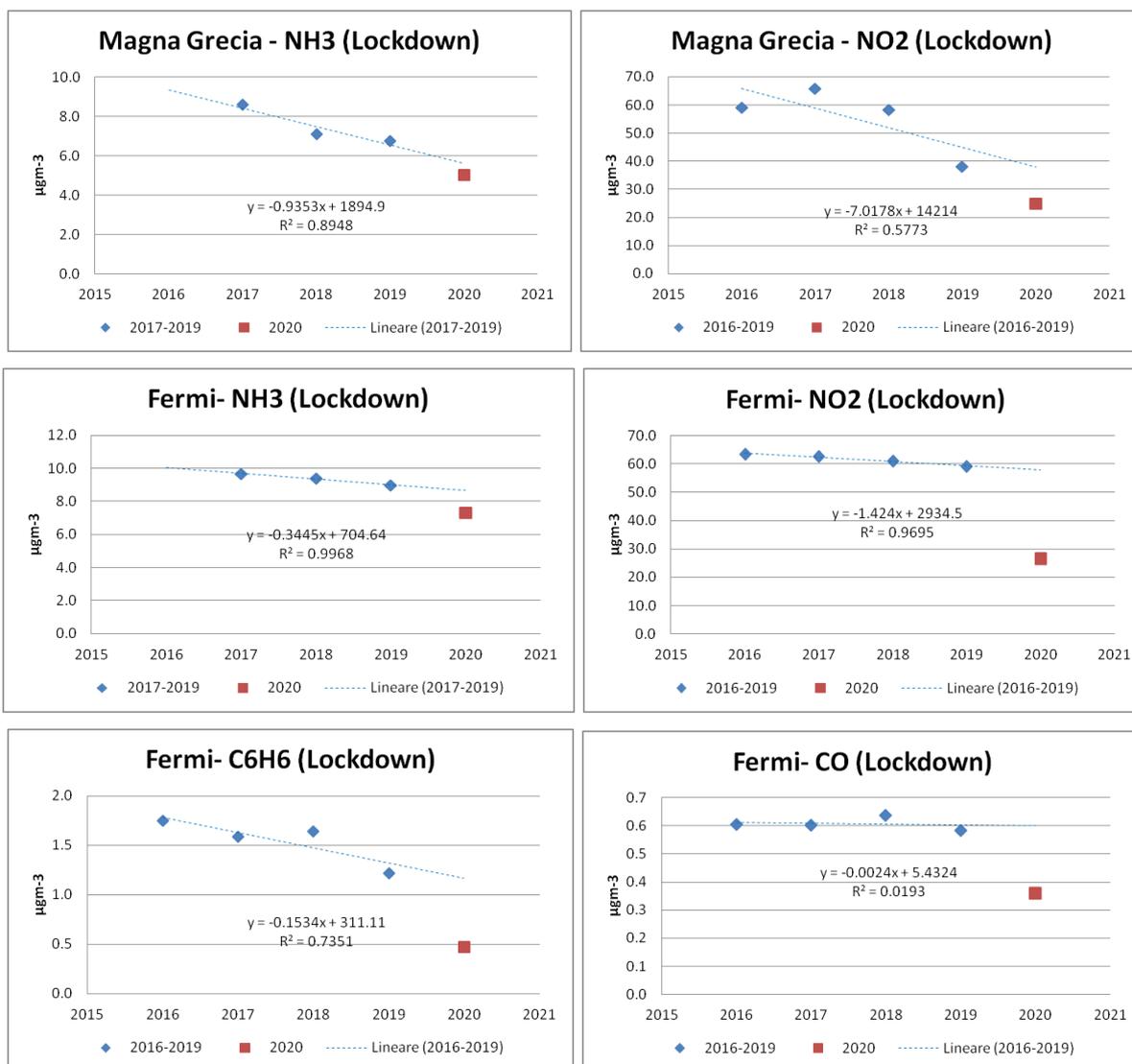


Figura 1.21. Confronto della media annua dal 2016/2017 al 2020 delle concentrazioni di diversi gas, in alto prima riga il sito di Magna Grecia e in basso ultime due righe Fermi.

## 1.3 DISCUSSIONE

Nonostante la diminuzione contenuta del PM durante il periodo di *lockdown* della primavera 2020, le sue componenti hanno mostrato una dinamica varia a seconda delle loro caratteristiche e origini. Nei siti in cui era disponibile una serie storica di concentrazione di EC si è registrata una diminuzione media di tale componente superiore a -40% (-63% a Milano). Tale calo percentuale rimane confrontabile anche considerando l'intera media annua.

Il levoglucosano, nel periodo del *lockdown*, ha mostrato una crescita della sua concentrazione media rispetto alla media dello stesso periodo negli anni 2016-2019 (statisticamente significativa per il sito di Bologna), in controtendenza con il trend di decrescita che aveva fatto registrare fino al 2019.

Il carbonio elementare è prodotto dalle combustioni (principalmente traffico e combustione di biomassa) mentre il levoglucosano è un *tracer* esclusivo della sola biomassa. Questo porta a concludere che l'apporto del traffico alla concentrazione del particolato è sicuramente calato durante tutto il 2020, ma che, nel periodo di *lockdown*, l'effetto di questa variazione è stato parzialmente mascherato dall'incremento di un'altra sorgente importante per il PM, cioè la combustione della biomassa.

Questo è confermato anche dall'osservazione della concentrazione del BC, infatti i siti autostradali che sono quelli proporzionalmente meno impattati dalla componente legata alla combustione di biomassa, sono anche quelli che hanno mostrato i cali maggiori rispetto al periodo di riferimento, soprattutto considerando il periodo di *lockdown*. Analizzando, ad esempio, il comportamento di BCff e BCbb a Bologna (fondo urbano) e Trento (traffico autostradale) si nota il calo del traffico in entrambi i siti (anche se di diversa entità) a fronte di un aumento della combustione da biomassa a Bologna e dalla sostanziale assenza di variazione a Trento.

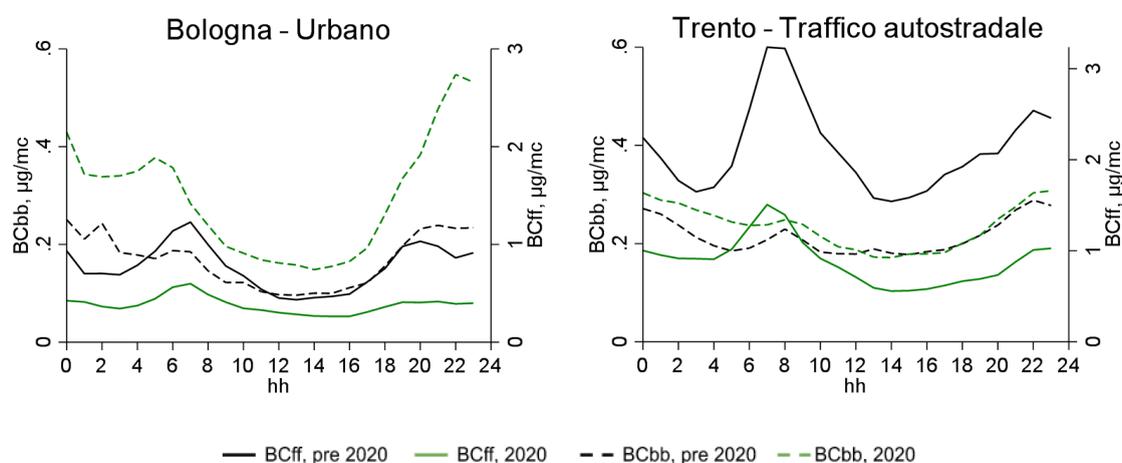


Figura 1.22. Confronto del giorno medio di BCff e BCbb durante il lockdown negli anni pre-pandemia e nel 2020 a Bologna (a sx) e a Trento (a dx).



Interessante osservare come la contrazione della sorgente da traffico sia stata tale, durante il *lockdown*, da incidere in modo non trascurabile, se misurato in un sito impattato in maniera preponderante da tale sorgente, anche su un primario non comunemente collegato al traffico, come l'ammoniaca (come si vede nei siti di Roma).

Al contrario specie che hanno una origine totalmente o principalmente legata alla frazione secondaria del particolato (come OC e gli ioni che maggiormente contribuiscono alla massa del PM) non hanno mostrato variazioni significative in seguito allo scoppio della pandemia. Unica eccezione è il calo del solfato sulla media annua che potrebbe essere legato a effetti di carattere extra-nazionale. Il solfato è una specie legata a particolato invecchiato, trasportato e alle attività produttive. Una contrazione di queste ultime a livello continentale potrebbe avere inciso sui valori di fondo misurati nell'estate 2020.



## 2 - RIPARTIZIONE DEL PARTICOLATO IN BASE ALLE SUE ORIGINI

Una delle informazioni più importanti riguardo al particolato atmosferico è da cosa esso sia stato originato e in che misura, cioè la ripartizione nelle sue sorgenti (*source apportionment*). La conoscenza della composizione chimica e della variazione nel tempo della concentrazione delle singole specie permette di applicare modelli di *source apportionment* per indagare questi aspetti. Tra quelli maggiormente diffusi c'è la PMF (*Positive Matrix Factorization*) che permette di individuare i fattori che contribuiscono a formare la massa del PM e il loro contributo giorno per giorno.

### 2.1 SOURCE APPORTIONMENT PM2.5

Sui dati di composizione chimica del PM2.5 dei siti di Bologna, Parma, Rimini e S. Pietro Capofiume è stata prodotta e pubblicata un'analisi di questo tipo inerente al quadriennio [2013-2017](#). La stessa analisi è stata ripetuta per il periodo da ottobre 2015 a marzo 2021 in modo da prendere in considerazione quattro anni (10/2015-10/2019) precedenti l'inizio della pandemia e un anno successivo ai primi casi di Covid19 registrati in Italia (03/2020-03/2021).

I fattori che contribuiscono alla massa del PM2.5 individuati sono sostanzialmente gli stessi trovati nell'analisi 2013-2017 per cui si rimanda all'articolo citato per approfondimenti sulla caratterizzazione dei fattori stessi e ci si concentrerà solo sulla variazione pre e post pandemia.

I fattori individuati sono sei, quattro legati a sorgenti primarie e due formati da componenti secondarie presenti nel particolato:

- Traffico con risospensione: un fattore privo di evidente stagionalità, ascrivibile al traffico con un contributo crostale, probabilmente dovuto al sollevamento di tale materiale in seguito al passaggio veicolare;
- Combustione di biomassa: un fattore caratterizzato da un contributo elevato nel periodo autunnale/invernale attribuibile alla combustione di materiale legnoso, prevalentemente per riscaldamento;
- Combustione di oli pesanti: un fattore con un contributo in massa ridotto, e associato all'arrivo di masse d'aria dalle aree mediterranee, in cui sono presenti tracce di combustione di oli pesanti, probabilmente legate al trasporto navale;
- Mix antropogenico: un insieme di contributi piccoli e vari da tutte le attività produttive, terziarie e di servizio presenti, nessuna delle quali con un contributo sufficientemente elevato da permettere l'individuazione di un fattore specifico;

- Secondario nitrato: un contributo di sostanze secondarie alla massa del PM con una forte stagionalità, dominato dalla presenza di nitrato, in particolare nitrato d'ammonio che è una sostanza caratteristica del particolato invernale.
- Secondario solfato e organici (fondo): una componente secondaria dell'aerosol con un contributo in massa sostanzialmente costante e attribuibile a un fondo di macroscale con sostanze più o meno invecchiate.

### 2.1.1 SORGENTI PRIMARIE PM2.5

Durante il *lockdown* della primavera 2020 l'unico fattore legato a sorgenti primarie a non mostrare una variazione significativa rispetto alla media dello stesso periodo degli anni precedenti è il mix antropogenico, cioè l'insieme delle attività antropiche. La combustioni di oli pesanti e il traffico mostrano un calo significativo, il primo in tutti i siti ( $-0.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ; -85%) e il secondo in tutti quelli urbani (calo medio nei siti urbani:  $-1.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , -49%), mentre la combustione di biomassa ha un incremento significativo nella maggior parte dei siti urbani (Bologna  $+0.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , +46% e Parma  $+0.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , +148%).

Osservando le medie negli anni di questi contributi si nota però che mentre traffico e combustione di biomassa hanno nel periodo considerato del 2020 un andamento diverso dal trend degli anni precedenti, il calo della combustione degli oli pesanti è in linea con quanto mostrato nel tempo.

Tabella 2.1. Valori mediati tra i siti di Bologna (UB), Parma (UB), Rimini (UB) e S. Pietro Capofiume (RB) dei fattori legati a sorgenti primarie del PM2.5 per il periodo del *lockdown* 2020 e lo stesso periodo negli anni 2016, 2017, 2018 e 2019.

Variazione lockdown (PM2.5)	Traffico	Comb. biomassa	Comb. oli pesanti	Mix antropogenico
Media 2016-2019	3.1	1.0	0.9	1.7
Media 2020	1.8	1.7	0.1	1.5
Diff	-1.3	0.7	-0.8	-0.2
Diff %	-43%	65%	-85%	-11%

# PM2.5

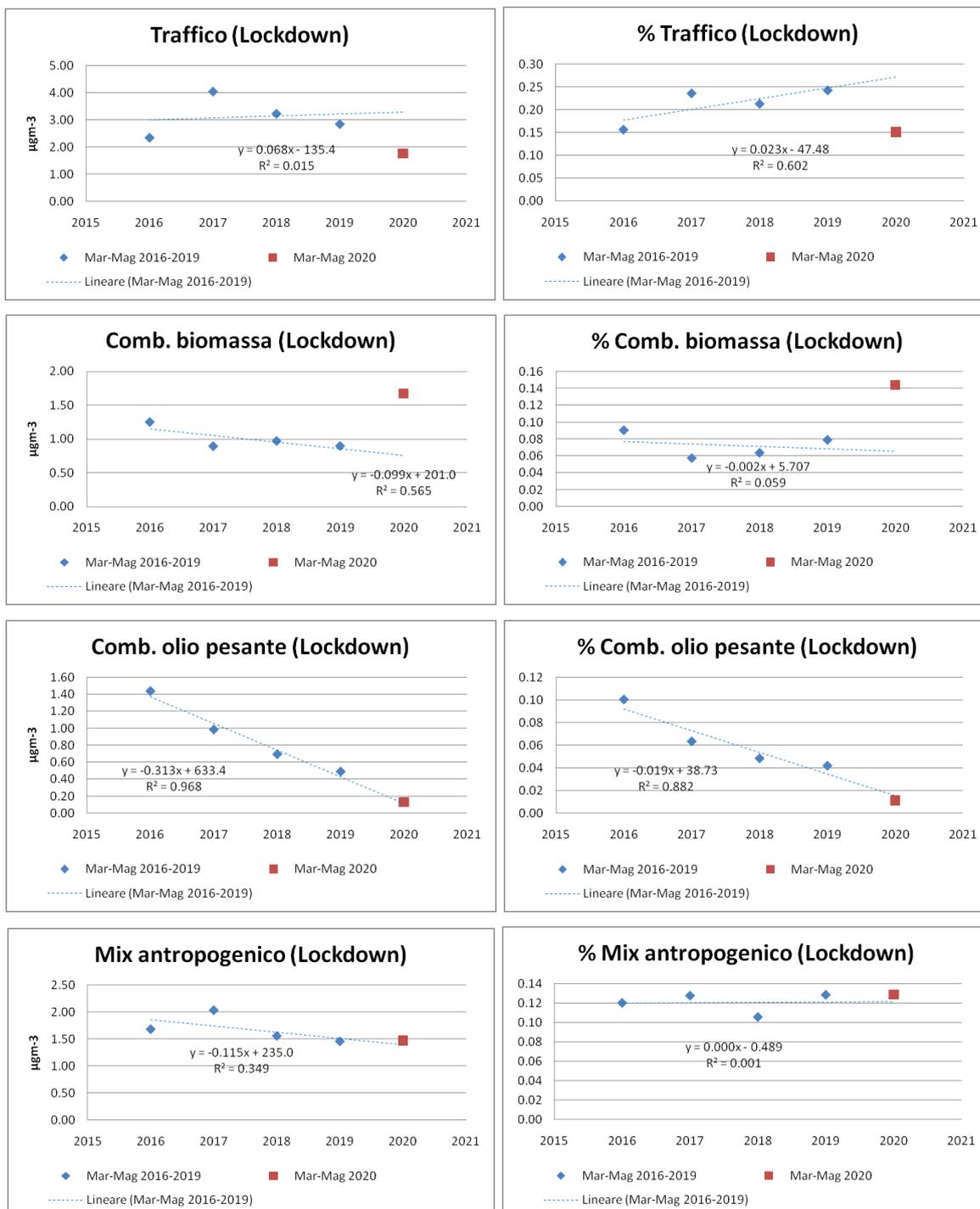


Figura 2.1. Concentrazione media dei fattori attribuiti a sorgenti primarie (media di tutti i siti) nel periodo compreso tra marzo e maggio (*lockdown*) di ogni anno espressa come valore assoluto (a sx) e come percentuale del PM2.5 (a dx).

Allargando il periodo analizzato ad una intera annualità (cioè da marzo 2020 a marzo 2021), traffico e combustione di oli pesanti mantengono la significatività del loro decremento in tutti i siti (con un



calo compreso tra il 25% e il 50%,  $-0.9/-3.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , per il primo e tra 50% e 85%,  $-0.1/-1.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , il secondo), ed entrambi con cali più importanti rispetto al trend delle loro concentrazioni negli anni precedenti.

Al contrario, non si vede più una significatività nella variazione della combustione della biomassa. Il mix antropogenico, pur non avendo una variazione statisticamente significativa rispetto alla media delle annualità precedenti, ha un andamento in controtendenza rispetto agli altri anni considerati, con un incremento a fronte di un trend di diminuzione.

Tabella 2.2. Valori mediati tra i siti di Bologna (UB), Parma (UB), Rimini (UB) e S. Pietro Capofiume (RB) dei fattori legati a sorgenti primarie del PM<sub>2.5</sub> per il periodo 10/2015-10/2019 e 03/2020-03/2021.

<b>Variazione annuale [<math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math>]</b>	<b>Traffico</b>	<b>Comb. biomassa</b>	<b>Comb. oli pesanti</b>	<b>Mix antropogenico</b>
Media 2016-2019	4.1	3.0	0.6	2.4
Media 2020	2.3	1.9	0.1	2.4
Diff	-1.8	-1.1	-0.5	-
Diff %	-44%	-38%	-80%	-

# PM2.5

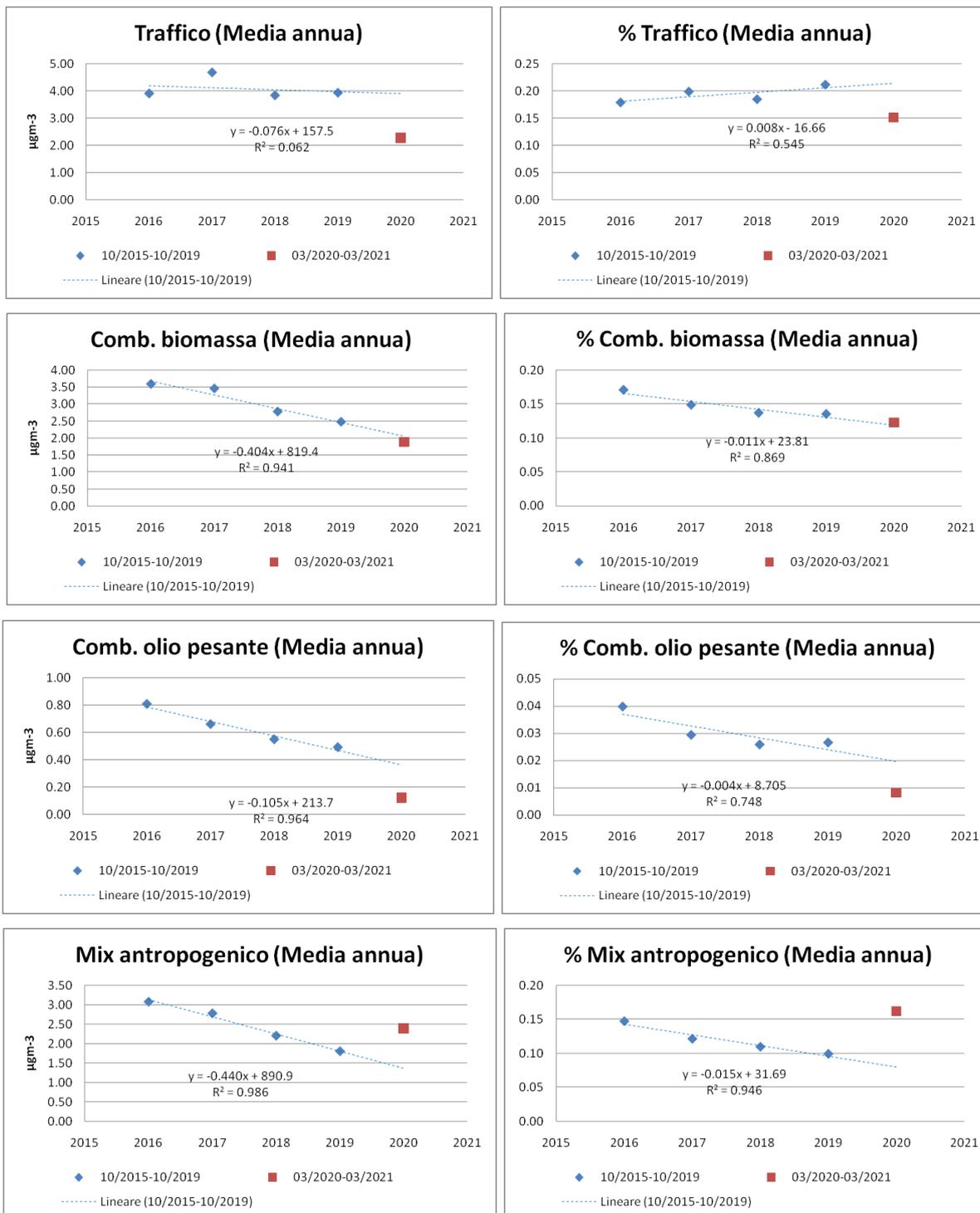


Figura 2.2. Concentrazione media annua dei fattori attribuiti a sorgenti primarie (media di tutti i siti) espressa come valore assoluto (a sx) e come percentuale del PM2.5 (a dx).



## 2.1.2 FATTORI SECONDARI PM2.5

Le due componenti di origine secondaria del PM individuate non mostrano, durante il periodo di *lockdown*, variazioni statisticamente significative rispetto alla media degli anni precedenti, e anche il loro andamento sembra rimanere all'interno di una variabilità interannuale.

Tabella 2.3. Valori mediati tra i siti di Bologna (UB), Parma (UB), Rimini (UB) e S. Pietro Capofiume (RB) dei fattori legati alle componenti secondarie del PM2.5 per il periodo del lockdown 2020 e lo stesso periodo negli anni 2016, 2017, 2018 e 2019.

<b>Variazione lockdown [<math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math>]</b>	<b>Secondario Nitrato</b>	<b>Secondario Fondo</b>
Media 2016-2019	3.5	4.2
Media 2020	3.1	3.6
Diff	-0.4	-0.6
Diff %	-12%	-15%

## PM2.5

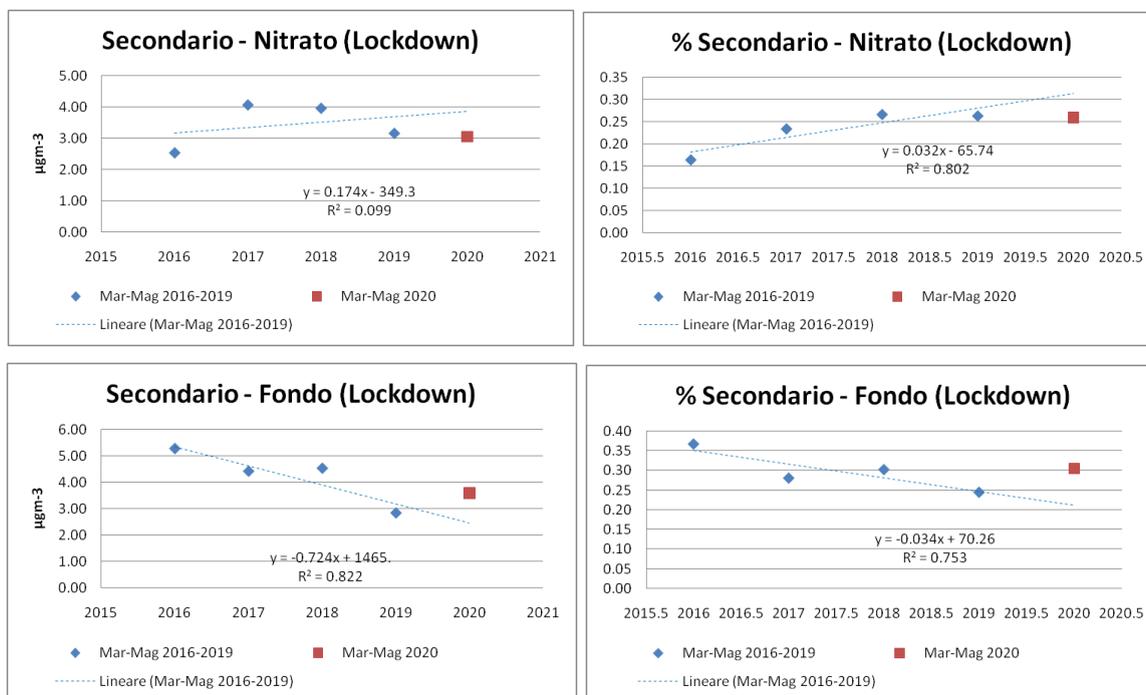


Figura 2.3. Concentrazione media dei fattori attribuiti alle componenti secondarie del particolato (media di tutti i siti) nel periodo compreso tra marzo e maggio (*lockdown*) di ogni anno espressa come valore assoluto (a sx) e come percentuale del PM2.5 (a dx).

Considerando anche il periodo successivo alla fine del *lockdown*, quindi l'annualità da marzo 2020 a marzo 2021, il fattore secondario dominato dal nitrato continua a non mostrare variazioni significative. Per il solo sito di Bologna c'è un incremento statisticamente significativo (+1.2 µg/m<sup>3</sup>, +22%) che però può essere attribuito a due eventi episodici con un elevato accumulo di nitrato d'ammonio del novembre 2020.

Al contrario, in tutti i siti, il fattore secondario legato al fondo regionale o continentale, mostra un calo significativo (compreso tra il 15% e il 30%, -0.7/-1.5 µg/m<sup>3</sup>).

Tabella 2.4. Valori mediati tra i siti di Bologna (UB), Parma (UB), Rimini (UB) e S. Pietro Capofiume (RB) dei fattori legati alle componenti secondarie del PM2.5 per il periodo 10/2015-10/2019 e 03/2020-03/2021.

Variatione annuale [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	Secondario Nitrato	Secondario Fondo
Media 2016-2019	6.1	4.6
Media 2020	5.1	3.6
Diff	-1.0	-1.1
Diff %	-17%	-23%

## PM2.5

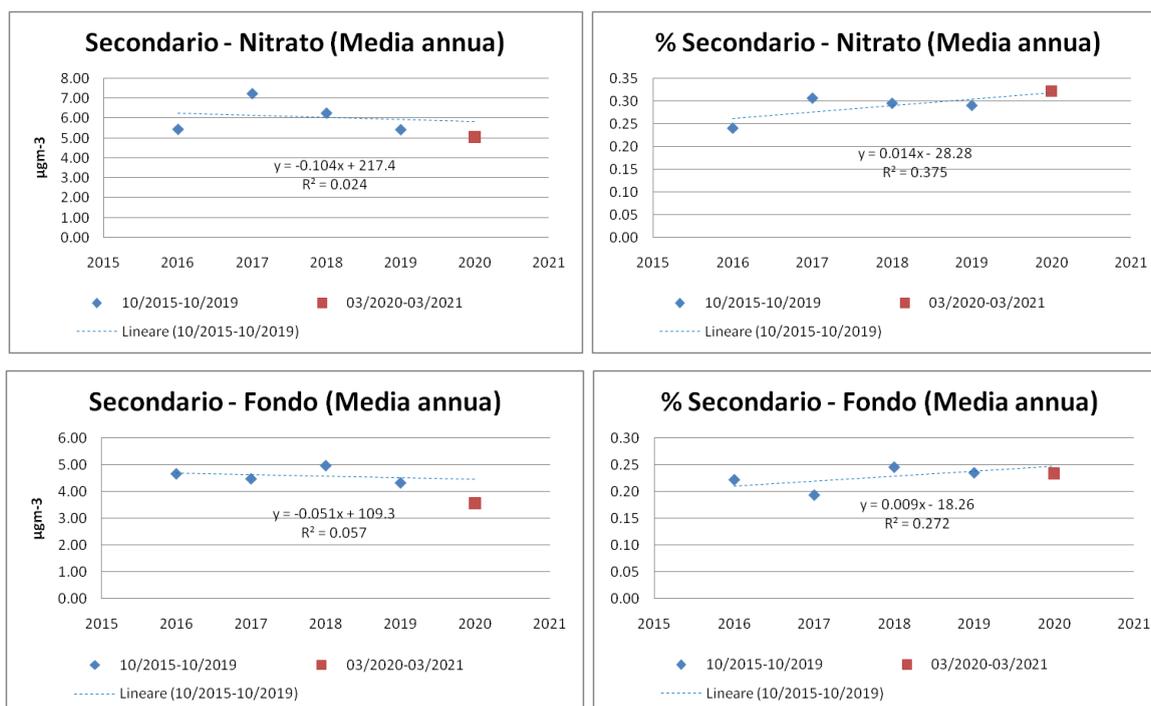


Figura 2.4. Concentrazione media annua dei fattori attribuiti alle componenti secondarie del particolato (media di tutti i siti) espressa come valore assoluto (a sx) e come percentuale del PM2.5 (a dx).



## 2.2 SOURCE APPORTIONMENT PM10

Sui dati di composizione chimica del PM10 del sito di Milano, via Pascal, è stata effettuata l'analisi PMF inerente al periodo 2013-2021.

I fattori che contribuiscono alla massa del PM10 individuati sono sette, cinque legati a sorgenti primarie e due formati da componenti secondarie presenti nel particolato:

- Traffico: un fattore privo di evidente stagionalità, ascrivibile al traffico;
- Combustione di biomassa: un fattore caratterizzato da un contributo elevato nel periodo autunnale/invernale attribuibile alla combustione di materiale legnoso, prevalentemente per riscaldamento;
- Mix antropogenico: un insieme di contributi piccoli e vari da tutte le attività produttive, terziarie e di servizio presenti, nessuna delle quali con un contributo sufficientemente elevato da permettere l'individuazione di un fattore specifico;
- Cloro: una componente dell'aerosol con un contributo in massa episodico e attribuibile ad aerosol più o meno invecchiato, spargimenti di sale e contributi vari da attività produttive;
- Suolo: un contributo alla massa del PM di sostanze di origine crostale che, pur potendo avere origine naturale, in un'area metropolitana sono attribuibili ad attività antropiche (ad es. l'edilizia) o legate ad un effetto di sollevamento prodotto dal transito veicolare;
- Secondario nitrato: un contributo di sostanze secondarie alla massa del PM con una forte stagionalità, dominato dalla presenza di nitrato, in particolare nitrato d'ammonio che è una sostanza caratteristica del particolato invernale.
- Secondario solfato e organici (fondo): una componente secondaria dell'aerosol con un contributo in massa sostanzialmente costante e attribuibile a un fondo di macroscale con sostanze più o meno invecchiate.

I fattori individuati per il PM10 sono, come atteso, molto simili a quelli identificati per il PM2.5, soprattutto per quanto riguarda la frazione secondaria, che è omogeneamente distribuita in tutta la pianura padana. Alcune differenze possono essere dovute al diverso taglio dimensionale o alle diverse tecniche di analisi chimica utilizzate che permettono di identificare gli elementi con differente sensibilità: ad esempio le analisi eseguite sul PM2.5 permettono di identificare meglio Ni e V e ciò permette di caratterizzare il fattore di combustione di oli pesanti, al contrario Al e Si sono meglio quantificati dalle analisi del PM10 e questo, assieme alla granulometria considerata, consente di isolare il fattore crostale.



Al fine di avere una diretta confrontabilità con quanto emerso dall'analisi sul PM2.5, le variazioni sono state calcolate rispetto al quadriennio 2016-2019.

## 2.2.1 SORGENTI PRIMARIE PM10

Le azioni intraprese per limitare la diffusione della pandemia hanno prodotto, durante il periodo di *lockdown*, un calo sostanziale sia del fattore legato al traffico (-3.9  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , +69%) che del fattore legato all'insieme delle attività antropiche (-0.9  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , -45%), al contrario la combustione della biomassa mostra un segnale di incremento, seppur limitato (+0.2  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , +23%). Il fattore legato al contributo del suolo e quello caratterizzato dal cloro non mostrano quasi variazioni rispetto alle medie degli anni precedenti.

Tabella 2.5. Valori a Milano Pascal dei fattori legati a sorgenti primarie del PM10 per il periodo del lockdown 2020 e lo stesso periodo negli anni 2016, 2017, 2018 e 2019.

Variazione lockdown [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	Traffico	Comb. biomassa	Antropogenico	Crostante	Cloro
Media 2016-2019	5.6	0.8	2.0	5.0	1.0
Media 2020	1.7	1.0	1.1	5.0	0.9
Diff	-3.9	0.2	-0.9	-	-0.2
Diff %	-69%	23%	-45%	-	-16%

Queste variazioni sono coerenti con quanto si osserva dal confronto con l'andamento delle concentrazioni di questi fattori negli anni: traffico, antropogenico e combustione di biomassa hanno un discostamento evidente dall'andamento tendenziale degli anni precedenti, per gli ultimi due più evidente considerando il contributo percentuale, al contrario dei fattori di suolo e cloro che sono sostanzialmente in linea con la serie storica.

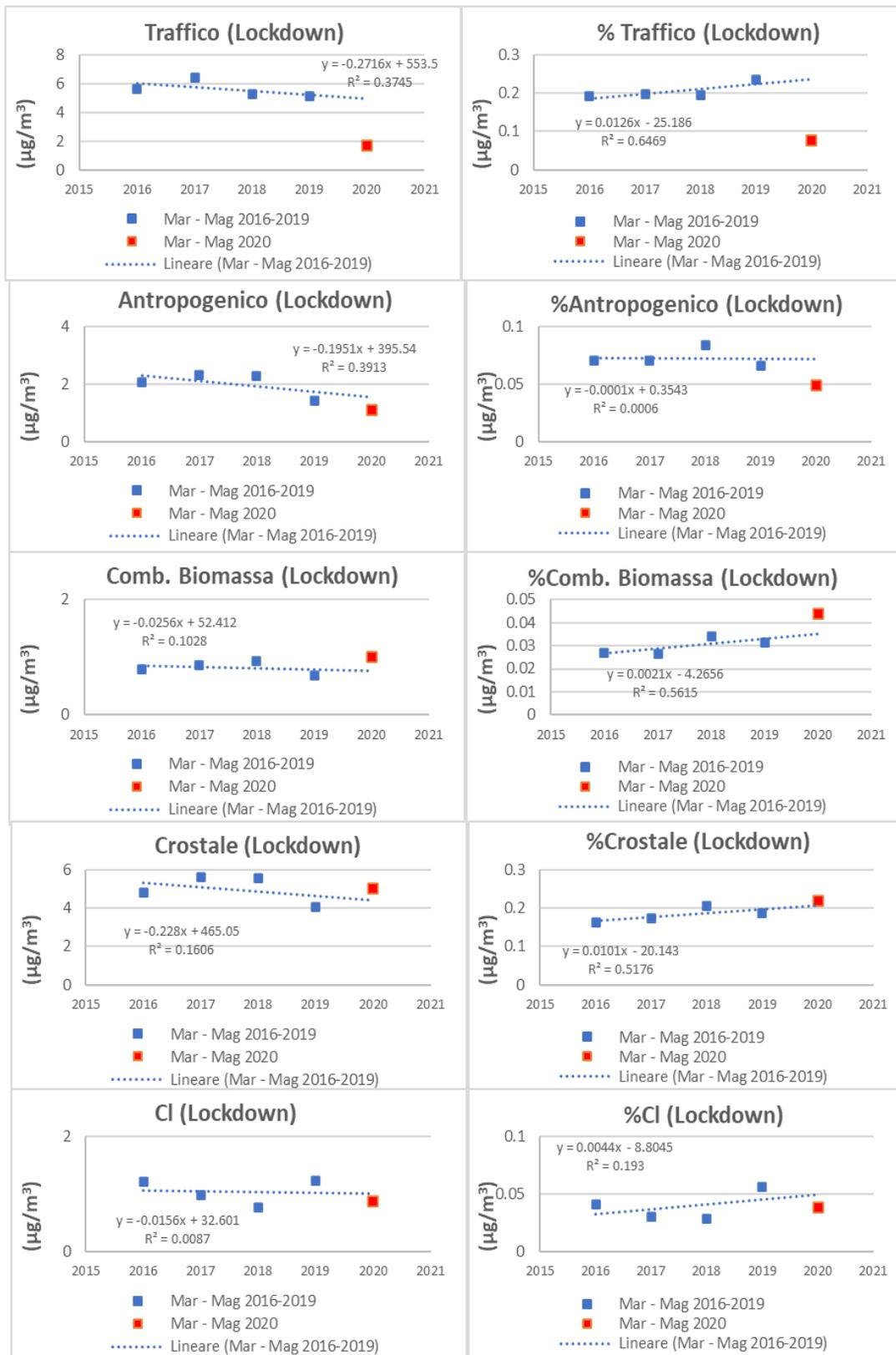


Figura 2.5. Concentrazione media dei fattori attribuiti a sorgenti primarie a Milano Pascal nel periodo compreso tra marzo e maggio (lockdown) di ogni anno espressa come valore assoluto (a sx) e come percentuale del PM10 (a dx).



Considerando l'intera annualità e confrontando le medie del 2020 con l'andamento delle medie degli anni precedenti, solo il traffico mostra una diminuzione considerevole (-35%), inferiore alla tendenza degli anni 2016-2019. La combustione di biomassa, dopo l'incremento nel periodo di lockdown, mostra una diminuzione in linea con quanto mostrato almeno negli ultimi 2 anni.

Tabella 2.6. Valori a Milano Pascal dei fattori legati a sorgenti primarie del PM10 per il periodo 10/2015-10/2019 e 03/2020-03/2021.

<b>Variazione annuale [<math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math>]</b>	<b>Traffico</b>	<b>Comb. biomassa</b>	<b>Antropogenico</b>	<b>Crostante</b>	<b>Cloro</b>
Media 2016-2019	7.4	3.1	2.3	4.8	1.4
Media 2020	4.9	2.6	2.2	5.4	1.2
Diff	-2.6	-0.6	-0.1	0.6	-0.2
Diff %	-35%	-18%	-4%	14%	-13%

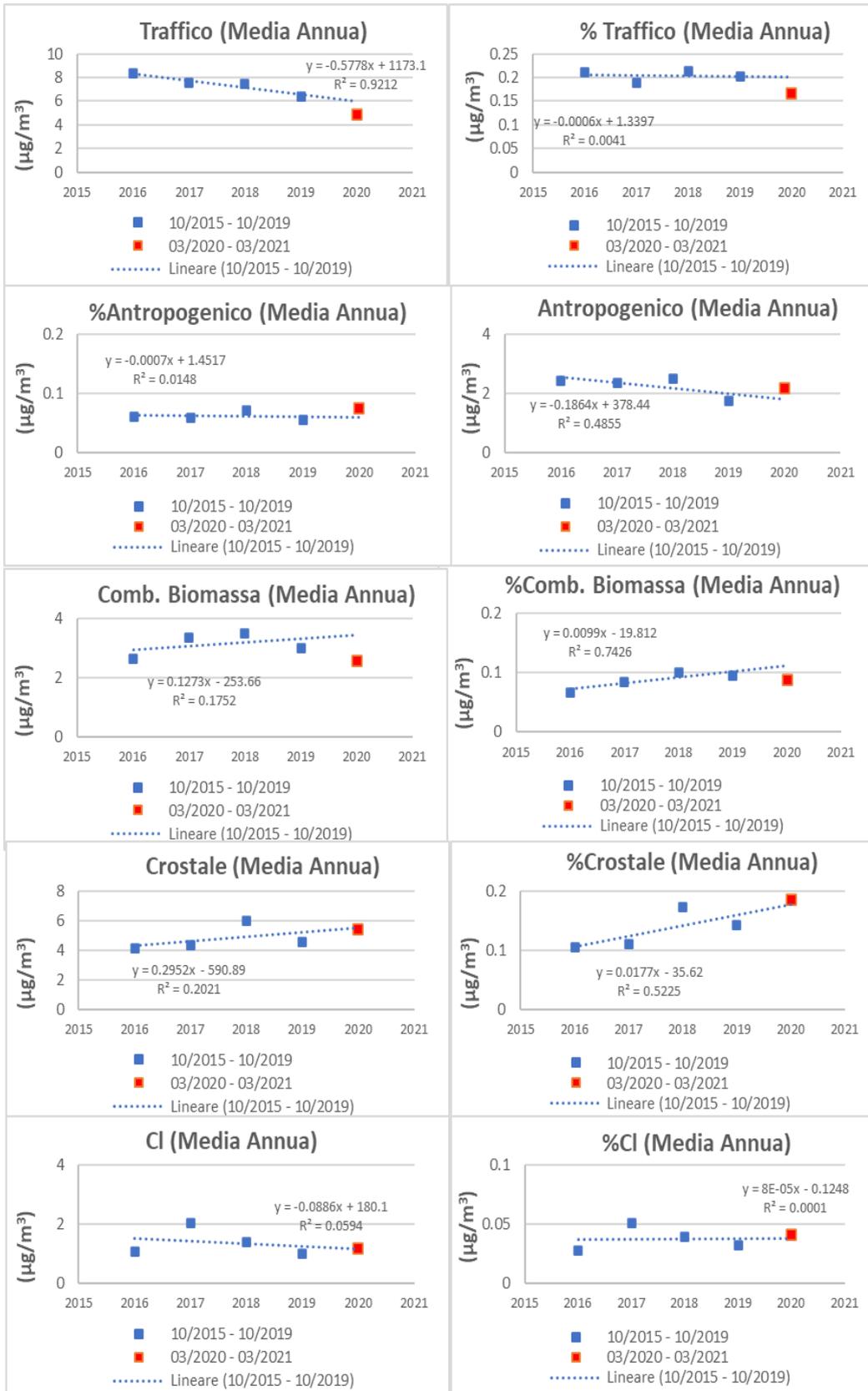


Figura 2.6. Concentrazione media annua dei fattori attribuiti a sorgenti primarie a Milano Pascal espressa come valore assoluto (a sx) e come percentuale del PM10 (a dx).

## 2.2.1 FATTORI SECONDARI PM10

Le concentrazioni delle componenti secondarie del particolato non sembrano essere state influenzate dai provvedimenti presi durante il lockdown infatti hanno scostamenti contenuti rispetto alle medie degli anni precedenti (soprattutto la componente dominata dal nitrato: +8%), e il loro contributo percentuale è perfettamente in linea con la tendenza mostrata da questi fattori negli ultimi anni.

Tabella 2.7. Valori a Milano Pascal dei fattori legati alle componenti secondarie del PM210 per il periodo del lockdown 2020 e lo stesso periodo negli anni 2016, 2017, 2018 e 2019.

Variazione lockdown [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	Secondario Nitrato	Secondario Fondo
Media 2016-2019	5.1	7.1
Media 2020	5.7	7.2
Diff	0.6	0.0
Diff %	12%	0%

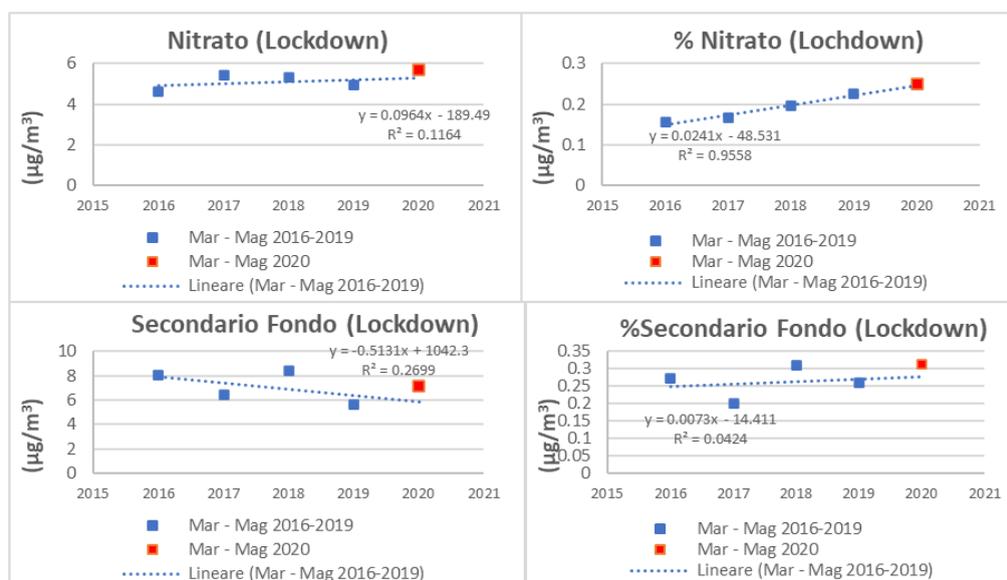


Figura 2.7. Concentrazione media dei fattori attribuiti alle componenti secondarie del particolato (media di tutti i siti) nel periodo compreso tra marzo e maggio (lockdown) di ogni anno espressa come valore assoluto (a sx) e come percentuale del PM2.5 (a dx).

Ampliando l'analisi ai 12 mesi successivi all'arrivo del SarsCov2 in Italia, i due fattori secondari mostrano entrambi un calo percentuale (nitrato -16% e solfato -28%) ma, osservando il trend degli

anni precedenti, il nitrato si allinea bene alle concentrazioni degli ultimi 2 anni. Il secondario di fondo, al contrario ha avuto una diminuzione sensibile rispetto alle concentrazioni medie degli anni 2016-2019.

Tabella 2.8. Valori a Milano Pascal dei fattori legati alle componenti secondarie del PM10 per il periodo 10/2015-10/2019 e 03/2020-03/2021.

Variazione annuale [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	Secondario Nitrato	Secondario Fondo
Media 2016-2019	7.5	9.0
Media 2020	6.3	6.5
Diff	-1.2	-2.5
Diff %	-16%	-28%

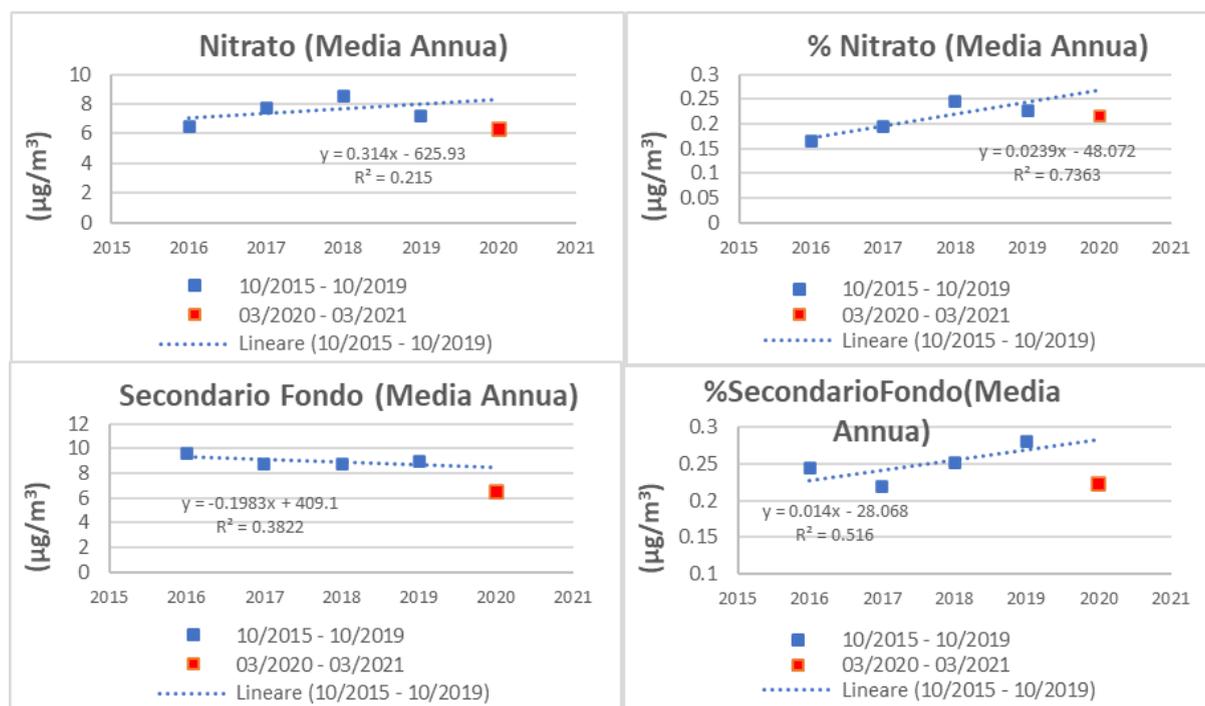


Figura 2.8. Concentrazione media annua dei fattori attribuiti alle componenti secondarie del particolato a Milano Pascal espressa come valore assoluto (a sx) e come percentuale del PM10 (a dx).

## 2.3 DISCUSSIONE

Il calo del contributo legato al traffico era sicuramente atteso nel periodo del *lockdown* ma anche sull'intera annualità, considerando l'introduzione dello *smart working*, le restrizioni che perduravano e l'incremento della didattica a distanza soprattutto per le scuole secondarie di secondo

grado nell'autunno 2020. Risulta però interessante che l'entità della riduzione durante il solo *lockdown* sia, in media, assolutamente comparabile a quella osservata su tutto l'anno nel PM2.5 (-43% durante il *lockdown*, -44% nell'annualità). Al contrario nel PM10 si è dimezzato (-69% durante il *lockdown*, -35% nell'annualità) ma bisognerebbe riuscire a capire che effetto potrebbe aver avuto in una metropoli come Milano il possibile aumento, rispetto agli altri anni, del ricorso a mezzi propri a scapito di quelli pubblici, per timore dell'incremento del numero di contagi dall'autunno 2020.

L'aumento della combustione della biomassa, principalmente legata al riscaldamento domestico, durante il *lockdown* è compatibile con le restrizioni che imponevano alla popolazione di rimanere in casa e questo incremento ha contribuito a mascherare il calo che si avrebbe avuto alla massa totale del PM in seguito alla riduzione dei trasporti.

La componente secondaria di fondo può essere formata da sostanze invecchiate e quindi presenti in atmosfera da tempo, si può ipotizzare che la sua diminuzione significativa sull'intero 2020 (tra il -20% e il -30% circa) sia ancora legata alle limitazioni del *lockdown* o comunque dei diversi provvedimenti presi dagli stati, ipotesi supportata dall'importante diminuzione di un altro fattore legato a sorgenti distanti, la combustione di oli pesanti (-80% sulla media annua) nell'emissione del traffico navale commerciale.

Inatteso, al contrario, l'aumento del mix antropogenico nel PM2.5, che però risulta non significativo. Osservando la media mensile di questo fattore negli anni di riferimento rispetto all'annualità pandemica, si nota un incremento importante soprattutto nel mese di novembre, quindi si può ipotizzare che, come per il secondario nitrato, siano stati determinanti i due episodi di accumulo di particolato registrati in quel mese.

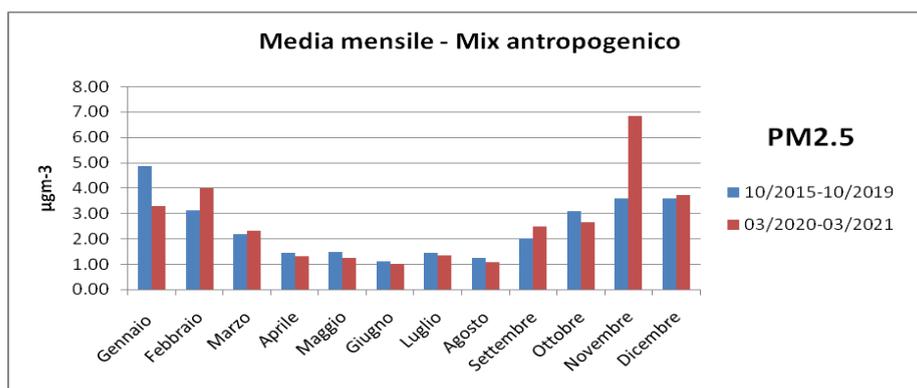


Figura 2.9. Concentrazione media mensile del mix antropogenico nel PM2.5 (media di tutti i siti). Confronto tra le medie ottenute per la serie storica di riferimento (10/2015-10/2019) e l'anno successivo all'inizio della pandemia da SarsCov2 (03/2020-03/2021).

Questo comportamento del mix antropogenico apparentemente contrasta con il carattere primario di questo fattore. In realtà pur spiegando la maggior parte della concentrazione di numerosi elementi metallici o metalloidi che aiutano a identificarlo come primario antropico, deve una parte importante della sua massa al carbonio organico: OC spiega una percentuale tra 10% e 30% della massa totale di questo fattore anche se in esso finisce una percentuale tra il 5% e il 15% della

concentrazione totale di OC. Come detto in precedenza OC ha al suo interno sia una componente primaria (POA) che secondaria (SOA) che con i dati a disposizione non è stato possibile disgiungere. Una possibilità è che gli episodi di accumulo di novembre 2020, che come tali portano ad una crescita elevata delle componenti secondarie (in questo caso il SOA), siano stati così importanti da andare a influenzare la concentrazione totale di questo fattore.

Questo sarebbe supportato anche dall'incremento in quel mese delle concentrazioni di un'altra sorgente primaria del PM<sub>2.5</sub> che dipende in modo rilevante dai valori di OC (dal 31% a Bologna al 42% di Parma), cioè la combustione di biomassa. Infatti nel mese di novembre 2020 la media delle concentrazioni di questa sorgente ha raggiunto valori pari a quelli del mese di dicembre, che invece nella serie storica risultano maggiori.

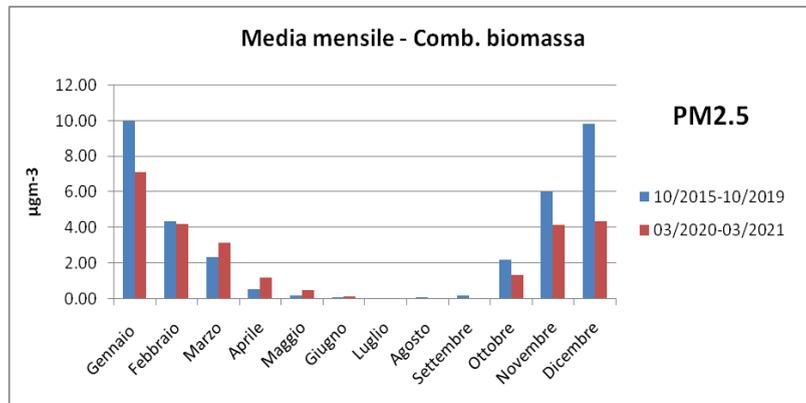


Figura 2.10. Concentrazione media mensile della combustione di biomassa nel PM<sub>2.5</sub> (media di tutti i siti). Confronto tra le medie ottenute per la serie storica di riferimento (10/2015-10/2019) e l'anno successivo all'inizio della pandemia da SarsCov2 (03/2020-03/2021).



### 3 - ANALISI DEI TREND TEMPORALI CON METODI DI MACHINE LEARNING

Scopo di questo lavoro è stato analizzare la variazione delle concentrazioni, se presente, delle specie componenti il particolato e di inquinanti come il BC e l'ammoniaca, durante la pandemia di SARS-CoV-2, imputabile al solo effetto delle misure restrittive, al netto dell'effetto delle condizioni meteorologiche. Come noto infatti, le variabili meteorologiche hanno un impatto sulle concentrazioni degli inquinanti molto rilevante. Per questo motivo si è utilizzato un modello di *machine learning*, la tecnica "*Random Forest*" (RF), in grado di stimare le concentrazioni che si sarebbero osservate nel 2020, in base alle condizioni meteorologiche che si sono verificate, in assenza di variazioni delle emissioni (stima *business as usual*, BAU). Confrontando tali valori con quelli realmente osservati, la differenza si può ritenere imputabile alle sole misure restrittive imposte per il contenimento della pandemia, al netto della variabilità dovuta alla meteorologia.

I dati analizzati sono i dati di speciazione chimica del PM10 e PM2.5, di concentrazione dell'ammoniaca e di misura del *black carbon*.

I dati meteorologici utilizzati nell'analisi fanno parte del [dataset ERA5 generato dal servizio Copernicus sui cambiamenti climatici](#) e per i siti di Bologna e San Pietro Capofiume è stata utilizzata anche l'informazione sulla nebbia (*Liquid Water Content*) fornita dal [CNR ISAC](#) di Bologna.

Per i dati di composizione chimica del particolato, per cui era disponibile una lunga serie storica, il 5° e il 95° percentile dei residui tra dati giornalieri previsti e osservati degli anni 2013-2019 (previsione effettuata con il modello addestrato su tutti gli anni ad esclusione di quello che di volta in volta si voleva stimare) sono stati considerati per definire gli estremi di un intervallo di variabilità per la previsione del modello. In tal modo, per ogni inquinante ed ogni stazione si è ottenuto un intervallo di variabilità della previsione asimmetrico, che comprende il valore osservato nel 90% dei casi.

Sulle medie mensili invece gli intervalli di variabilità sono stati definiti diversamente: non essendo disponibile un numero di anni sufficiente per calcolare i percentili sulle medie mensili, si sono semplicemente considerati, per ogni mese, il valore più basso e più alto osservati negli anni come media mensile e questi hanno definito gli estremi dell'intervallo di variabilità.

Non si è invece calcolato alcun intervallo di variabilità per i dati di *black carbon* e ammoniaca, in quanto le serie storiche erano costituite da un numero troppo esiguo di anni. Si è invece considerata la differenza tra i dati osservati e predetti durante il periodo di validazione (gen-feb 2020) per avere una stima del *fitting* del modello.

#### 3.1 COMPONENTI CHIMICHE DEL PM

Sia per il PM2.5 che per il PM10, l'analisi RF è stata effettuata con tutti gli elementi della speciazione chimica disponibili (frazione carboniosa, ioni, metalli e alcuni anidrozuccheri), ma sono stati riportati solo i risultati delle specie chimiche per le quali il *fitting* del modello ha soddisfatto i requisiti minimi ( $R^2 \approx 0.5$ ).

Le specie chimiche sono risultate variamente predicibili dalla RF e, in generale, è risultato soddisfacente l'adattamento della frazione carboniosa, dei principali ioni ( $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_3^-$ ) e del levoglucosano. Per il  $\text{PM}_{2.5}$  sono riportati anche i risultati per il vanadio, un metallo che è risultato un tracciante della combustione di oli pesanti probabilmente imputabile al traffico navale (come nel fattore omonimo dell'analisi PMF, paragrafo 2.1), mentre per il  $\text{PM}_{10}$  sono riportati i risultati di ferro e rame, considerati traccianti (seppur non univoci) del traffico.

Oltre agli intervalli di variabilità descritti nel paragrafo precedente, le variazioni tra le concentrazioni osservate durante il *lockdown* e in tutto il 2020, e quelle previste dalla RF (BAU) sono state confrontate con le variazioni tra osservati e previsti calcolati per gli stessi periodi durante gli altri anni. Questo per avere una ulteriore informazione sulle variazioni che si possono osservare per l'incertezza di stima del modello, in modo da poter cogliere eventuali indicazioni sui possibili effetti imputabili alle misure restrittive della pandemia.

### 3.1.1 RANDOM FOREST $\text{PM}_{2.5}$

Sono state analizzate le serie storiche relative alle composizioni del  $\text{PM}_{2.5}$  di tre siti di fondo urbano (Bologna, Parma, Rimini) e di un fondo rurale (San Pietro Capofiume, BO).

Il carbonio elementare presenta valori inferiori a quelli previsti per tutti i siti. In genere il dato osservato rientra nell'intervallo di variabilità definito intorno al dato previsto giornaliero; al contrario, le medie mensili in tutti i siti mostrano concentrazioni inferiori al minimo di variabilità prevista durante il *lockdown* e, in diversi casi, anche dopo, fino al mese di agosto. La variazione delle concentrazioni osservate rispetto alle attese è compresa tra il -30% e il -50% circa nei siti durante il *lockdown* e tra il -20% e il -40% circa su tutto l'anno.

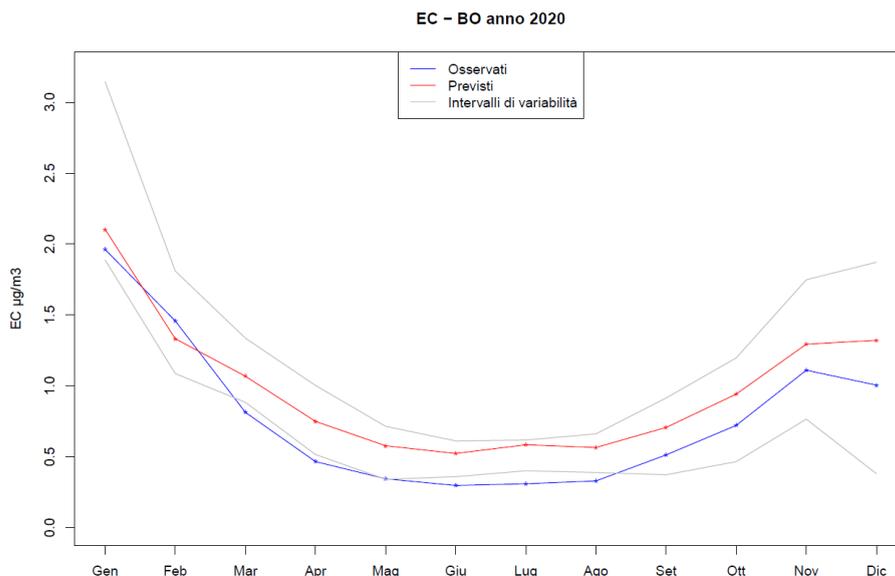


Figura 3.1. Andamento medio mensile delle concentrazioni osservate (blu) e previste (rosso) di EC nel sito urbano di Bologna. In grigio i valori minimo e massimo della serie storica analizzata.

Nel periodo di *lockdown*, il levoglucosano, *marker* della combustione della legna, mostra un aumento superiore al range di variabilità osservato negli anni precedenti. Per l'intera annualità non si evidenzia invece alcuna variazione maggiore della variabilità attesa.

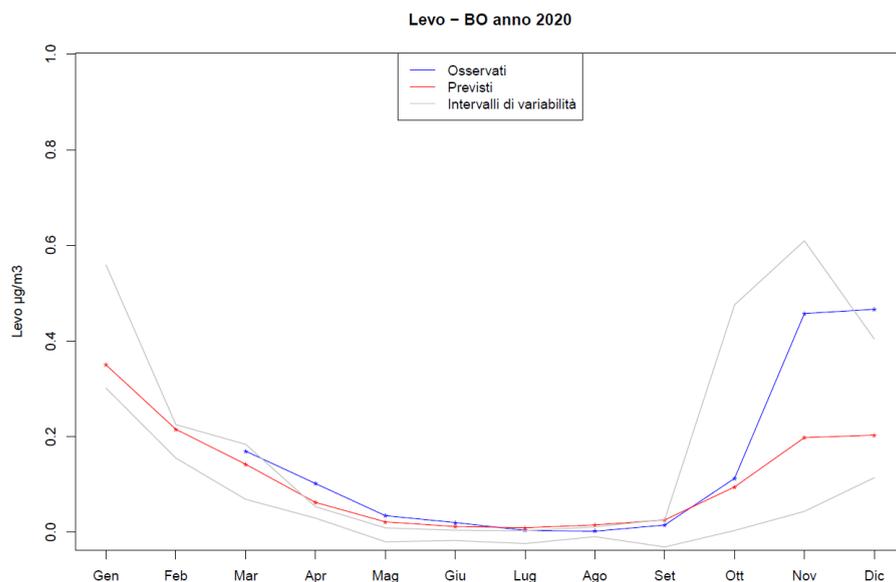


Figura 3.3. Andamento medio mensile delle concentrazioni osservate (blu) e previste (rosso) di Levoglucosano nel sito urbano di Bologna. In grigio i valori minimo e massimo della serie storica analizzata.

Il vanadio risulta un importante *marker* della combustione di oli pesanti ed è anche l'unico tra gli elementi in tracce del PM<sub>2.5</sub> ad avere un R<sup>2</sup> mediamente prossimo a 0.5. Le concentrazioni risultano molto più basse di quelle previste in tutto il 2020, anche prima dell'inizio del *lockdown* di marzo: i cali sono compresi tra il -70% e il -80%. Queste differenze sono tali da risultare ai limiti inferiori degli intervalli di variabilità definiti a livello giornaliero e ampiamente al di sotto dei limiti di variabilità definiti a livello mensile.

Si evidenzia anche una grande omogeneità tra i siti, probabilmente per il fatto che questo inquinante deriva prevalentemente da una sorgente di trasporto *long range*, la cui variazione impatta in modo simile su tutti i siti.

V - BO anno 2020

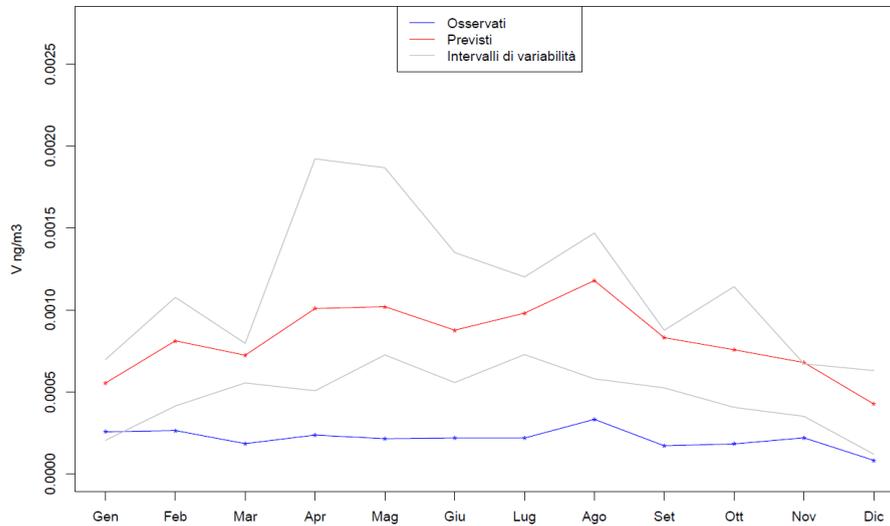


Figura 3.6. Andamento medio mensile delle concentrazioni osservate (blu) e previste (rosso) di vanadio nel sito urbano di Bologna. In grigio i valori minimo e massimo registrati durante la serie storica analizzata.

Le variazioni di nitrato, ammonio e OC ottenute per il 2020 (sia come intero anno che per il solo *lockdown*) sono invece comparabili con quelle calcolate per gli anni precedenti, di *training*, e non si possono pertanto attribuire alle azioni intraprese per combattere la diffusione del Covid-19.

Tabella 3.1. Variazione percentuale tra dato misurato e dato previsto dal modello, rispetto al dato previsto espresso per il sito rurale (RB) e per la media dei siti urbani (UB). [Tra parentesi quadre i valori minimi e massimi delle medie delle variazioni percentuali tra osservati e misurati negli anni 2013-2019]

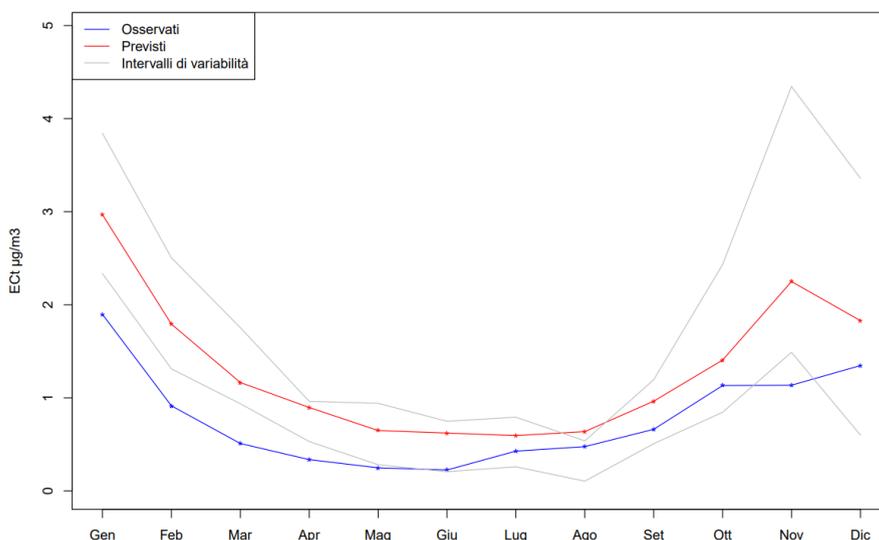
Variazione percentuale tra previsto e misurato	Lockdown		Anno	
	UB	RB	UB	RB
OC	-7% [-23/9%]	-11% [-36/27%]	-5% [-12/4%]	-12% [-32/12%]
EC	-43% [-24/25%]	-44% [-26/28%]	-36% [-20/14%]	-40% [-29/18%]
Levoglusano	46% [-44/-9%]	16% [-58/19%]	13% [-47/107%]	2% [-58/49%]
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	-12% [-54/34%]	5% [-41/30%]	-9% [-35/13%]	3% [-28/27%]
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	-27% [-53/18%]	-3% [-48/30%]	-10% [-51/29%]	2% [-40/47%]
Vanadio	-78% [-51/46%]	-69% [-46/45%]	-75% [-27/13%]	-77% [-23/7%]

### 3.1.2 RANDOM FOREST PM10

Sono state analizzate le serie storiche di composizione chimica del PM10 di due siti di Milano: Pascal, fondo urbano (MI-PSC), e Senato (MI-SE), sito di traffico.

Tra le specie considerate, il carbonio elementare mostra, per entrambi i siti e i periodi analizzati, una differenza percentuale maggiore di quelle calcolate per gli stessi intervalli temporali durante gli altri anni, con variazioni maggiori durante il periodo di *lockdown* rispetto alla media annua, ma in entrambi i casi confrontabili per i due siti, nonostante uno sia di fondo urbano e l'altro di traffico.

ECt - MIPSC year 2020



ECt - MISE year 2020

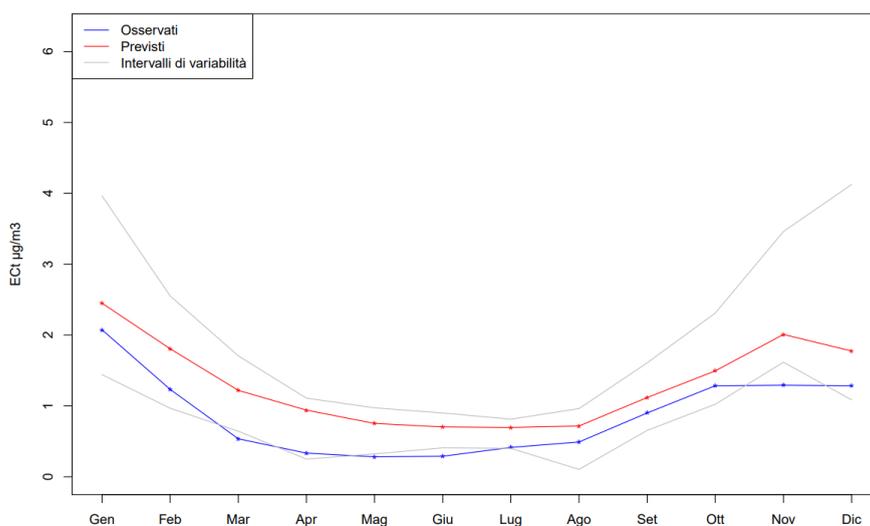
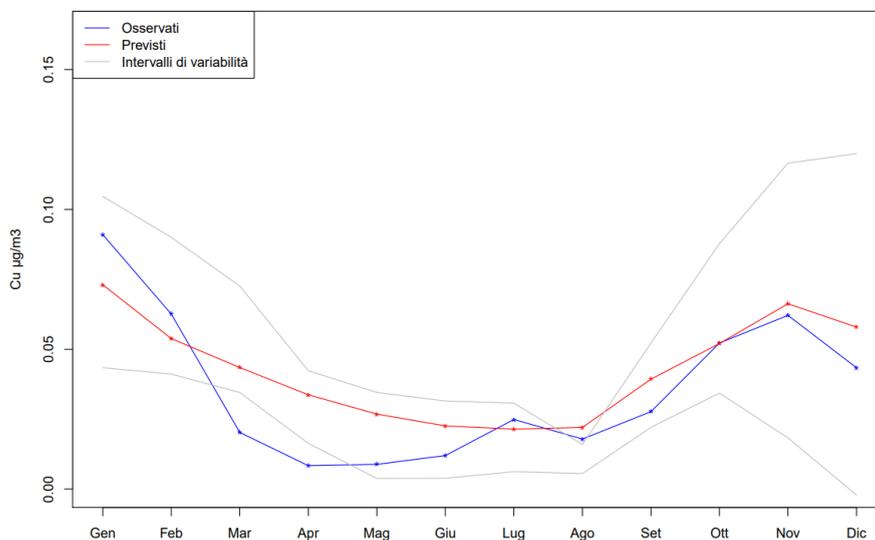


Figura 3.7. Andamento medio mensile delle concentrazioni osservate (blu) e previste (rosso) di EC nel sito urbano di Milano Pascal (in alto) e nel sito di traffico di Milano Senato (in basso). In grigio i valori minimo e massimo registrati durante la serie storica analizzata.

Il ferro può avere diverse sorgenti antropiche (tra cui il traffico, il trasporto ferroviario, le attività industriali) mentre il rame è principalmente attribuito a emissioni *non-exhaust* del traffico. Entrambi questi elementi mostrano una diminuzione percentuale superiore alla variabilità interannuale durante il *lockdown* sia a Pascal che a Senato. Per il sito di traffico questo calo permane per l'intero 2020, seppur più contenuto.

**Cu - MIPSC year 2020**



**Cu - MISE year 2020**

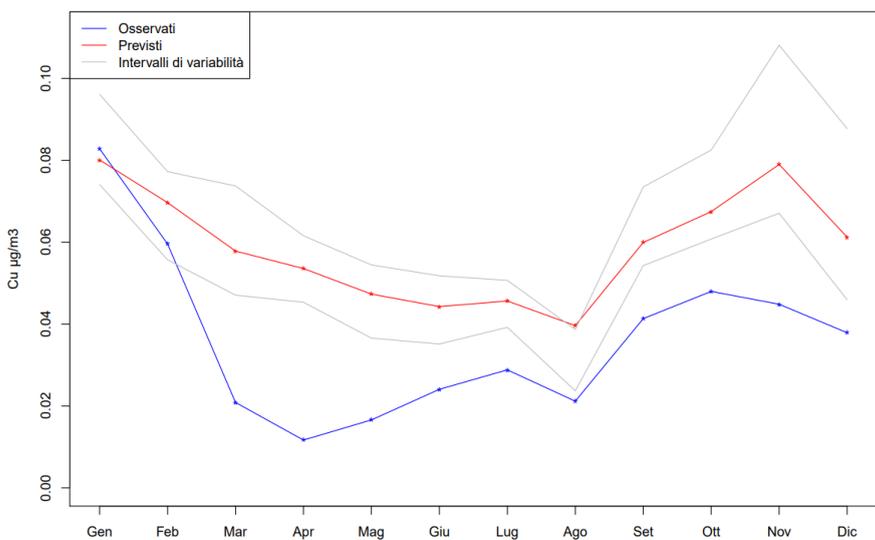
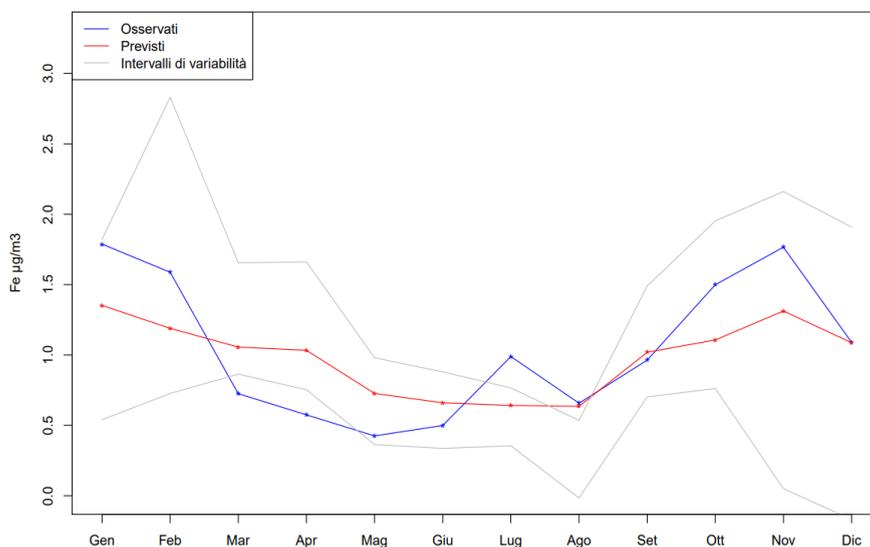


Figura 3.8. Andamento medio mensile delle concentrazioni osservate (blu) e previste (rosso) di rame nel sito urbano di Milano Pascal (in alto) e nel sito di traffico di Milano Senato (in basso). In grigio i valori minimo e massimo registrati durante della serie storica analizzata.

Fe - MIPSC year 2020



Fe - MISE year 2020

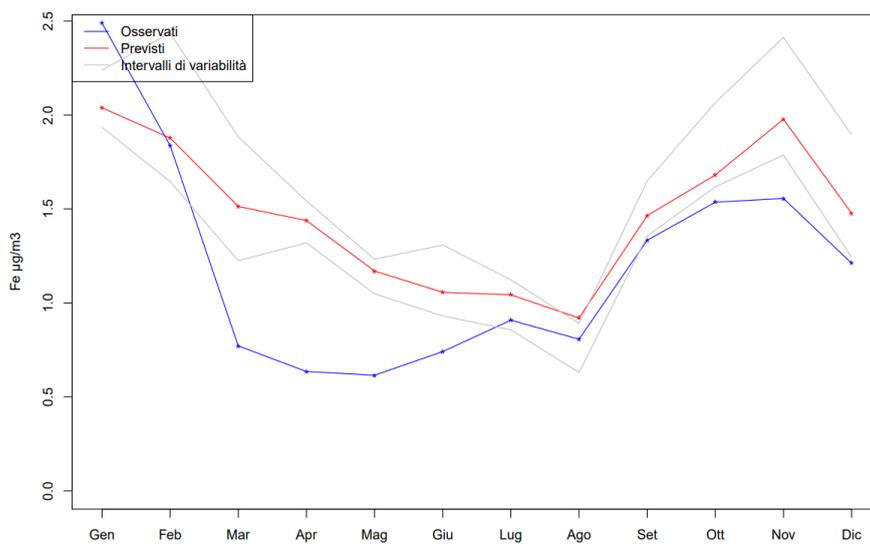


Figura 3.9. Andamento medio mensile delle concentrazioni osservate (blu) e previste (rosso) di ferro nel sito urbano di Milano Pascal (in alto) e nel sito di traffico di Milano Senato (in basso). In grigio i valori minimo e massimo registrati durante della serie storica analizzata.

Tabella 3.2. Variazione percentuale tra dato misurato e dato previsto dal modello, rispetto al dato previsto espresso per il sito di fondo urbano (Milano Pascal) e per il sito di traffico (Milano Senato). [Tra parentesi quadre i valori minimi e massimi delle medie delle variazioni percentuali tra osservati e misurati negli anni 2013-2019].

Variazione percentuale tra previsto e misurato	Lockdown		Anno	
	Fondo urbano	Traffico	Fondo urbano	Traffico
OC	-23% [-17/18%]	-25% [-29/16%]	-14% [-12/16%]	-12% [-19/30%]
EC	-61% [-33/22%]	-65% [-24/27%]	-42% [-31/21%]	-38% [-23/34%]
Levoglucoosano	-59% [-83/5%]	-39% [-63/93%]	-42% [-29/76%]	-12% [-32/298%]
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	-24% [-9/15%]	6% [-41/90%]	-20% [-10/34%]	10% [-27/59%]
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	-23% [-21/14%]	2% [-45/102%]	-26% [-24/20%]	12% [-25/65%]
Ferro	-43% [-27/47%]	-56% [-4/8%]	-1% [-26/28%]	-22% [-9/9%]
Rame	-74% [-46/34%]	-75% [-8/13%]	-24% [-40/31%]	-41% [-12/13%]

### 3.2 RANDOM FOREST BLACK CARBON

Si sono analizzate separatamente le due componenti del *black carbon* legate alla combustione di biomassa (BCbb) e al traffico (BCff) per i siti per cui erano disponibili (Bologna, Domodossola, Torino e Trento). La componente legata alla combustione di biomassa, però, sembra presentare un problema di sovrastima del modello, per cui ci si limita all'analisi della componente legata al traffico.

BCff presenta valori osservati in linea con quelli previsti nel periodo di validazione, mentre evidenzia un netto calo in tutti i siti analizzati, sia nel periodo del *lockdown* che nei mesi estivi successivi; nei mesi autunnali sembra tornare in linea con i valori attesi per il periodo o, in un sito (Torino - Lingotto), anche superiori.

Il calo, nel periodo di *lockdown* è di circa il 60% nei siti di Bologna, Trento e Torino ed è pari al 50% circa nella stazione di Domodossola, che è un sito suburbano residenziale.

Il BC totale non è stato riportato poiché essendo la somma di due componenti, una delle quali risulta affetta da errore, si è preferito riportare direttamente la sola componente che non affetta da errore. Una eccezione è stata fatta per il sito di traffico di Cagliari e di fondo urbano di Milano Pascal, data la lunga serie storica di misure a disposizione. Entrambi mostrano un calo consistente

durante il *lockdown* (tra -45% e -60% circa) che si mantiene, seppur più contenuto, anche sulla media annua (tra -25% e -35% circa).

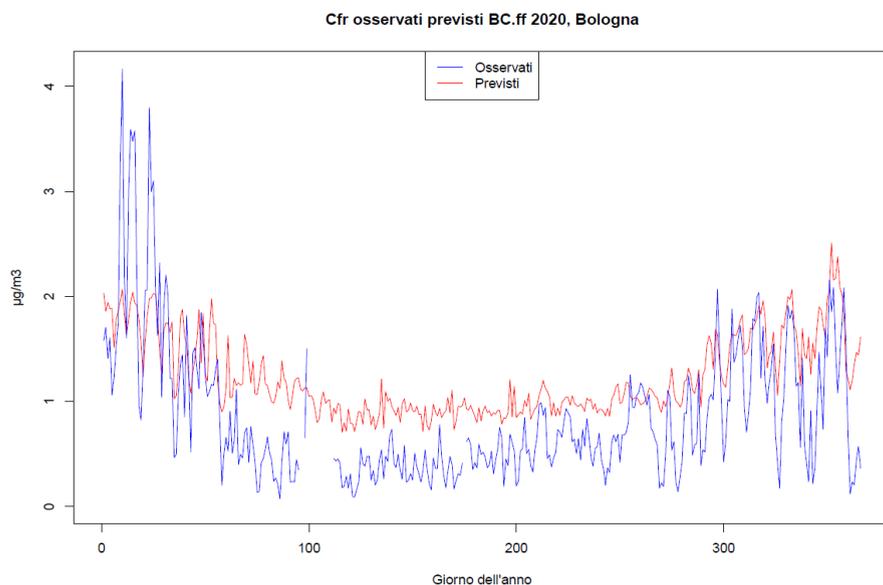


Figura 3.10. Andamento del dato misurato (blu) e atteso (rosso) nel 2020 per il sito di Bologna.

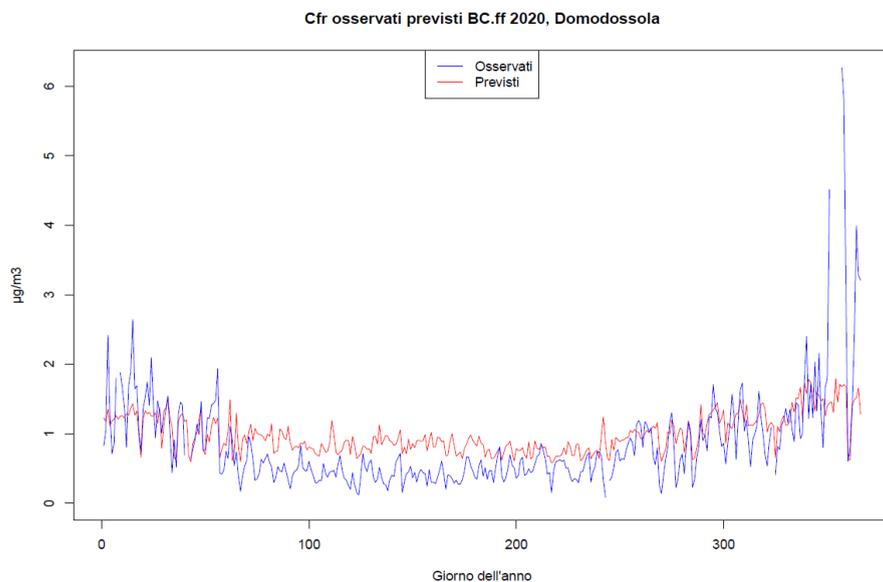


Figura 3.11. Andamento del dato misurato (blu) e atteso (rosso) nel 2020 per il sito di Domodossola (VB).

Cfr osservati previsti BC.ff 2020, Torino

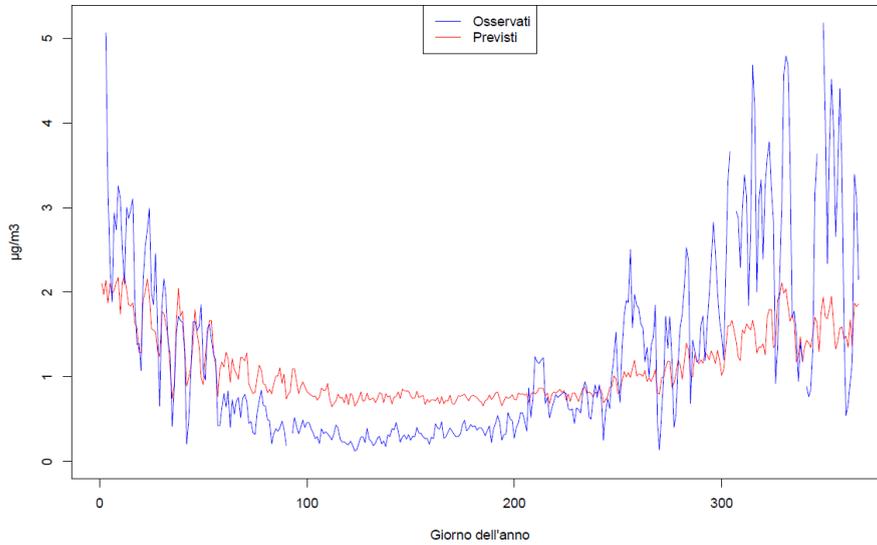


Figura 3.12. Andamento del dato misurato (blu) e atteso (rosso) nel 2020 per il sito di Torino.

Cfr osservati previsti BC.ff 2020, Trento

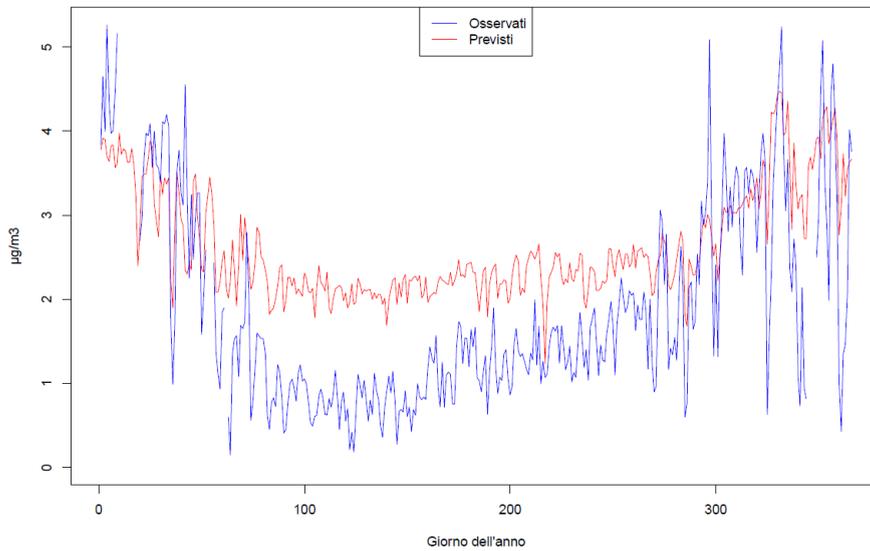


Figura 3.13. Andamento del dato misurato (blu) e atteso (rosso) nel 2020 per il sito di Trento.

Tabella 3.3. Variazione percentuale tra BCff misurato e previsto dal modello, rispetto al dato previsto per i siti di Bologna, Domodossola (VB), Torino e Trento.

Variazione tra previsto e misurato	BO*	VB*	TO*	TN
Anno 2020	-38%	-22%	-3%	-33%
Lockdown (mar-mag 2020)	-63%	-48%	-58%	-59%
Periodo di validazione (gen-feb 2020)	-3%	9%	11%	4%

\* I dati di Domodossola e Torino Lingotto partono da luglio 2018, quelli di Bologna da maggio 2018

Tabella 3.4. Variazione percentuale tra BC misurato e previsto dal modello, rispetto al dato previsto per i siti di Cagliari e Milano Pascal, per cui non era disponibile una serie storica della divisione tra BCff e BCbb.

Variazione tra previsto e misurato	CA	MI-PSC
Anno 2020	-35%	-26%
Lockdown (mar-mag 2020)	-60%	-46%
Periodo di validazione (gen-feb 2020)	-25%	-8%

### 3.3 RANDOM FOREST AMMONIACA

Si riportano i risultati dei soli siti per cui la differenza tra dato osservato e previsto è risultata inferiore al 25% durante il periodo di validazione, ritenendo che per gli altri siti l'adattamento del modello non sia sufficientemente adeguato. Nella tabella seguente, le variazioni tra dati previsti e osservati risultano paragonabili a quelle degli anni precedenti, sia durante il periodo del *lockdown* sia per l'intero anno 2020. Fa eccezione la centralina di Roma denominata Magna Grecia. Questa stazione mostra un calo di quasi il 40% durante il *lockdown* e di circa il 20% per la media annua in quanto in questo sito, classificato come traffico urbano e lontano da campi coltivati, l'ammoniaca è probabilmente attribuibile prevalentemente al traffico.

Tabella 3.5. Variazione percentuale tra NH<sub>3</sub> misurata e prevista dal modello, rispetto al dato previsto per i siti di Barletta (BT), Bertonico (LO), Fatebenefratelli (CR), Folperti (PV), Gerre Borghi (CR), Magna Grecia (Roma), Schivenoglia (MN).

Variazione tra previsto e misurato	Barletta (BT)	Bertonico (LO)	Fatebenefratelli (CR)	Folperti (PV)	Gerre Borghi (CR)	Magna Grecia (Roma)	Schivenoglia (MN)
Anno 2020	-14%	-3%	2%	4%	-5%	-18%	6%
Lockdown (mar-mag '20)	6%	7%	10%	0%	-29%	-37%	2%
Periodo di validazione (gen-feb '20)	14%	9%	11%	-9%	-11%	13%	6%

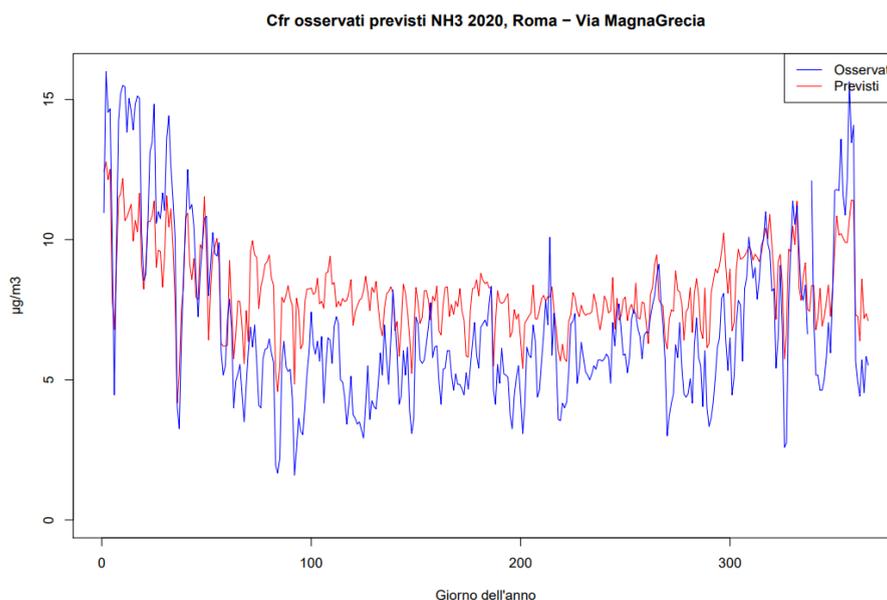


Figura 3.14. Andamento del dato misurato (blu) e atteso (rosso) nel 2020 per il sito di traffico urbano di Magna Grecia (Roma). Le ascisse esprimono le concentrazioni in µg/m<sup>3</sup>, mentre le ordinate i giorni progressivi dell'anno.

Corte de' Cortesi (CR) e Fermi (Roma), nonostante non rispettino la condizione di accettabilità decisa sul periodo di validazione (rispettivamente con una variazione del 58% e del 31%), sono siti caratterizzanti una realtà rurale ricca di attività di allevamento, il primo, e un traffico metropolitano, il secondo; pertanto, anche se solo a scopo di valutazioni qualitative, si è deciso di riportare entrambi i grafici.

Mentre Fermi sembra avere un calo importante delle concentrazioni misurate (in linea con quanto visto per l'altro sito romano, Magna Grecia), soprattutto nel periodo di *lockdown*, Corte de' Cortesi mostra un andamento assolutamente in linea con il previsto. Questo ben rappresenta il differente

effetto che può mostrare lo stesso inquinante a seconda del punto di misura e quindi della differente importanza relativa che le sorgenti emissive hanno sulla sua concentrazione.

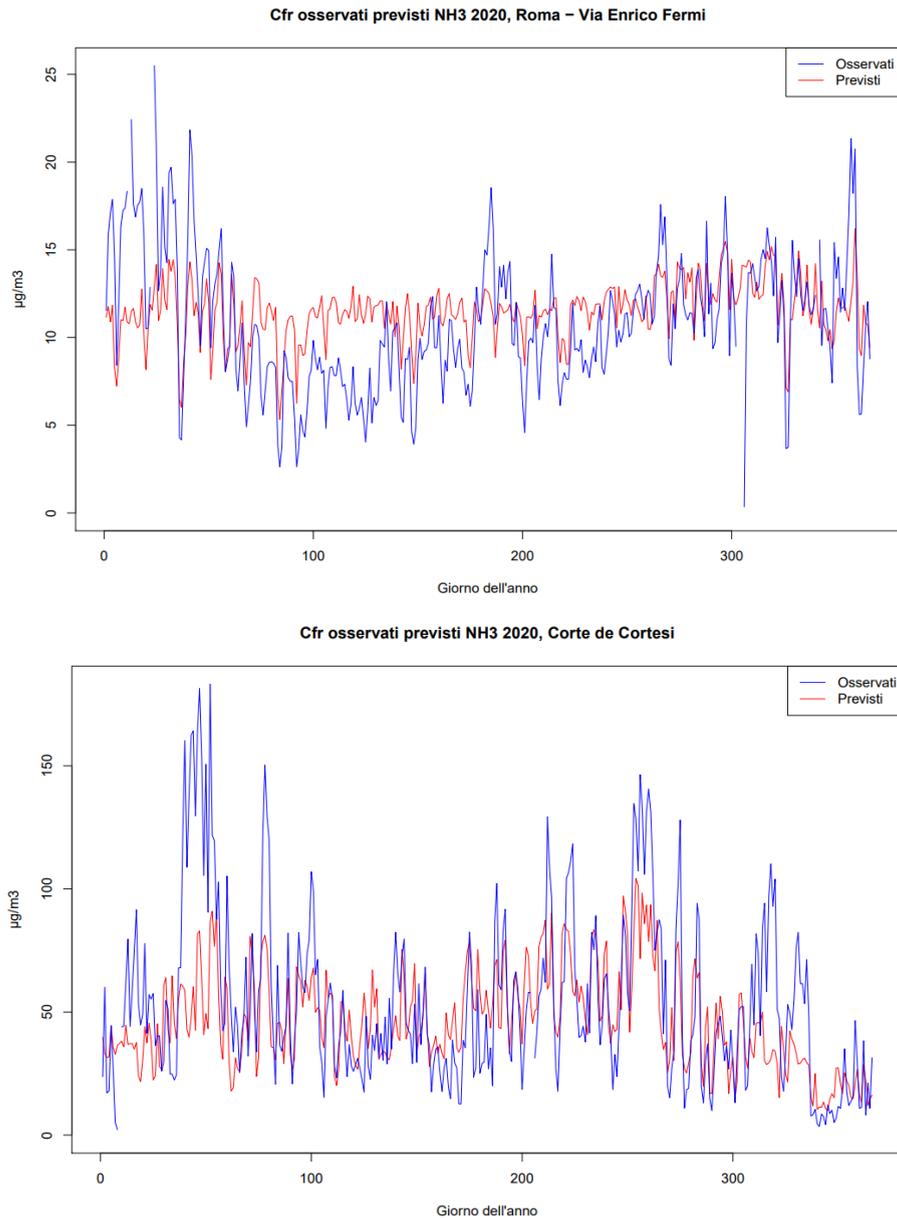


Figura 3.15. Andamento del dato misurato (blu) e atteso (rosso) nel 2020 per i siti di traffico urbano di Fermi (sopra) e rurale di Corte de' Cortesi (sotto). Le ascisse esprimono le concentrazioni in  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , mentre le ordinate i giorni progressivi dell'anno.



### 3.4 DISCUSSIONE

Il confronto tra dato previsto in base alle condizioni meteorologiche in assenza di pandemia e dato osservato è affetto da una importante incertezza del metodo stesso, che in molti casi non permette di individuare la presenza o l'assenza di un effetto legato alle azioni intraprese per combattere la diffusione del Covid19.

Quando, però, questo effetto è individuabile, indica una variazione sostanziale della concentrazione degli inquinanti. Questo capita per tutti gli inquinanti che risultano traccianti del traffico: EC, BCff, Cu, Fe e, nei siti di traffico, anche NH<sub>3</sub>. È interessante notare che per molti di questi inquinanti il calo rispetto al valore BAU si osserva non soltanto durante il periodo di *lockdown*, ma anche per il resto dell'anno, indicando che anche misure meno restrittive (ad es. lo *smart working* e, nei mesi autunnali, la limitazione di molte attività - con conseguente diminuzione degli spostamenti - e la didattica a distanza per le scuole superiori) hanno portato ad un calo nelle concentrazioni degli inquinanti emessi principalmente dal traffico.

Sottraendo, nei casi in cui è presente una serie storica abbastanza lunga, la differenza percentuale media tra misurato e previsto, per gli anni pre pandemia alla differenza calcolata per il 2020, si può ottenere una indicazione qualitativa dell'effetto sulle concentrazioni. Ad esempio per EC il calo medio tra tutti i siti emiliano-romagnoli sarebbe di circa il 25% sul PM2.5 e di circa il 45% sul PM10 per quelli milanesi, sia nel periodo di *lockdown* sia considerando tutto l'anno. Analogamente, Ferro e Rame, che derivano in parte o totalmente dal traffico, per il sito di Milano Senato avrebbero avuto un calo, rispettivamente, del 50% e del 70% nel periodo di *lockdown* e del 20% e del 30% circa per la media annua.

Un segnale importante si osserva poi sul Vanadio, legato a combustioni navali e a masse d'aria trasportate da aree distanti: il calo mostrato nel 2020 rispetto alle condizioni BAU risulta compreso tra il 50% e il 60% circa nei siti dell'Emilia-Romagna e anche per questo inquinante si osserva non solo relativamente ai mesi del *lockdown*, ma per tutto il 2020.

Il levoglucosano, *marker* della combustione di biomassa, sul PM2.5 dei siti urbani dell'Emilia-Romagna nei mesi di *lockdown* evidenzia invece un aumento che esce dal range di variabilità osservato negli anni precedenti, mentre per l'intera annualità non mostra una variazione - positiva o negativa - maggiore di quella che è la variabilità attesa.

Le concentrazioni di nitrato e ammonio mostrano, soprattutto durante il *lockdown* per i siti di fondo urbano, una variazione percentuale nella direzione di diminuzione, ma tali cali sono confrontabili con gli intervalli di variabilità calcolati negli altri anni, in assenza di provvedimenti contro il Covid19 (Tabelle 3.1 e 3.2). Questi risultati pertanto non permettono di trarre conclusioni in proposito.

## 4 - DISTRIBUZIONE DIMENSIONALE

L'andamento del PM orario stimato a partire dal numero di particelle, differenziato nelle due frazioni granulometriche PM<sub>2.5</sub> e PM<sub>10</sub>, mostra durante il periodo di *lockdown* valori inferiori rispetto al periodo precedente disponibile. Le variazioni sono generalmente maggiori per la frazione PM<sub>10</sub>, in linea con quanto riscontrato in altri studi (ad es. [Prepair](#)).

Le differenze tra il 2020 e il periodo di confronto tendono a diminuire nelle ore notturne nei siti urbani mentre nel sito rurale di San Pietro Capofiume sembra che questa differenza si mantenga pressoché costante.

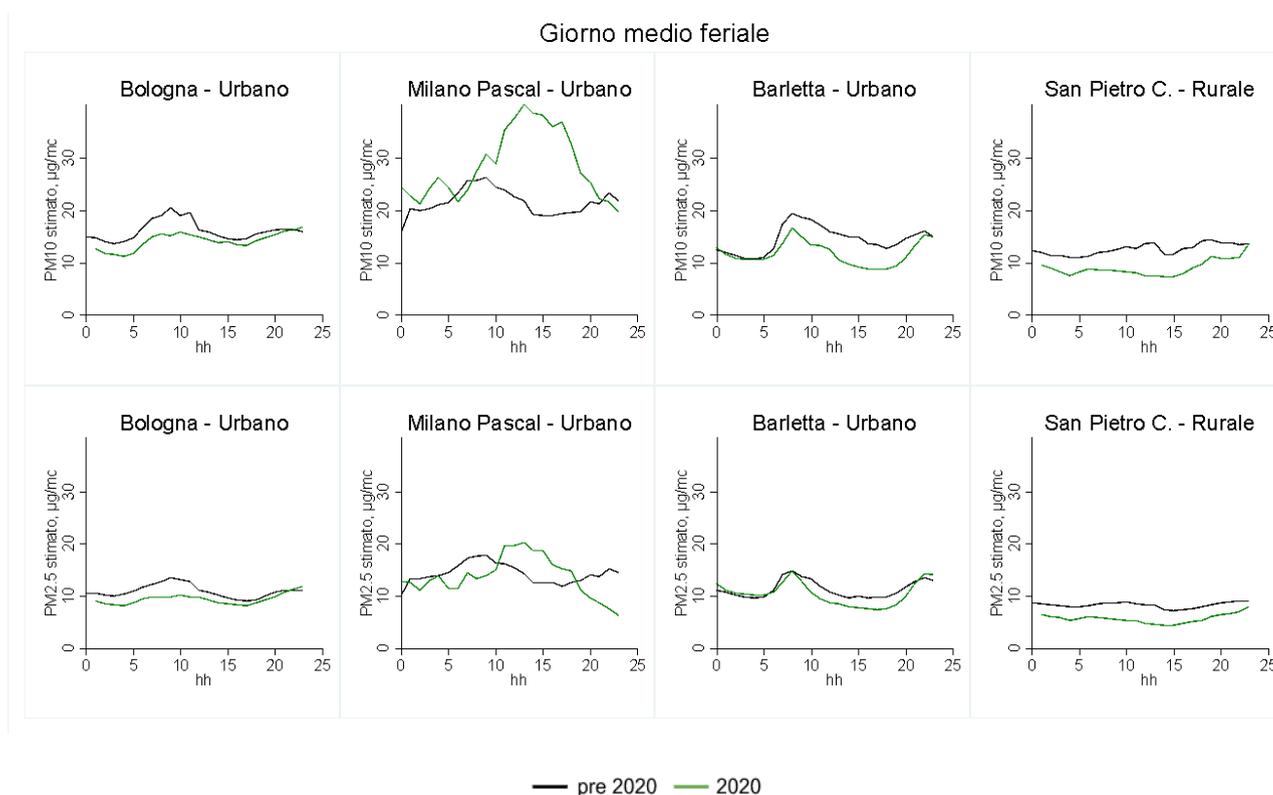


Figura 4.1. Giorno medio feriale durante il *lockdown* del PM<sub>10</sub> stimato (in alto) e del PM<sub>2.5</sub> (in basso). I giorni di [trasporto di sabbia](#) sono stati eliminati.

Tutti i siti mostrano un calo nel 2020 tranne Milano Pascal, che durante la settimana lavorativa, mostra valori più alti nella fascia oraria centrale della giornata: la variazione notturna, infatti, non mostra differenze tra i due periodi durante il *lockdown*. Inoltre l'incremento medio diurno è presente solo per la frazione PM<sub>10</sub>.

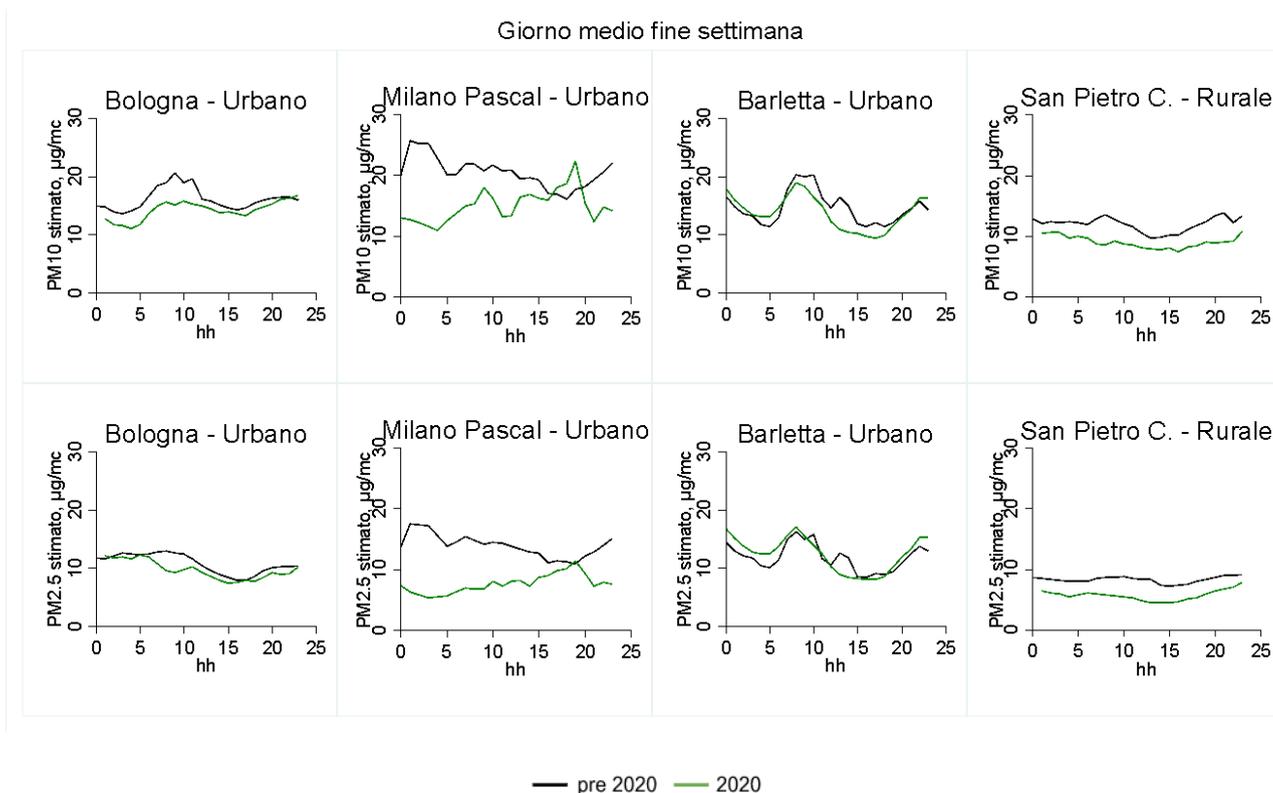


Figura 4.2. Giorno medio del fine settimana durante il *lockdown* del PM10 stimato (in alto) e del PM2.5 (in basso). I giorni di trasporto di sabbia sono stati eliminati.

Durante il fine settimana, invece, Milano è la stazione che mostra il decremento maggiore. Come atteso il sito rurale è quello con andamenti e variazioni più simili durante l'intera settimana.

Tabella 4.1. Valori mediati tra i diversi siti e per le diverse frazioni granulometriche per il periodo del *lockdown* 2020 e lo stesso periodo negli anni precedenti durante i due picchi mattutino e serale (i giorni di trasporto di sabbia sono stati eliminati in tutti i siti tranne a Barletta). Il sito di Milano Pascal nell'anno 2020 non ha il mese di marzo disponibile, il periodo di confronto è 7 aprile - 18 maggio. Piccole variazioni nelle differenze assolute sono legate agli arrotondamenti.

<b>Variazione lockdown diurna, 6-22</b>	<b>PM10 SPC</b>	<b>PM2.5 SPC</b>	<b>PM10 BO</b>	<b>PM2.5 BO</b>	<b>PM10 MI-PSC</b>	<b>PM2.5 MI-PSC</b>	<b>PM10 BAR</b>	<b>PM2.5 BAR</b>
pre 2020	12.6	8.1	16.2	10.9	21.4	14.2	15.5	11.7
anno 2020	8.7	5.4	14.5	9.3	26.0	12.3	12.2	10.4
diff	-3.9	-2.7	-1.7	-1.5	4.6	-1.9	-3.3	-1.3
diff%	-31%	-33%	-10%	-14%	21%	-13%	-21%	-11%

<b>Variazione lockdown notturna, 23-5</b>	<b>PM10 SPC</b>	<b>PM2.5 SPC</b>	<b>PM10 BO</b>	<b>PM2.5 BO</b>	<b>PM10 MI-PSC</b>	<b>PM2.5 MI-PSC</b>	<b>PM10 BAR</b>	<b>PM2.5 BAR</b>
pre 2020	12.0	8.6	15.1	10.9	20.8	13.9	12.6	11.2
anno 2020	9.6	6.6	13.2	9.8	19.9	9.6	12.4	11.8
diff	-2.4	-2.0	-1.9	-1.1	-0.9	-4.3	-0.2	0.6
diff%	-20%	-23%	-12%	-10%	-4%	-31%	-2%	5%

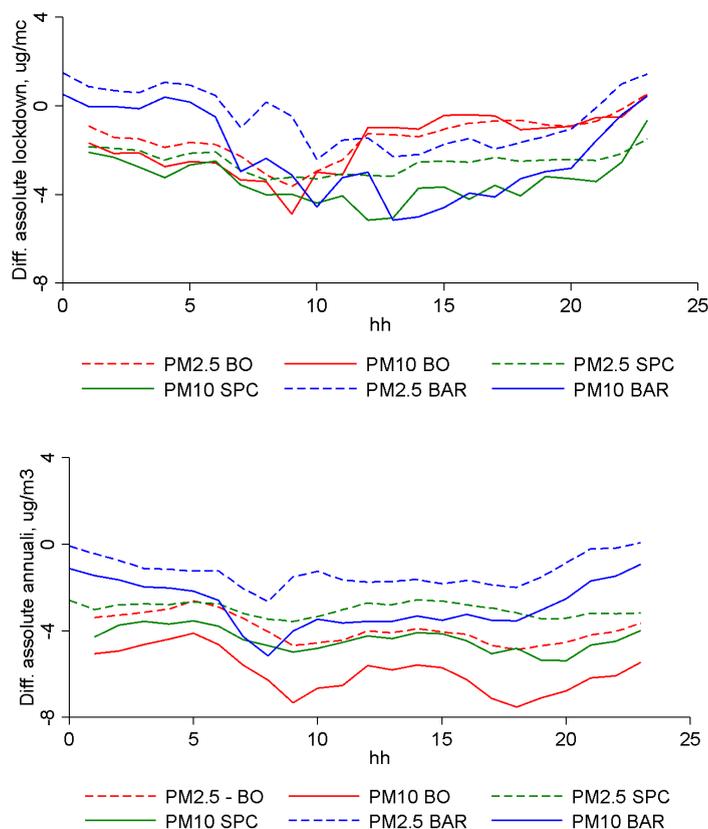


Figura 4.3. Andamento della differenza oraria tra le concentrazioni medie durante il *lockdown* del 2020 (in alto) e l'intero anno 2020 (in basso) e quelle del periodo precedente per il PM10 e PM2.5 stimato. Non sono stati inseriti i giorni di trasporto di sabbia.

Le differenze tra i *diurnal pattern* del 2020, sia per il solo *lockdown* che per l'intero anno, e gli anni di confronto mostrano una differenza massima in concomitanza con la *rush hour* del mattino (tra le 8.00 e le 10.00).

Per quanto riguarda invece il numero di particelle in diversi range dimensionali, a partire dai 20 nm, l'unica informazione disponibile è nel sito di Torino Lingotto. In questa stazione di misura è possibile dividere il numero totale delle particelle in UFP (*Ultra Fine Particles*, cioè con diametro inferiore a 100 nm) e NoUFP (quelle con diametro maggiore di 100 nm).

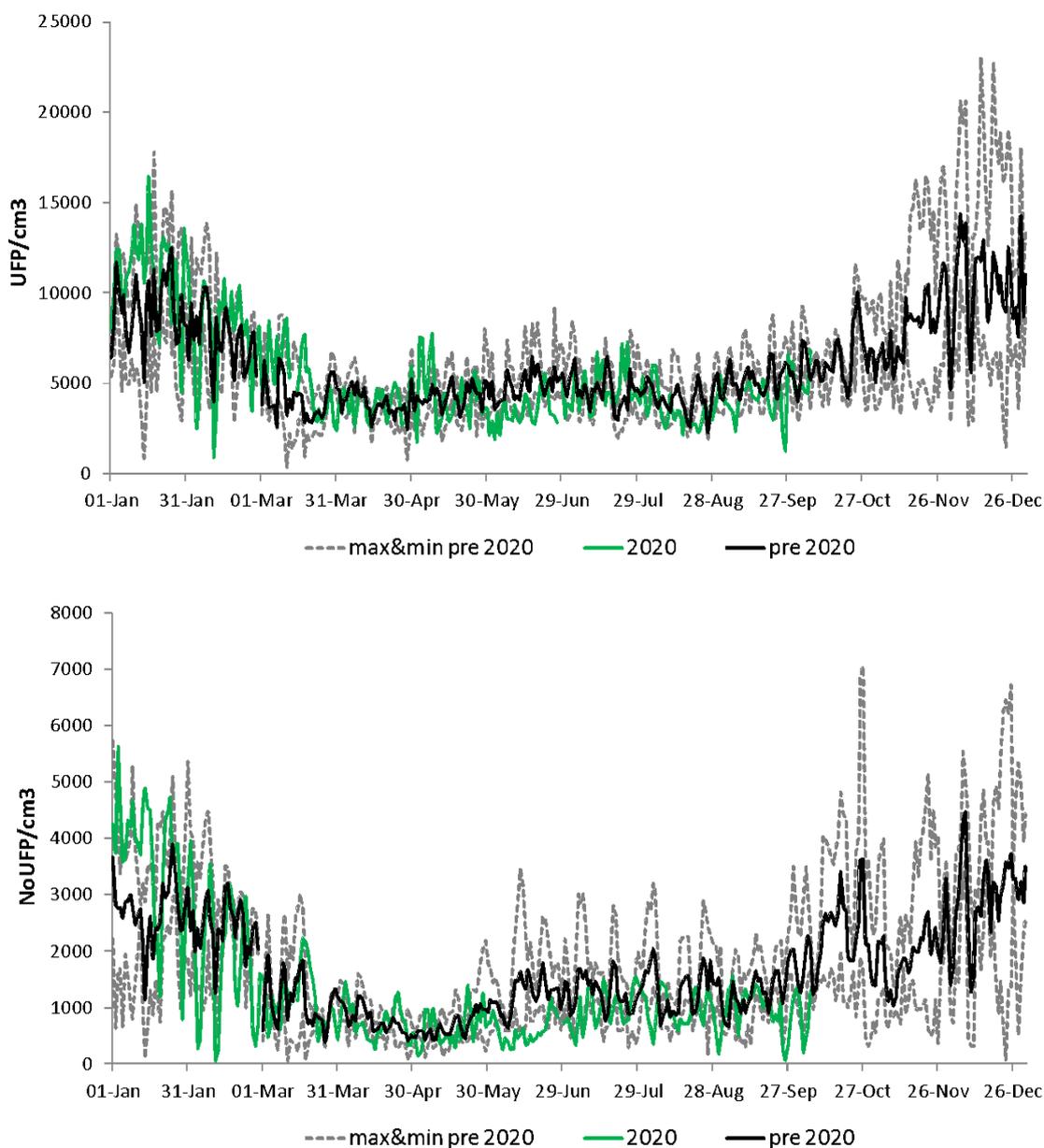


Figura 4.4. Andamento delle medie giornaliere delle UFP (in alto) e NoUFP (in basso) misurate nel sito di Torino Lingotto nel 2020 confrontato con l'andamento medio, minimo e massimo misurato negli anni precedenti disponibili sulla base del dataset mediato a livello giornaliero.

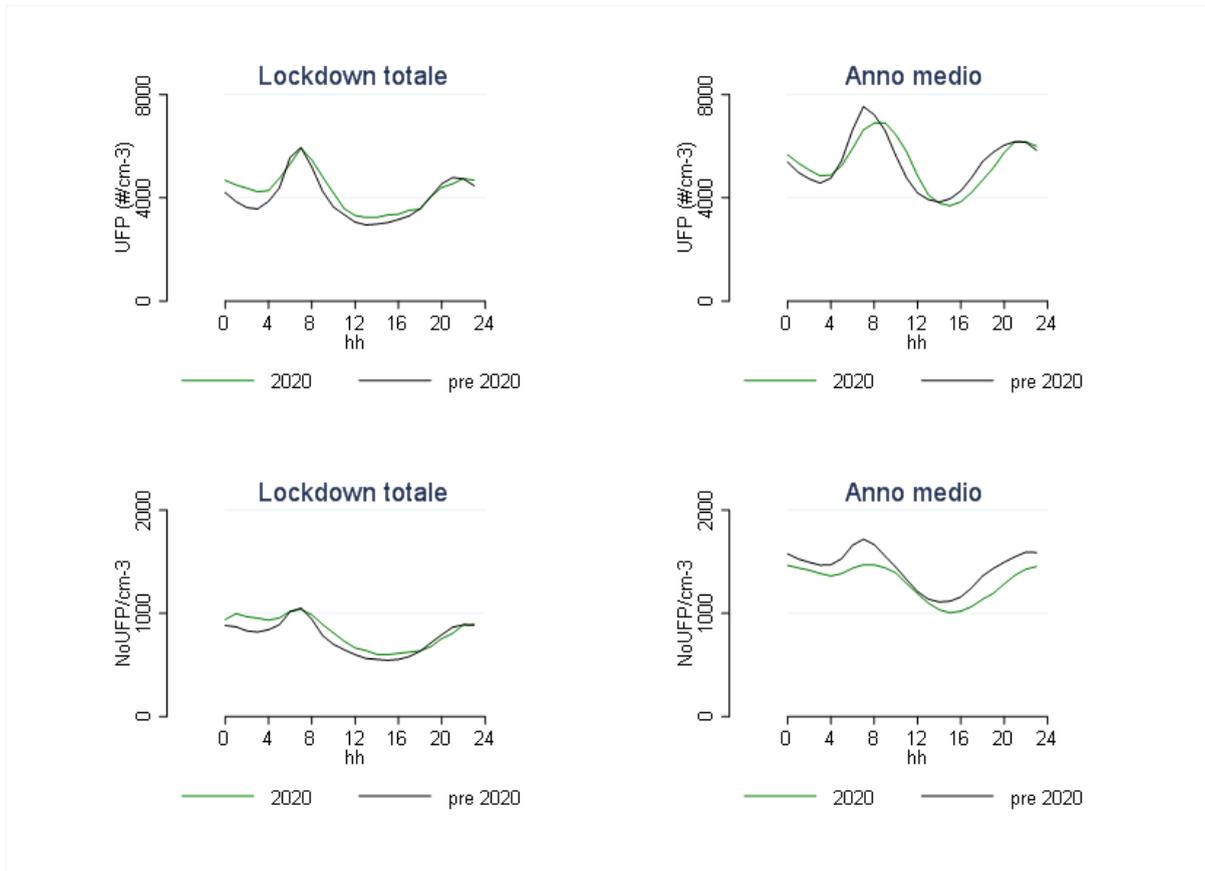


Figura 4.5. Raffronto tra il giorno tipo durante il *lockdown* (a sx) e l'intero anno (a dx) delle particelle UFP (in alto) e NoUFP (in basso) e i rispettivi periodi di confronto. Nel calcolo dell'intero anno non è presente il periodo dal 6 ottobre a fine dicembre in quanto mancanti nel 2020.

Nel considerare il numero delle particelle, al contrario di quanto accade nel considerare la massa del PM, sono i diametri più piccoli ad incidere maggiormente sull'effetto totale, essendo in quantità molto maggiore.

Quindi, anche per le NoUFP sono le particelle di diametro inferiore, tra 100 e 200 nm, normalmente attribuite all'accumulo, quelle che determinano la concentrazione totale. Che l'andamento delle NoUFP sia più vicino a quanto mostrato dalle particelle UFP rispetto al PM stimato non sorprende. Entrambi i tagli dimensionali mostrano una sostanziale mancanza di variazione tra il 2020 e il triennio di confronto durante il periodo di *lockdown*. Le NoUFP, sull'intera annualità, mostrano un decremento del 7% che risulta statisticamente significativo ( $p\text{-value} < 0.05$ , Wilcoxon-Mann test). Tale differenza deriva quasi esclusivamente dalle particelle con diametro più grande (diametro superiore ai 200 nm).

## 4.1 DISCUSSIONE

La distribuzione oraria del PM stimato, PM<sub>2.5</sub> e PM<sub>10</sub>, mostra un atteso calo nel 2020 rispetto agli anni di confronto, sia considerando il solo periodo di *lockdown* che l'intero 2020. Unica eccezione



il sito di Milano Pascal che mostra un incremento, in particolare nelle ore centrali della giornata. Le variazioni positive nel sito di Milano potrebbero derivare dalla presenza, a partire da gennaio 2020, di un cantiere nei pressi del punto di misura che, introducendo una importante sorgente locale, rende il confronto con la serie storica non informativo circa le variazioni prodotte dalle azioni intraprese per limitare la diffusione del Covid19. In questo sito è, però, evidente il calo delle concentrazioni dei gas, non interessati come il numero di particelle dalle attività cantieristiche, sia come variazione annuale che durante il solo *lockdown* e attribuibile alle misure anti pandemia.

Tabella 4.2. Valori mediati nel sito di Milano Pascal per i parametri di PM1 e PM2.5 stimato e per i gas NO<sub>2</sub> e benzene durante i mesi di aprile e maggio del 2020 e lo stesso periodo nei due anni precedenti.

MI-PSC variaz. Aprile e Maggio [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	NO <sub>2</sub>	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>	PM10s	PM2.5s
anni 2018-2019	29.6	0.8	21.2	13.9
anno 2020	15.4	0.6	24.4	11.8
diff	-14.2	-0.2	3.3	-2.1
diff %	-48%	-22%	15%	-15%

Osservando l'andamento giornaliero delle concentrazioni del PM si nota la massima diminuzione durante le ore di punta del mattino, come atteso dato il crollo del traffico durante il periodo di *lockdown*. Il fatto però che questo calo nelle stesse ora rimanga uguale se non addirittura si incrementi considerando la media annua, porta a ipotizzare che l'introduzione di nuove modalità di lavoro agile anche dopo la fine delle massime restrizioni sulla mobilità, abbia avuto un impatto sulla concentrazione del particolato in aria.

Considerando il numero delle particelle, anziché la loro massa come fatto finora, assumono una importanza maggiore quelle di diametro più piccolo che sono molto più numerose e spesso attribuibili a emissioni fresche da combustione, soprattutto fino a 100 nm. Considerando sia queste particelle (dette UFP) che quelle più grandi (NoUFP), apparentemente, sembrerebbe non esserci stato un calo durante il periodo di *lockdown*, che invece risulta molto più evidente considerando il confronto dell'intera annualità. Questo può essere dovuto o alle concentrazioni molto basse registrate a primavera 2019, che potrebbero distorcere verso il basso la media da confrontare, oppure alla presenza durante il *lockdown* di una sorgente di particelle di diametro inferiore a 100 nm che, incrementando, sia andata a compensare il calo generato dalla diminuzione dei flussi di traffico. Alle particelle generate dalla combustione di biomassa viene attribuito un diametro ampio, compreso [tra i 30-40 nm fino ai 140 nm](#) (i diametri più piccoli appartengono generalmente alle prime fasi del processo di combustione mentre, durante le fasi di invecchiamento fenomeni come la coagulazione e condensazione portano ad un aumento considerevole del diametro): un aumento del riscaldamento domestico a legna potrebbe avere mascherato nel numero delle particelle, il decremento del traffico.

Analizzando separatamente i range delle particelle durante il *lockdown* si vede infatti una crescita, che aumenta all'aumentare del diametro della particella, a partire dai 50 nm. Le particelle con diametro più grande, invece, superiore ai 200 nm, pur avendo una concentrazione numerica inferiore alle UFP anche di ordini di grandezza, mostrano un calo di circa il 50%. Durante l'intero anno è comunque presente un calo delle particelle con il diametro maggiore mentre negli altri range la media del numero di particelle non subisce variazioni. L'ipotesi è in linea con altre analisi che, durante il *lockdown*, hanno indicato un aumento dell'[utilizzo della combustione legnosa](#). La concentrazione oraria delle NoUFP ha una buona correlazione con il BCbb, sia a livello orario ( $r=0.84$ ) che giornaliero ( $r=0.9$ ).

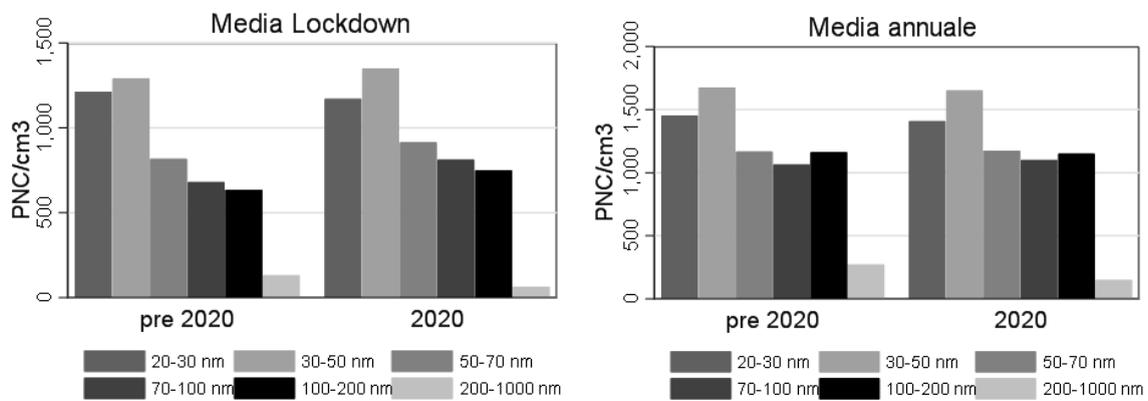


Figura 4.6. Concentrazione delle particelle nei diversi canali dimensionali a Torino Lingotto, negli anni analizzati. A sinistra il solo periodo di *lockdown*, a destra la media annua.

## 5 - FOCUS SUL SITO “ENEA-CR BOLOGNA”

Le attività ENEA nell’ambito dell’Obiettivo 3 si sono concentrate prevalentemente sulla composizione chimica del particolato atmosferico.

Il sito di campionamento identificato per la realizzazione dell’attività di ricerca è il Centro Ricerche ENEA-CR Bologna. Il sito di misura (44°31’30”,63 N; 11°20’40”,92 E) (Figura 5.1) è situato in una zona residenziale della città di Bologna e si trova a circa 500 metri dal nodo autostradale e tangenziale e a circa 50 metri da un’arteria di traffico cittadino; può essere dunque considerato un sito di traffico-suburbano. Nel corso della campagna di misure sono stati effettuati campionamenti di 24 h di particolato PM10 su filtro (per la determinazione della concentrazione in massa di PM10, dei metalli ed elementi in traccia, degli ioni idrosolubili, di levoglucosano, di carbonio elementare - EC e di carbonio organico - OC), misure ad alta risoluzione temporale (30 min - 2 h) di EC, OC, frazione carboniosa non refrattaria a 600°C (OM), e misure ad elevata risoluzione temporale (5 minuti) di inquinanti in fase gas: Ozono (O<sub>3</sub>), ossidi di Azoto (NO<sub>x</sub>), Benzene (BEN) e Toluene (TOL).

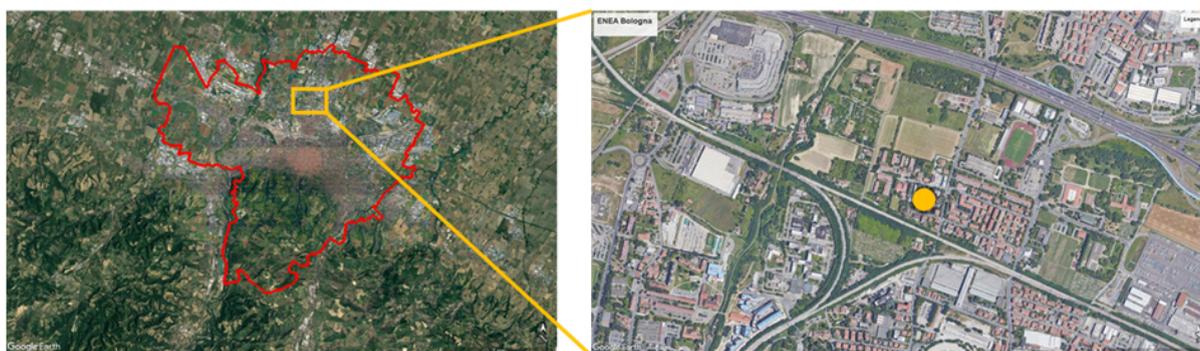


Figura 5.1. Localizzazione del Sito “ENEA-CR Bologna”.

Sono di seguito presentati e discussi i dati relativi alle concentrazioni degli inquinanti gassosi Benzene, O<sub>3</sub> e NO<sub>x</sub>, evidenziandone le eventuali differenze tra il periodo di “Fase 1” *lockdown* - “Fase 2”, con limitazioni nelle diverse attività quotidiane, e la “Fase 3”, con ripresa pressoché totale delle attività.

Il Benzene può essere considerato un tracciante del traffico veicolare, in quanto la principale sorgente in ambiente urbano sono le emissioni da autovetture alimentate a benzina verde, sebbene emissioni di benzene siano associate anche a processi a bassa efficienza per la combustione di biomassa a fini energetici e ad alcune produzioni industriali ([plastiche](#), [detergenti](#), [composti chimici](#), [etc](#)). I dati misurati presso il sito ENEA di Bologna da Aprile 2020 a Luglio 2020 evidenziano una chiara differenza nella distribuzione oraria di benzene nei periodi precedenti alle misure del DPCM di “Fase 3” (in vigore dal 11/06/2020, e riportante misure che determinano la completa riapertura degli spazi pubblici). I dati riportati in Figura 1.3.2 mostrano una chiara distinzione tra i dati pre-DPCM “Fase 3” e i dati post-DPCM “Fase 3”. Nei giorni di misura pre-“Fase 3” (linea rossa nei grafici) non si osservano significative variazioni di concentrazione. Al contrario dopo l’entrata in vigore del DPCM (linea azzurra nei grafici) si osserva un chiaro incremento della concentrazione

di questo inquinante nelle ore più calde della giornata. Questo fenomeno, in parte associato all'aumentare delle temperature medie giornaliere spostandosi dalla primavera (Aprile) all'estate (Luglio), è anche indicativo di una ripresa degli spostamenti giornalieri.

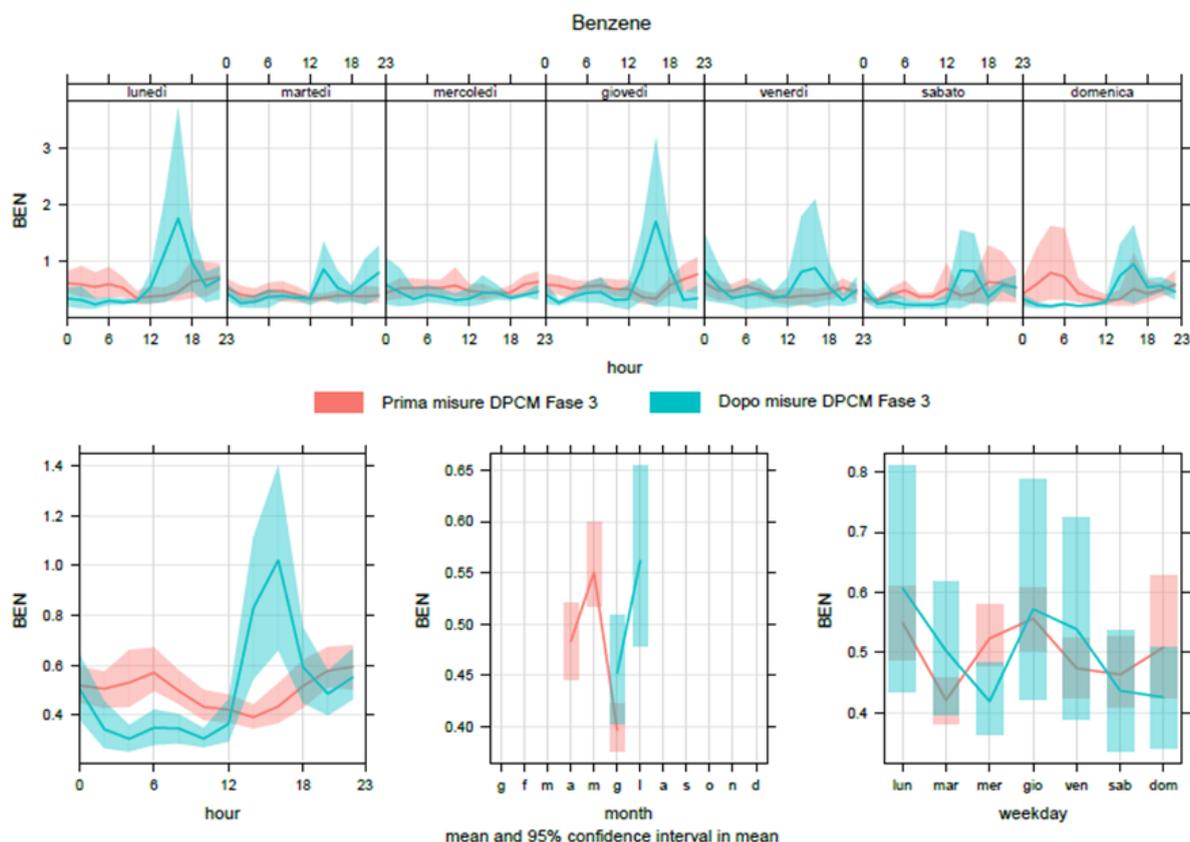


Figura 5.2. Valori orari mediati per giorno della settimana (sopra) e medi per ora, mese e giorno della settimana (sotto) del Benzene.

I dati riportati per il benzene sono confermati anche dagli andamenti registrati per gli Ossidi di azoto (NO<sub>x</sub>) (Figura 5.3). Questo inquinante gassoso, generato primariamente da processi di combustione, risulta incrementato nei giorni post-DPCM “Fase 3” sia in termini di andamento medio orario sia analizzando le medie registrate per i singoli giorni della settimana. Il significativo incremento di NO<sub>x</sub> dalle prime ore del pomeriggio (16:00) alla prima serata (ore 20:00 circa) coincide infatti con le ore di punta dei trasferimenti casa-lavoro e, quindi, a processi di emissione legati alla combustione endotermica dei veicoli a motore.

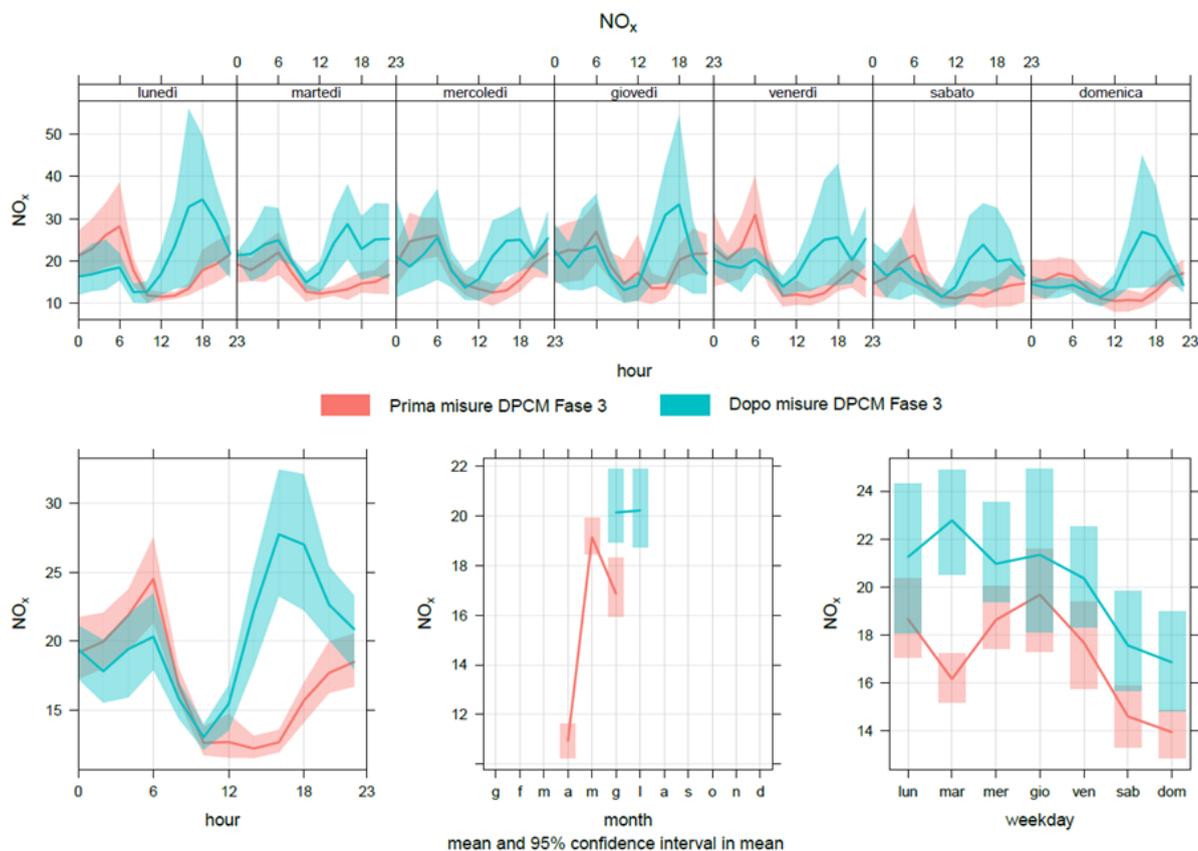


Figura 5.3. Valori orari per giorno della settimana e medi per ora, mese e giorno della settimana degli NO<sub>x</sub>.

Di notevole interesse, dal punto di vista della qualità dell'aria, è l'associazione tra le concentrazioni di O<sub>3</sub> e quella degli NO<sub>x</sub> (Figure 5.4 e 5.5). L'ozono (linea rossa nei grafici) è un gas, che nello strato dell'atmosfera più prossimo al suolo, ha origine secondaria. La sua formazione è quindi il risultato di processi chimico-fisici che si instaurano in atmosfera tra ossigeno e altri inquinanti gassosi in presenza di radiazione luminosa. L'ozono è quindi un inquinante prevalentemente estivo. Tuttavia, i dati raccolti durante le campagne di misura di ENEA, evidenziano un chiaro aumento, inatteso, delle concentrazioni di ozono nelle ore più calde della giornata quando, a differenza del periodo post-DPCM (Figura 5.5), le emissioni da traffico sono assenti proprio per le limitate possibilità di circolazione delle persone. Infatti, gli ossidi di azoto (linea azzurra nei grafici) reagiscono in atmosfera a consumare ozono. L'assenza di ossidi di azoto nei periodi di *lockdown* ha quindi portato ad un accumulo non consueto di ozono in atmosfera.

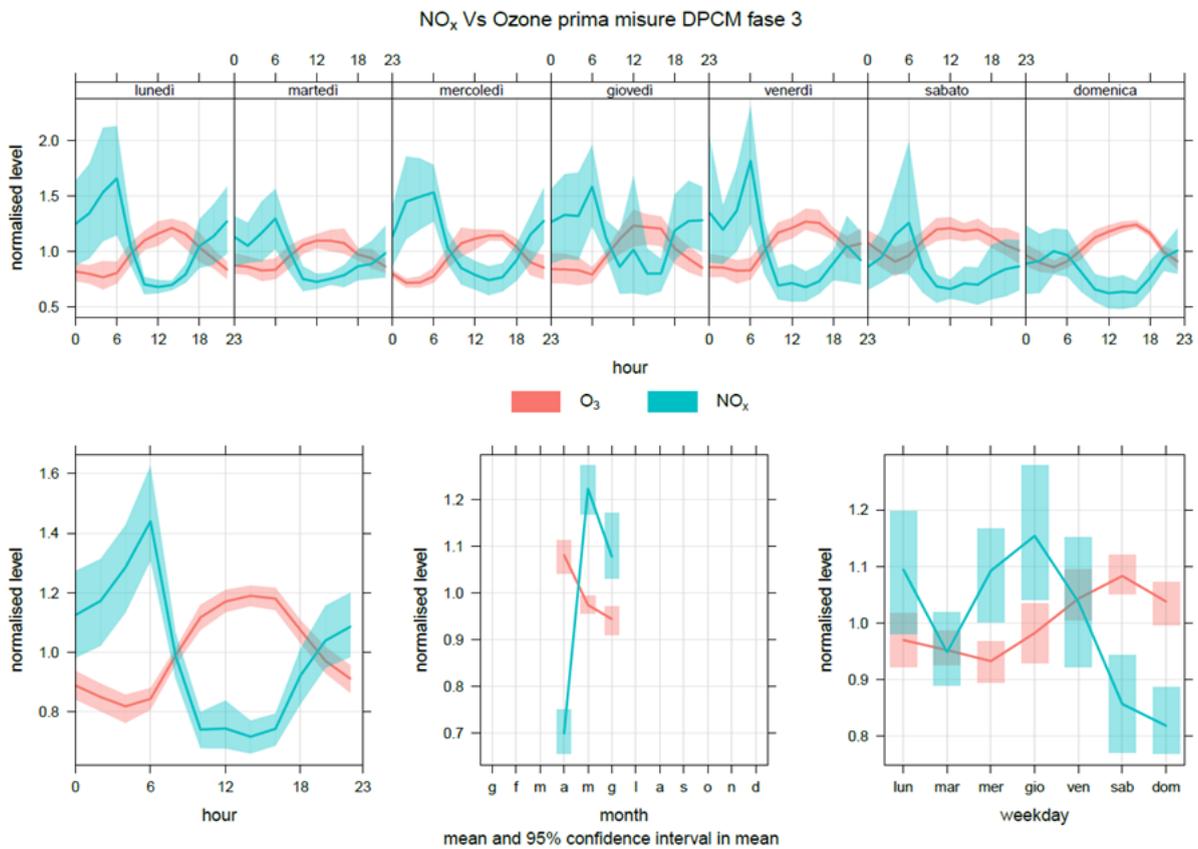


Figura 5.4. Valori orari per giorno della settimana e medi per ora, mese e giorno della settimana di NO<sub>x</sub> e O<sub>3</sub> pre-DPCM “Fase 3”.

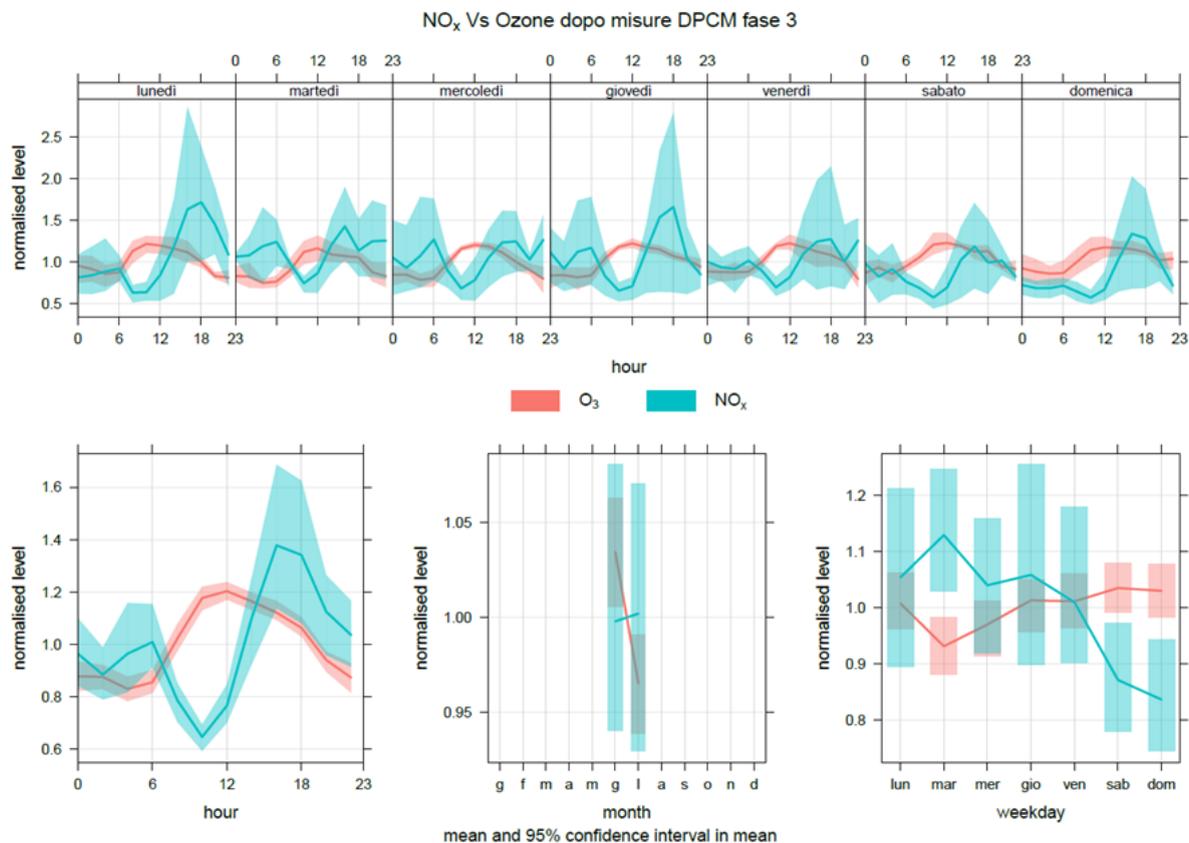


Figura 5.5. Valori orari per giorno della settimana e medi per ora, mese e giorno della settimana di NO<sub>x</sub> e O<sub>3</sub> post-DPCM “Fase 3”.

Sul particolato atmosferico fine, sono state effettuate misure orarie di carbonio elementare (EC) e organico (OC) con metodo termo-ottico e del Black Carbon (BC) con metodo ottico nel PM<sub>2.5</sub> mediante lo strumento Sunset Model-4 Semi-Continuous OC-EC Field Analyzer, e misure (30 min., integrate ad 1 h) della frazione carboniosa non refrattaria a 600°C (OM) nel PM<sub>1</sub> con Aerosol Chemical Speciation Monitor (ACSM).

Le misure di contenimento adottate nel primo *lockdown* COVID19 (marzo-maggio 2020) in seguito alla crisi pandemica, con il blocco di molteplici attività hanno generato una drastica e repentina riduzione di alcune tra le principali sorgenti di inquinamento atmosferico e, in particolare, del traffico autoveicolare.

Di seguito sono riportate le variazioni, rispetto ad anni precedenti, delle concentrazioni medie di EC (tracciate di processi di combustione, *in primis* le emissioni da traffico) nelle diverse fasce orarie della giornata e nel periodo immediatamente successivo alla ripresa a pieno delle attività quotidiane. Per i dati storici si riporta nei grafici anche la distribuzione dei dati di concentrazione per le singole fasce orarie come riferimento della variabilità anche inter-anno osservabile per questo inquinante.

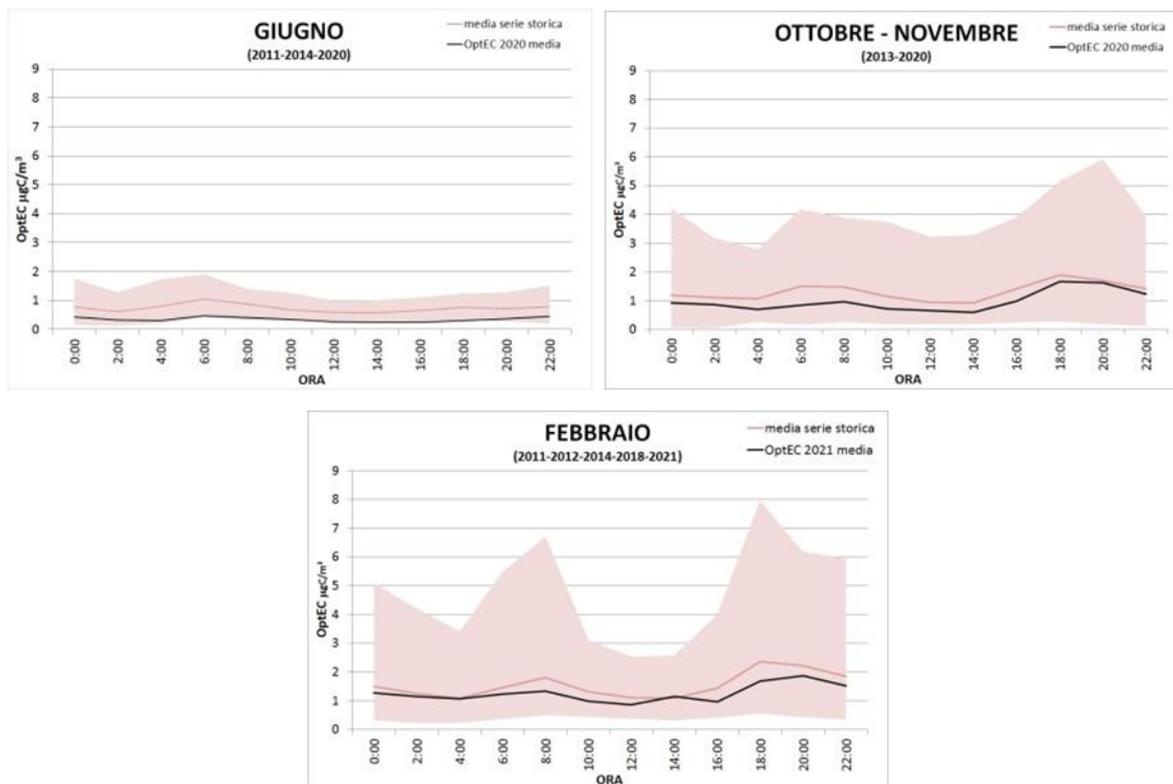


Figura 5.6. BC, confronto dati anno 2020 /2021 con serie storiche di anni precedenti. Le linee rappresentano la media dei due periodi (serie storica in rosa e dati della campagna Pulviris) presi a confronto. L'area rosa rappresenta la distribuzione dei dati storici nel corso dei diversi anni considerati.

Una campagna di monitoraggio ad alta risoluzione di EC con sistema ottico (OptEC) è stata effettuata da Maggio 2020 a Maggio 2021. L'OptEC, assimilabile al BC, è stato analizzato e confrontato con le serie storiche di anni precedenti per i mesi di Giugno (2011, 2014), Ottobre-Novembre (2013) e Febbraio (2011, 2012, 2014, 2018). I tre grafici di Figura 5.6 mostrano l'andamento di una giornata tipo. La medie delle serie storiche (in rosa pallido è evidenziata la distribuzione dei valori considerando i valori minimo e massimo) sono state messe a confronto con le medie calcolate nel dopo lockdown del 2020 e 2021 (colore nero). Si può notare come i valori medi delle giornate tipo delle Fasi dopo il *lockdown* siano sempre inferiori alle medie dei corrispondenti periodi degli anni precedenti.

Per il periodo estivo 2020 è stato effettuato un confronto con i dati delle misure di OM da ACSM. In fase di post-elaborazione dei dati ACSM, sono state estrapolate mediante l'applicazione della Positive Matrix Factorization – Multilinear Engine 2 (SoFi software; Canonaco et al. 2014, Atmos. Chem. Phys.) le tre principali componenti della frazione organica dell'OM, riconducibili alle sorgenti emmissive di traffico veicolare (HOA), combustione di biomasse legnose (BBOA) e secondario ossigenato (OOA): in particolare, la componente organica legata al traffico stradale (HOA) è stata confrontata con i dati di EC del Sunset per evidenziare eventuali correlazioni tra questi due parametri. Inoltre si è proceduto ad un confronto tra i valori delle diverse frazioni OM da ACSM rilevate nel Maggio-Giugno 2020 con i valori per gli stessi mesi ma del 2014.

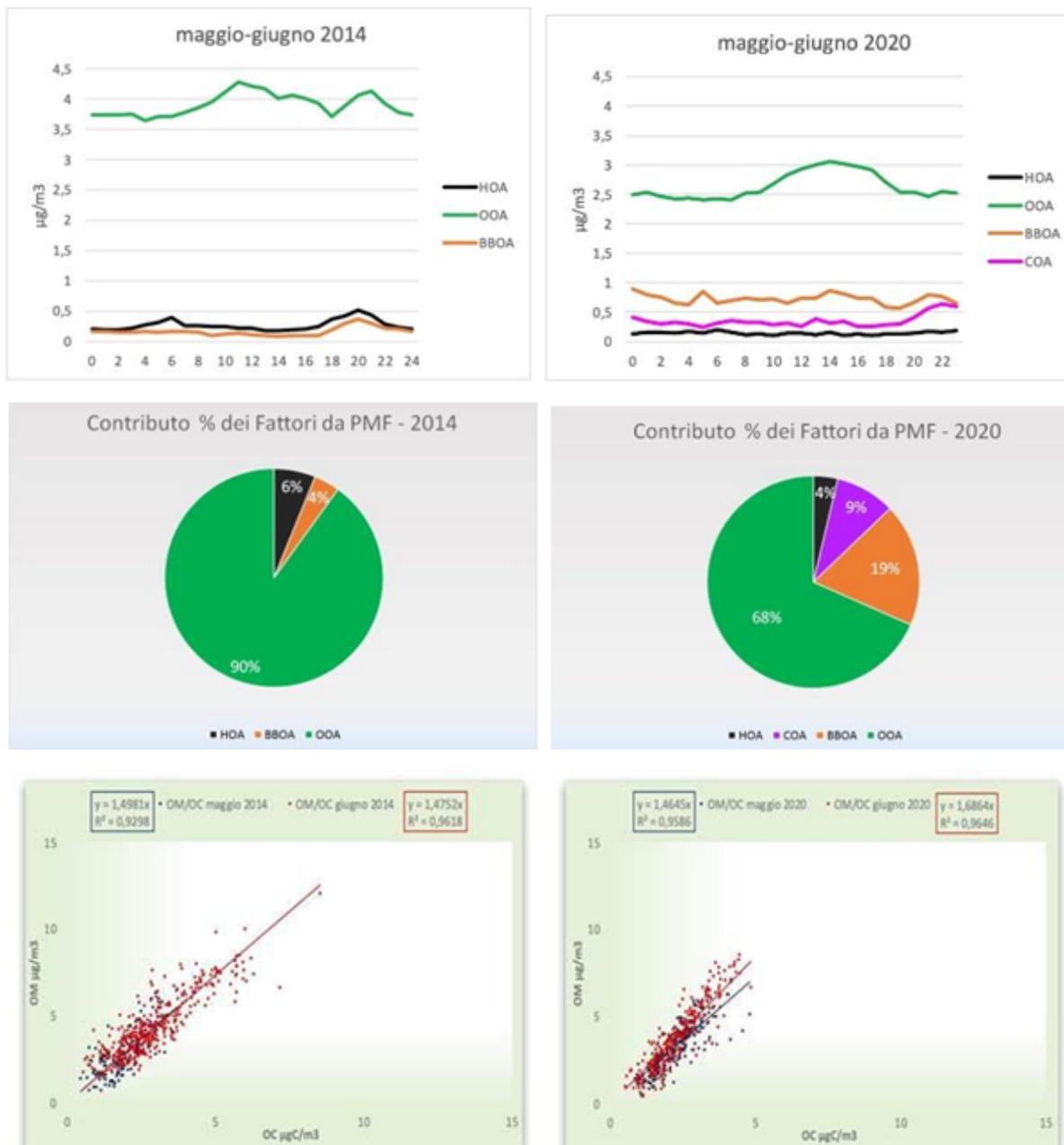


Figura 5.7. PMF ottenuta da elaborazioni dei dati di ACSM (a dx) e confronto con dati storici (a sx).

In Figura 5.7, in alto sono evidenziati i cicli giornalieri dei fattori come sopra descritti che compongono l'OM per il periodo Maggio-Giugno: 3 fattori (HOA, OOA, BBOA) per 2014 e 4 fattori (HOA, OOA, BBOA, COA) per 2020; nei grafici centrali sono riportate le percentuali dei diversi fattori; in basso sono mostrate le correlazioni per i due periodi tra il OM e il OC, con i relativi calcoli dei fattori di correzione OC-to-OM.

La componente secondaria più ossigenata e "invecchiata" (OOA) risulta essere sempre prevalente sugli altri fattori, con il tipico aumento durante le ore centrali diurne della giornata legato all'incremento dell'attività fotochimica. Di interesse, ai fini di una comprensione della diversa fotochimica dell'atmosfera instauratasi durante i periodi di limitazione della circolazione, è la



correlazione tra gli andamenti orari di OOA e di ozono. Entrambi questi inquinanti atmosferici di origine fotochimica incrementano, infatti, a partire dalla tarda mattinata (ore 10.00 nei grafici) per ridursi nelle prime ore della sera (ore 18.00 nei grafici). Le basse concentrazioni e l'assenza di andamenti di rilievo per HOA (legato alle emissioni da combustibili fossili) nel 2020, in questo caso di difficile discriminazione, confermano una diminuzione del contributo da traffico veicolare rispetto al 2014, dove invece tale fattore presenta il chiaro andamento bimodale caratteristico di questo tipo di sorgente. Il BBOA (legato alla combustione di biomassa), come prevedibile in periodo estivo, non presenta andamenti peculiari, evidenziando comunque in entrambi gli anni un aumento nelle ore serali.

Per il solo 2020 l'analisi di source apportionment ha portato alla pre-individuazione di un fattore riconducibile ad attività di cottura dei cibi (COA); tale fattore per il 2014 non risulterebbe così evidente. La composizione percentuale media di OM nel 2020 evidenzia una diminuzione del contributo di OOA e di HOA rispettivamente del 22% e del 2% sul totale, mentre il BBOA aumenta del 15%.

La correlazione tra OM e il parametro indipendente OC è sempre molto elevata, con valori di  $R^2$  compresi tra 0.93 e 0.96. I valori del rapporto OM/OC risultano essere tra 1.46 e 1.69, comparabili con i valori attesi presenti in letteratura.

I campionamenti di particolato PM10 su filtro hanno coperto il periodo 20 Aprile-13 Luglio 2020. In Figura 5.8 vengono riportate la composizione media in percentuale delle principali componenti del PM10: Particulate Organic Matter (POM), Secondary Inorganic Aerosol (SIA), Sea Salt Aerosol (SSA), Dust, EC, Metalli ed Elementi in tracce non inclusi nel dust ( $\Sigma$ Met Trace El), per l'intero periodo di campionamento (Fig. 5.8.a) e per le diverse Fasi (Fig. 5.8.b, Fig. 5.8.c, Fig. 5.8.d) regolamentate dai DPCM che si sono susseguiti in questo lasso di tempo.

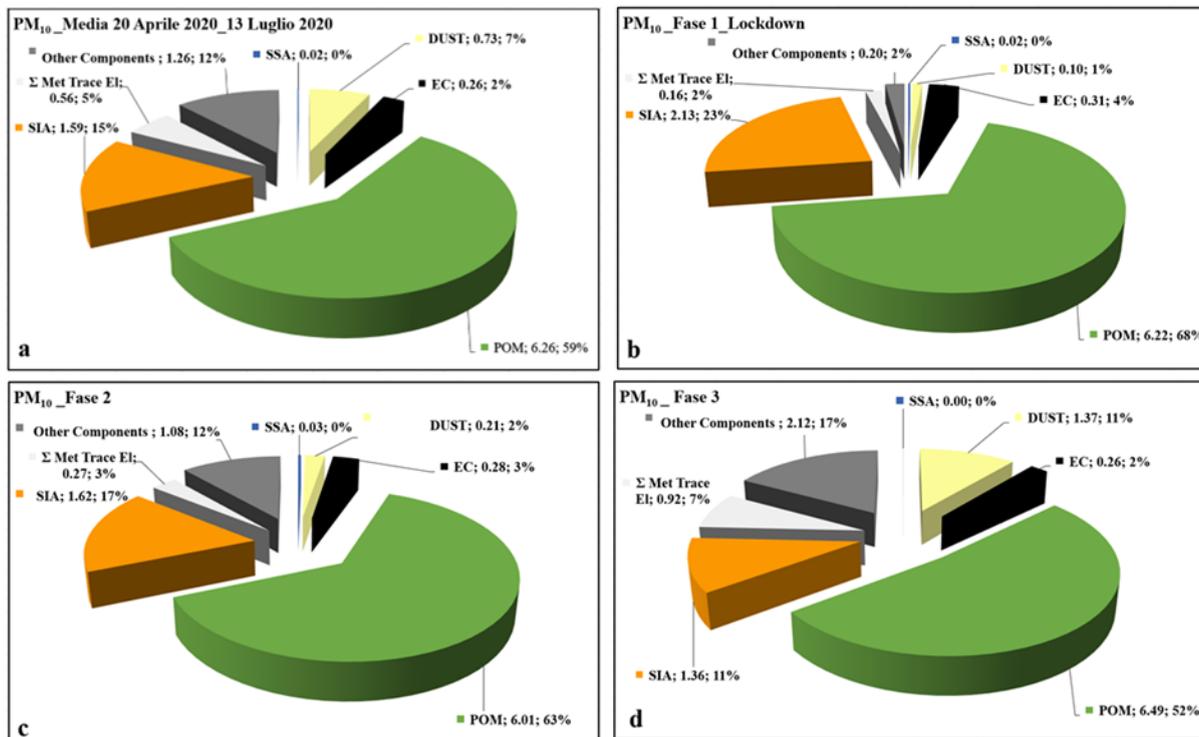


Figura 5.8. Composizione media delle principali componenti del PM<sub>10</sub> campionato nel sito ENEA: nell'intero periodo di campionamento 20 Aprile – 13 Luglio (a); nel periodo di “Fase” 1 *lockdown* (20 Aprile – 03 Maggio) (b); nella “Fase” 2 (04 Maggio – 03 Giugno) (c); nella “Fase 3” (04 Giugno -13 Luglio) (d).

Il POM è la componente maggiormente presente nel PM<sub>10</sub> in tutte le Fasi considerate, variando dal 68% nella “Fase 1”, quella di *lockdown* più restrittivo, fino al 52% nella “Fase 3” caratterizzata dalla ripresa delle attività quotidiane.

Le variazioni maggiori tra le Fasi nella composizione chimica percentuale si rilevano nelle componenti SIA e Dust: la prima presenta una diminuzione, mentre la seconda presenta un aumento dalla “Fase 1” alla “Fase 3”.

Considerando i valori determinati in termini di concentrazione media non si osserva una significativa differenza per le componenti POM ed EC, ma rimane confermato un incremento della concentrazione media della componente Dust che passa da 0.1  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  nella “Fase 1” di *lockdown* a 1.4  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  nella “Fase 3”.

Nella composizione del SIA (Figura 5.9) è stato determinato un maggior contributo della concentrazione media dello ione Solfato (0.77  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) rispetto allo ione Nitrato (0.30  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) sia nell'intero periodo che nelle diverse Fasi. Il Solfato può essere associato in parte al fondo sovraregionale o continentale ed in parte alle emissioni dei motori diesel e di oli combustibili pesanti. Il minor contributo al secondario inorganico del Nitrato può essere legato sia alla diminuzione delle sorgenti emittive nella “Fase 1” sia al calo di concentrazioni che si registra normalmente nella stagione estiva.

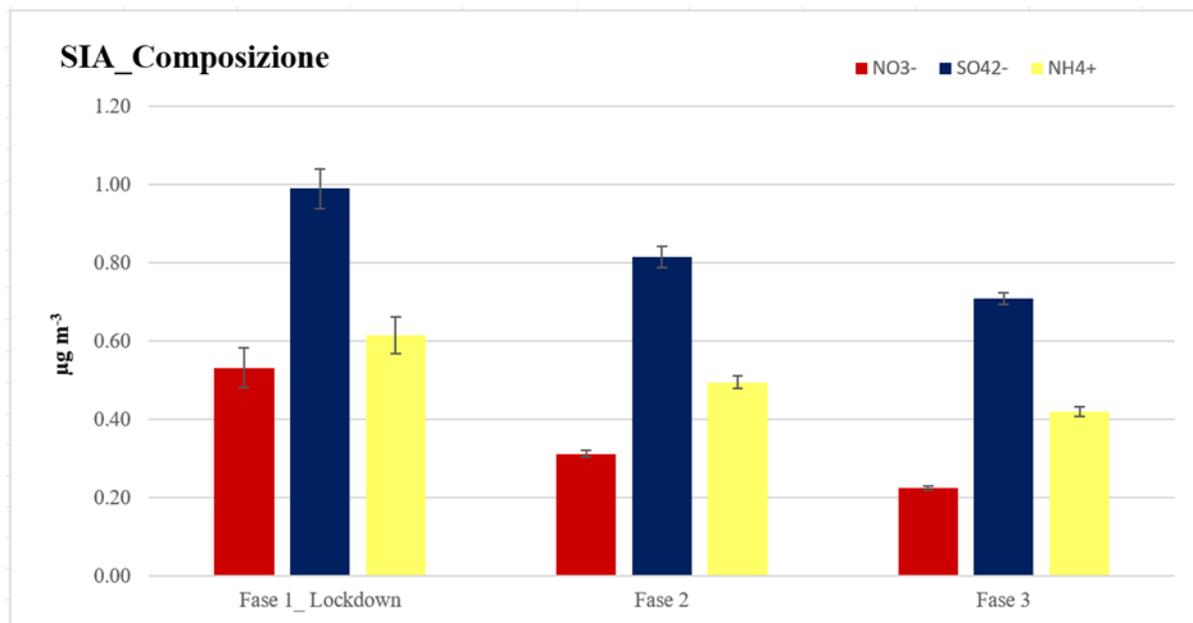


Figura 5.9. Composizione media ( $\mp$  errore standard della media) del SIA espressa in  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  nelle tre Fasi come stabilite dai DPCM atti a regolamentare le misure di contenimento per il contagio da SARS\_CoV2.

Non è stato possibile determinare il contributo al Dust dei Carbonati di Calcio e Magnesio, che pertanto sono stati inclusi come elementi nelle componenti Metalli e Elementi in traccia e *Other components*, che mostrano lo stesso andamento incrementale del Dust.

Determinazioni della concentrazione del Levoglucosano, considerato *marker* della combustione di biomassa, sono state effettuate su filtri campionati, non continuativamente, tra il 20 Aprile 2020 e il 7 Aprile 2021 (Figura 5.10). Come atteso le concentrazioni dell'anidrozucchero nei mesi primaverili ed estivi (20 Aprile - 13 Luglio 2020), dopo un picco iniziale che perdura fino all'inizio di Maggio associato alla deroga sullo spegnimento del riscaldamento domestico, sono appena rilevabili, e in media con un valore di  $0.0095 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Come noto, il contributo della combustione di biomassa ad uso residenziale (riscaldamento domestico) aumenta nei mesi autunnali e invernali (16 Ottobre 2020 - 20 Marzo 2021), ed insieme all'abbassamento dell'altezza dello strato di rimescolamento associato alla diminuzione delle temperature, porta ad una concentrazione media del Levoglucosano più elevata con un valore medio di  $0.39 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Sebbene le determinazioni analitiche non coprano un intero anno, la media calcolata su tutti i campioni disponibili è risultata di  $0.22 \mu\text{g}/\text{m}^3$  comparabile con il dato medio annuo per il 2020 riportato da ARPAE nel paragrafo 1.1.1.

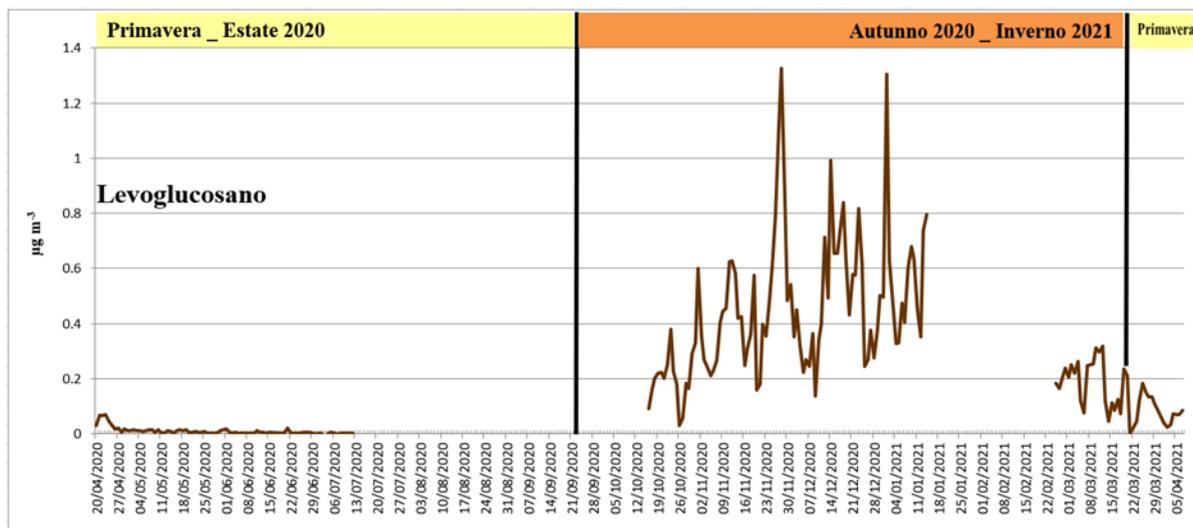


Figura 5.10. Andamento della concentrazione in massa del levoglucosano espressa in  $\mu\text{g m}^{-3}$  nel periodo compreso tra il 20 Aprile 2020 e il 07 Aprile 2021.

E' stata eseguita una analisi di Source Apportionment con metodologia PMF-EPA (G. Norris & R. Duvall, 2014) che ha portato alla pre-individuazione di 4 fattori corrispondenti ad altrettante macro-sorgenti emmissive a partire dai valori giornalieri misurati tra il 21 Aprile e il 13 Luglio 2020 sul particolato PM10 sulle concentrazioni in massa dei parametri PM10, EC, OC, Al, Si, Ca, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Zn, Pd, Ba, Pb, Cd,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NH}_4^+$ , Levoglucosano,  $\text{NO}_x$ , Benzene, Toluene. Il primo fattore è stato identificato come Combustione residenziale e da attività commerciali (pizzerie, panifici, ecc.), ove il Levoglucosano (*marker* della combustione di biomassa legnosa) presenta un valore molto elevato. L'andamento nel periodo (Figura 5.11) mostra come i valori più alti si riscontrano tra fine Aprile e inizio di Maggio (pieno *lockdown*) dovuto ad un maggiore utilizzo del riscaldamento domestico, anche a seguito dell'ordinanza di proroga di accensione emanata del Comune di Bologna e comuni limitrofi per le temperature minime e per assicurare il comfort climatico nelle case. L'andamento evidenzia una decrescita per effetto dell'innalzamento delle temperature esterne, con il conseguente aumento del volume di diffusione degli inquinanti in atmosfera, e di conseguenza una diminuzione della concentrazione in massa in aria ambiente del levoglucosano associabile ad emissione di attività commerciali che utilizzano la biomassa legnosa come combustibile, ad esempio pizzerie, panifici, etc. Il contributo di tale fattore rispetto al totale è di circa il 7%.

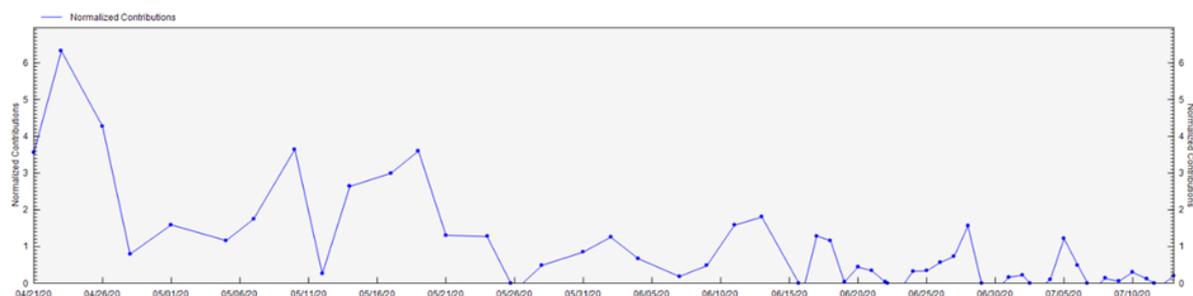


Fig. 5.11. Andamento temporale del fattore Combustione residenziale e da attività commerciali.

Il secondo fattore con predominanza di Al, Si, Ca, Ti, Mn, Fe e Zn è stato associato a Terrigeno e Risospensione stradale. Oltre alle naturali dinamiche meteorologiche, l'entità della risospensione è attribuibile alla densità del traffico veicolare. Questa componente è prevalentemente rappresentata dalla frazione grossolana del particolato (PM<sub>2.5-10</sub>), che in presenza di un maggior numero di veicoli circolanti rimane maggiormente in sospensione. Si ha evidenza di ciò (Figura 5.12) nei giorni successivi all'inizio della "Fase 3", quando riprendono pressoché tutte le attività e la normale circolazione. Il contributo di tale fattore rispetto al totale è di circa il 57%.

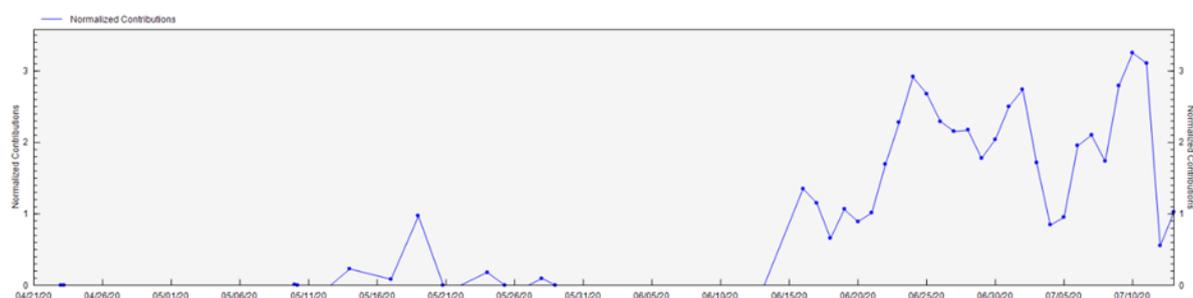


Fig. 5.12. Andamento temporale del fattore Terrigeno e la Risospensione stradale.

Il terzo fattore presenta valori elevati di Ba insieme ad EC (maggiore di OC), SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, NO<sub>x</sub> e Benzene ed è stato identificato come Traffico veicolare "Diesel", legato soprattutto ai mezzi pesanti. Come mostrato in Figura 5.13, l'andamento presenta due *trend*. Il decremento nel secondo trend è verosimilmente attribuibile all'aumento delle temperature e quindi alla maggiore diffusività atmosferica che diluisce gli inquinanti dispersi. Da tenere presente che anche durante la Fase di *lockdown* le attività connesse alla logistica non si sono fermate. Questo fattore mette in evidenza la circolazione dei veicoli commerciali da carico e trasporto merci su gomma, alimentati per la maggior parte a diesel. E' interessante, a conferma di ciò, sottolineare che i giorni di minimi relativi durante il primo periodo coincidono per la quasi totalità con le domeniche o giorni festivi, in cui la circolazione di mezzi pesanti è ridotta per legge. Il contributo di tale fattore rispetto al totale è di circa il 27%.

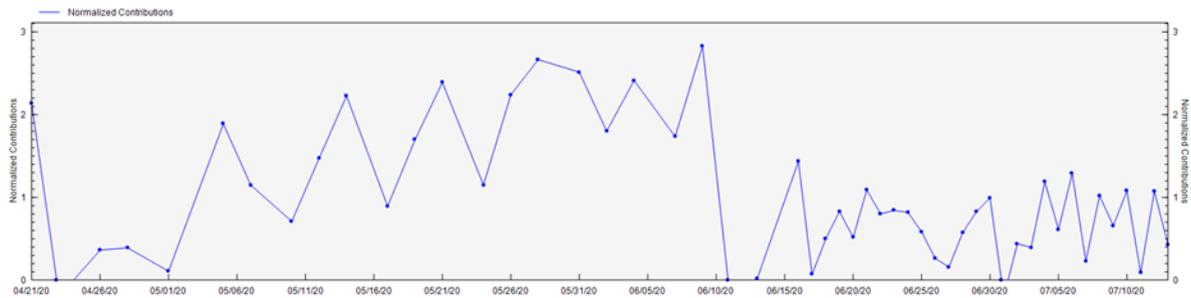


Fig. 5.13. Andamento temporale del fattore Traffico veicolare “Diesel”.

Il quarto fattore con OC (maggiore di EC), Cr, Pd, Ba, Pb, Cd e Benzene è stato associato a Traffico veicolare “Benzina”, per lo più corrispondente alle automobili. L’andamento temporale (Figura 5.14) non presenta particolari peculiarità, perché, come già messo in evidenza precedentemente, i campionamenti sono stati effettuati in concomitanza con il cambiamento dell’altezza dello strato di rimescolamento. Questo andamento senza grandi variazioni nelle diverse fasi conferma la riduzione delle emissioni conseguente alla riduzione del traffico autoveicolare nel periodo di *lockdown*. Il contributo di tale fattore rispetto al totale è di circa il 9%.

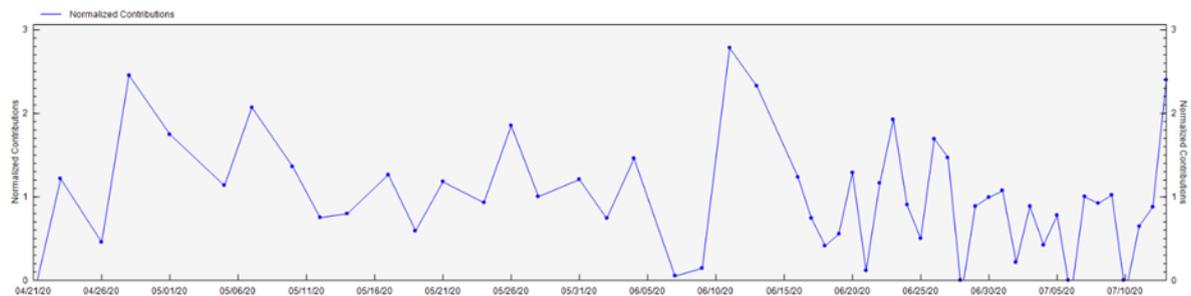


Fig. 5.14. Andamento temporale del fattore Traffico veicolare “Benzina”.



## 6 - CONCLUSIONI

Le condizioni senza precedenti che si sono venute a creare a partire da marzo 2020 in conseguenza alla pandemia da Covid19, hanno modificato in modo sostanziale le emissioni che concorrono a produrre le concentrazioni degli inquinanti che si trovano in atmosfera. Ciò ha permesso di osservare come queste variazioni abbiano agito sulle concentrazioni degli inquinanti. In alcuni casi, come per gli ossidi di azoto, la variazione è stata facilmente osservabile, ma per inquinanti complessi, come il particolato atmosferico, l'effetto sulle concentrazioni non è immediatamente interpretabile in quanto il PM, è costituito da componenti con origini diversificate, anche distanti nel tempo e nello spazio che hanno avuto variazioni differenti.

L'analisi della composizione chimica ha permesso di portare in evidenza effetti che, altrimenti, nell'insieme totale della massa del PM, sarebbero stati mascherati.

In particolare, per quanto riguarda la parte primaria del particolato, si osserva come la frazione legata al trasporto veicolare sia calata in modo evidente nel periodo del primo *lockdown*, con un effetto che si è protratto anche per buona parte del resto del 2020. Questo è confermato sia dall'osservazione di traccianti della componente *exhaust* come EC e BC, che da analisi più complesse come la PMF o la RF. Anche l'osservazione delle concentrazioni orarie del particolato stimato indica un calo della componente legata al traffico, mostrando il massimo calo, rispetto alle medie degli anni precedenti, nelle ore mattutine di massimo traffico (*rush hours*).

La diminuzione di tutti gli indicatori considerati non si è limitata, come ci si poteva attendere, al solo periodo del *lockdown* della primavera 2020 ma, in quasi tutti i siti studiati, si è protratto almeno fino all'autunno inoltrato, se non fino alla fine dell'anno. Certamente la fine delle regole più stringenti ha comportato una ripresa della mobilità ma, con elevata probabilità, la diffusione dello *smart working*, alcune restrizioni su attività ludico/ricreative e la didattica a distanza, dall'autunno per gli istituti secondari, possono aver permesso di mantenere la componente legata al traffico a livelli inferiori rispetto l'atteso, con cali addirittura confrontabili con quelli avuti durante i mesi marzo-maggio 2020. L'effetto potrebbe essersi parzialmente smorzato in autunno da un lato per la ripresa, seppure parziale, delle scuole primarie, ma anche da un uso più diffuso di mezzi di trasporto propri piuttosto che pubblici, per il timore di quella che è stata definita "seconda ondata" di Covid19, da ottobre 2020.

Un'altra componente che risulta importante in termini di massa di PM prodotta, è quella della biomassa, che almeno nel periodo del *lockdown*, risulta essere cresciuta rispetto alle medie misurate nello stesso periodo negli anni precedenti. Questa condizione, che sembrerebbe in controtendenza rispetto all'andamento nel tempo sia del fattore PMF corrispondente, sia della concentrazione del suo principale *marker*, il levoglucosano, potrebbe essere spiegata dalla maggior quantità di tempo che le persone sono state costrette a trascorrere in casa, e al conseguente aumento di consumo di biomassa per il riscaldamento domestico.

Gli incrementi della massa di PM e di specie, come l'EC, derivanti dalla combustione di legna potrebbero aver contribuito a mascherare l'effetto totale sulla massa di particolato generato dalla diminuzione dei contributi legati ai trasporti. La conferma del contributo in due direzioni opposte



dato alla frazione legata alle combustioni, viene dall'osservazione del BC se diviso in componente BCff e BCbb.

L'analisi di attribuzione delle sorgenti del PM<sub>2.5</sub> ha individuato un'altra fonte che può essere legata ai trasporti, navali in particolare, che è la combustione di oli pesanti. L'analisi PMF ha mostrato che il contributo di questo fattore, normalmente limitato a pochi punti percentuali sulla massa totale del PM<sub>2.5</sub>, è ulteriormente diminuito nel 2020. Il Vanadio, che risulta un marker per questo fattore, ha avuto un calo netto nel 2020, sia nel confronto con gli anni precedenti, sia rispetto al valore previsto dalla RF. Il calo potrebbe essere coerente con la contrazione dei trasporti navali legati ai diversi provvedimenti internazionali anti-Covid.

La componente secondaria del particolato risulta sempre di difficile lettura. Nonostante i cali registrati degli ossidi di azoto durante il *lockdown*, la componente di PM legata ad essi, il nitrato d'ammonio, non mostra cali significativi se confrontata con le concentrazioni negli anni precedenti. Le analisi eseguite con la RF mostrano un segnale di decrescita delle concentrazioni misurate, inferiori a quelle previste durante il *lockdown* nei siti di fondo urbani (Milano, Bologna, Parma, Rimini), ma dato che tali variazioni sono confrontabili con quelle espresse dal modello negli stessi periodi degli anni precedenti, non è possibile assumere questo risultato come conclusivo. Considerando che quest'ultima analisi è stata fatta per valutare le concentrazioni in atmosfera al netto dell'effetto della meteorologia su di esse, una diminuzione rispetto al dato previsto sarebbe coerente con l'assunzione che la contrazione delle sorgenti dei precursori (in particolare gli ossidi di azoto) abbia avuto un effetto di calo della quantità di nitrato rispetto a quello che si sarebbe avuto in condizioni *business as usual*, mascherata dalle condizioni meteorologiche, ma i dati non sono sufficientemente solidi da muovere ipotesi in tal senso. Tramite [stime modellistiche](#) era attesa una diminuzione del nitrato d'ammonio, che però non risulta dalla sola analisi dei dati misurati, rispetto agli anni precedenti.

La componente secondaria di PM collegabile ad un fondo continentale o comunque extraregionale e caratterizzata dal solfato e da specie organiche molto invecchiate, ha mostrato una riduzione solo in estate, dal confronto con gli anni precedenti. Tale andamento potrebbe essere legato alla contrazione di una parte delle attività produttive a livello internazionale, anche se la specifica sorgente, individuata dalla PMF, nei siti analizzati non mostra un segnale evidente in tal senso.

L'assenza di provvedimenti che riguardavano le attività agricole e zootecniche, che sono le sorgenti predominanti di ammoniaca in atmosfera, ha comportato una mancanza di variazione delle sue concentrazioni in ambiente nella maggioranza dei punti di misura disponibili. Due siti, invece, hanno mostrato un calo perché posti in area urbana di traffico, in una città metropolitana come Roma (Fermi e Magna Grecia). In questi punti, evidentemente, l'importanza relativa delle diverse fonti di ammoniaca si modifica rendendo predominante la sorgente traffico, che è stata ampiamente ridimensionata dai provvedimenti anti-Covid19. L'effetto di riduzione delle emissioni prodotte dal traffico, nei siti dove questa sorgente è la principale, come in quelli di Roma considerati, è stato talmente importante da incidere non solo su traccianti specifici, ma anche su specie come l'ammoniaca.

In conclusione, un impatto sul particolato delle azioni messe in campo per combattere la diffusione della pandemia è stato osservato, per la maggior parte, nel verso della diminuzione dei contributi



delle specie, anche se, in certi casi, mascherato da effetti opposti. I risultati della RF confermano come le riduzioni misurate, ad esempio sulle concentrazioni di EC, non siano dovute a condizioni di variabilità interannuale legate alle condizioni meteorologiche ma siano quindi imputabili alla variazione dei contributi antropici. Le analisi non permettono di capire con certezza se cali di altre specie siano stati celati dalla meteorologia, come potrebbe essere accaduto ad es. per il nitrato.

I risultati più evidenti riguardano gli effetti legati alla riduzione dei trasporti, con cali nella frazione primaria del particolato e dei metalli che permangono ben oltre il termine dei provvedimenti più stringenti del primo *lockdown* indicando che alcune misure come l'introduzione dello *smart working*, sembrano aver inciso in maniera consistente. Infine, sembrano diminuite anche le frazioni di particolato legate a componenti antropiche extraregionali, a fronte di una crescita, durante il solo *lockdown*, delle combustioni di biomassa.

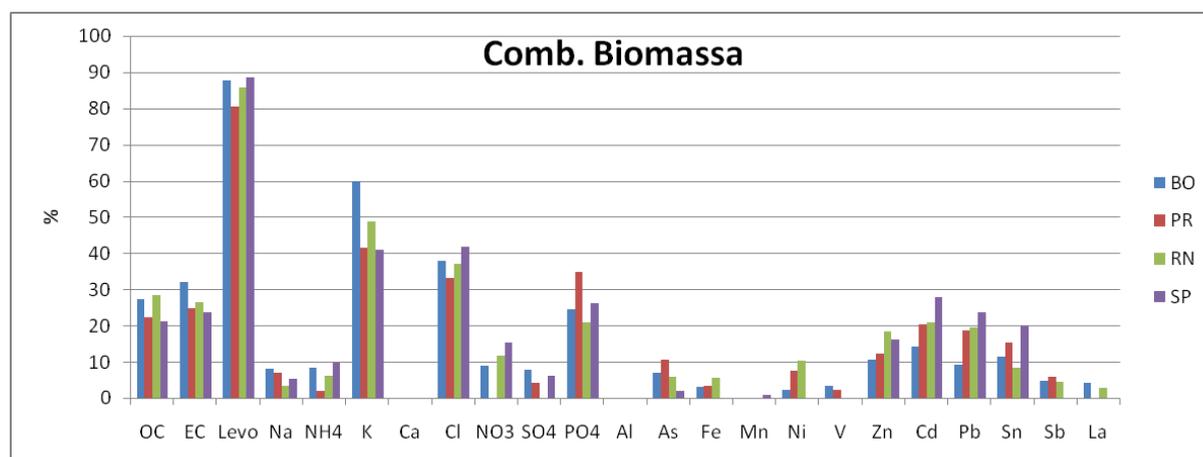
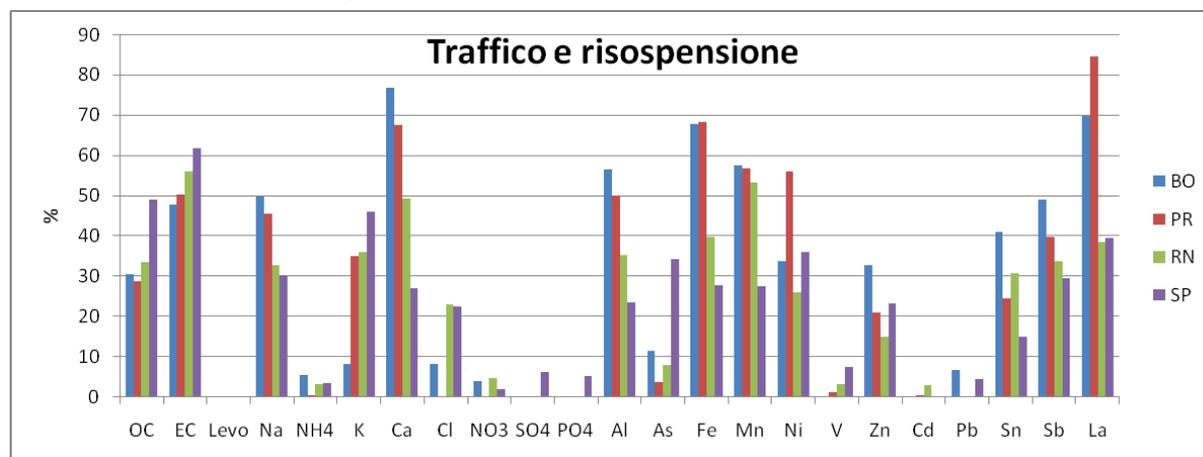
## APPENDICE I - RIPARTIZIONE DEL PARTICOLATO IN BASE ALLE SUE ORIGINI (Source Apportionment: PMF)

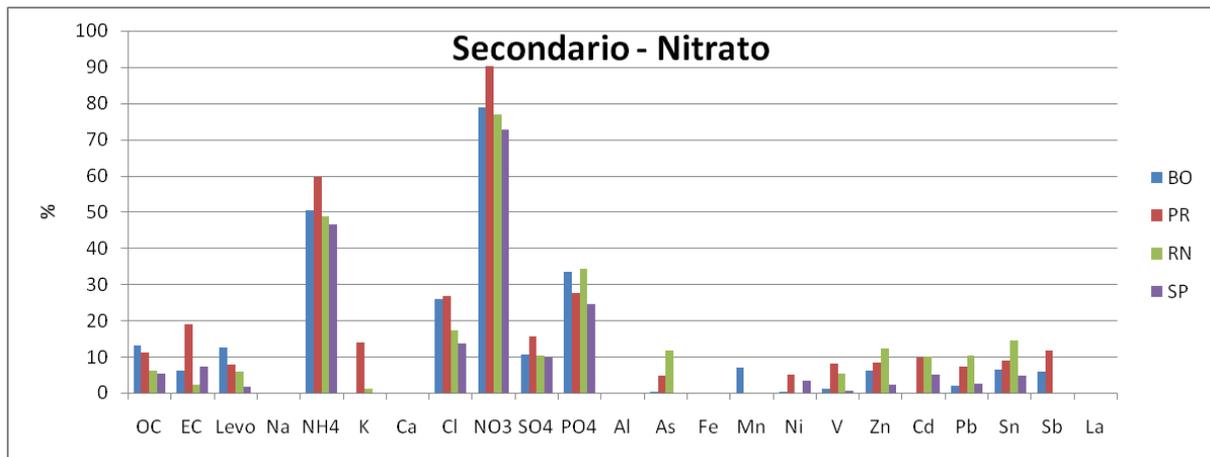
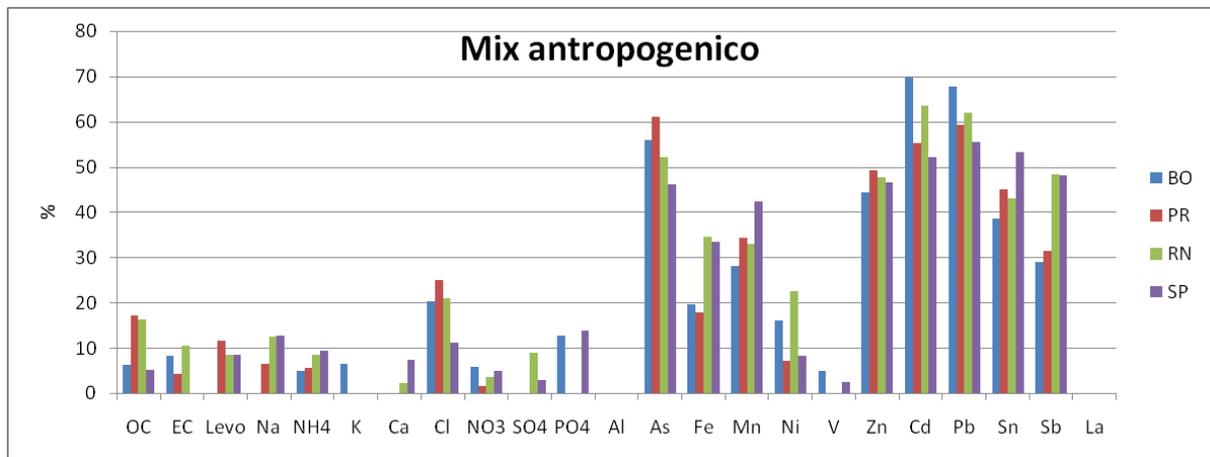
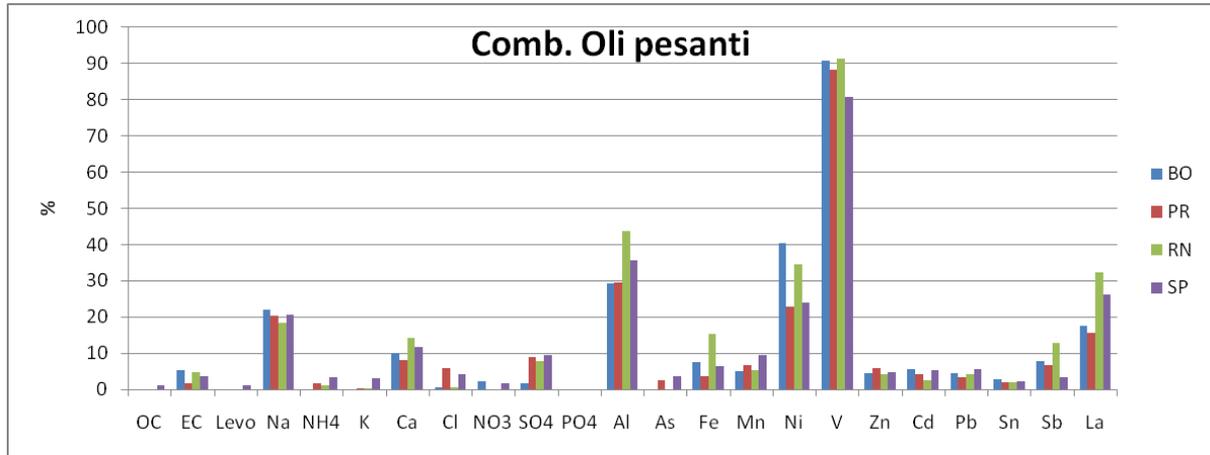
### I.1 - RIPARTIZIONE DEL PM<sub>2.5</sub> IN BASE ALLE SUE ORIGINI

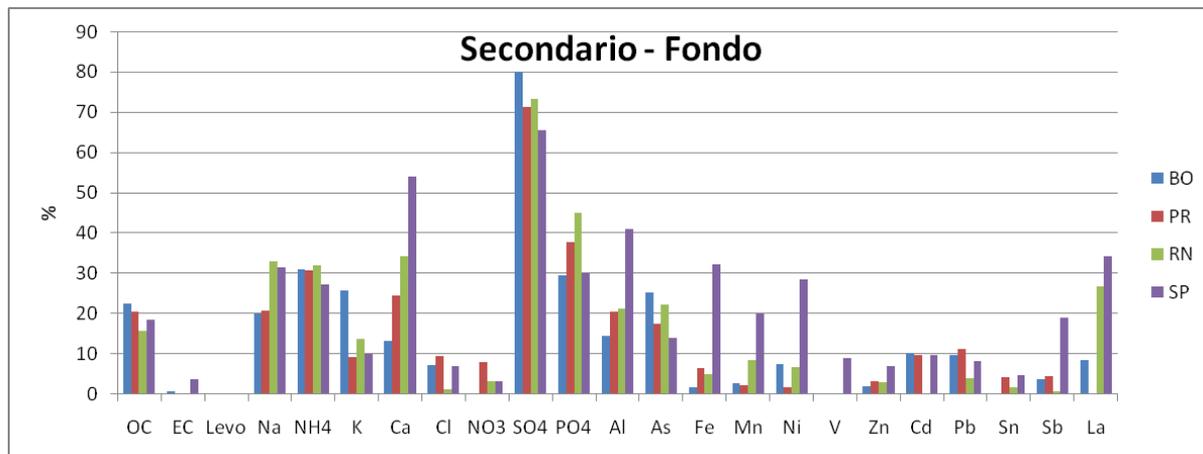
Parametri di fitting di ricostruzione della massa di PM<sub>2.5</sub>

PM <sub>2.5</sub> predetta/osservata	R <sup>2</sup>	Intercetta	Pendenza
Bologna	0.95	1.049	0.927
Parma	0.94	1.229	0.914
Rimini	0.95	0.588	0.957
S. Pietro Capofiume	0.94	-0.336	1.005

Profilo dei fattori individuati per il PM<sub>2.5</sub>







Valori medi dei fattori individuati in ogni sito

### Traffico e risospensione

Anno	BO	PR	RN	SP	<i>UB</i>	<i>All</i>	Lockdown	BO	PR	RN	SP	<i>UB</i>	<i>All</i>
2016	3.1	5.6	3.9	3.0	4.2	3.9	2016	2.0	3.9	2.2	1.2	2.7	2.3
2017	3.7	6.4	4.8	3.8	5.0	4.7	2017	3.5	6.6	4.0	2.0	4.7	4.0
2018	3.1	5.4	3.3	3.6	3.9	3.8	2018	3.2	4.5	3.4	1.9	3.7	3.2
2019	3.1	5.2	4.2	3.3	4.2	3.9	2019	2.5	3.8	3.1	2.0	3.1	2.8
<b>2016-2019</b>	3.2	5.7	4.0	3.4	4.3	4.1	<b>2016-2019</b>	2.8	4.7	3.2	1.7	3.6	3.1
<b>2020</b>	2.3	2.7	2.4	1.8	2.5	2.3	<b>2020</b>	1.7	2.2	1.5	1.6	1.8	1.8
<b>Diff.</b>	<b>-0.9</b>	<b>-3.0</b>	<b>-1.6</b>	<b>-1.7</b>	<b>-1.8</b>	<b>-1.8</b>	<b>Diff.</b>	<b>-1.0</b>	<b>-2.5</b>	<b>-1.7</b>	<b>-0.1</b>	<b>-1.7</b>	<b>-1.3</b>
<b>Diff.%</b>	<b>-28%</b>	<b>-53%</b>	<b>-40%</b>	<b>-49%</b>	<b>-43%</b>	<b>-44%</b>	<b>Diff.%</b>	<b>-38%</b>	<b>-53%</b>	<b>-53%</b>	<b>-7%</b>	<b>-49%</b>	<b>-43%</b>

Legenda: BO = Bologna Urban Background; PR = Parma Urban Background; RN = Rimini Urban Background; SP = S. Pietro Capofume Rural Background; *UB* = media dei siti Urban Background; *All* = media di tutti i siti; in **grassetto** le differenze statisticamente significative (p-value < 0.05; Wilcoxon-Mann test).

### Combustione di biomassa

Anno	BO	PR	RN	SP	UB	All	Lockdown	BO	PR	RN	SP	UB	All
2016	4.5	2.8	4.9	2.3	4.0	3.6	2016	1.6	0.7	1.7	1.0	1.4	1.3
2017	4.8	2.4	4.5	2.1	3.9	3.5	2017	1.7	0.2	1.6	0.1	1.2	0.9
2018	3.5	2.6	2.6	2.4	2.9	2.8	2018	1.5	0.3	1.8	0.2	1.2	1.0
2019	3.3	1.9	2.5	2.2	2.6	2.5	2019	1.0	0.7	1.0	0.9	0.9	0.9
<b>2016-2019</b>	4.0	2.4	3.5	2.2	3.3	3.0	<b>2016-2019</b>	1.4	0.5	1.6	0.6	1.2	1.0
<b>2020</b>	2.9	1.7	1.8	1.2	2.1	1.9	<b>2020</b>	2.1	1.2	2.6	0.8	1.9	1.7
<b>Diff.</b>	-1.1	-0.7	-1.7	-1.1	-1.2	-1.1	<b>Diff.</b>	<b>0.7</b>	<b>0.7</b>	1.0	0.3	0.8	0.7
<b>Diff.%</b>	-28%	-29%	-48%	-49%	-35%	-38%	<b>Diff.%</b>	46%	148%	62%	47%	67%	65%

Legenda: BO = Bologna Urban Background; PR = Parma Urban Background; RN = Rimini Urban Background; SP = S. Pietro Capofiume Rural Background; UB = media dei siti Urban Background; All = media di tutti i siti; in **grassetto** le differenze statisticamente significative (p-value < 0.05; Wilcoxon-Mann test).

### Mix antropogenico

Anno	BO	PR	RN	SP	UB	All	Lockdown	BO	PR	RN	SP	UB	All
2016	2.1	3.3	3.3	3.6	2.9	3.1	2016	1.2	1.7	2.1	1.8	1.7	1.7
2017	2.2	2.7	3.4	2.8	2.8	2.8	2017	1.3	2.3	2.7	1.8	2.1	2.0
2018	1.5	2.3	2.4	2.6	2.1	2.2	2018	1.1	1.7	1.8	1.7	1.5	1.6
2019	1.3	1.6	2.3	2.0	1.7	1.8	2019	1.0	1.4	1.9	1.5	1.4	1.5
<b>2016-2019</b>	1.8	2.5	2.8	2.7	2.3	2.4	<b>2016-2019</b>	1.1	1.8	2.0	1.7	1.7	1.7
<b>2020</b>	1.7	2.4	2.1	3.4	2.1	2.4	<b>2020</b>	1.1	1.1	1.5	2.3	1.2	1.5
<b>Diff.</b>	-0.1	-0.1	-0.7	0.6	-0.3	0.0	<b>Diff.</b>	-0.1	<b>-0.7</b>	-0.6	0.6	-0.5	-0.2
<b>Diff.%</b>	-2%	-4%	-23%	23%	-11%	-2%	<b>Diff.%</b>	-5%	-41%	-28%	36%	-27%	-11%

Legenda: BO = Bologna Urban Background; PR = Parma Urban Background; RN = Rimini Urban Background; SP = S. Pietro Capofiume Rural Background; UB = media dei siti Urban Background; All = media di tutti i siti; in **grassetto** le differenze statisticamente significative (p-value < 0.05; Wilcoxon-Mann test).

### Combustione di oli pesanti

Anno	BO	PR	RN	SP	UB	All	Lockdown	BO	PR	RN	SP	UB	All
2016	0.5	0.9	0.3	1.5	0.6	0.8	2016	0.8	1.8	0.5	2.8	1.0	1.4
2017	0.4	0.9	0.2	1.1	0.5	0.7	2017	0.6	1.3	0.3	1.8	0.7	1.0
2018	0.4	0.7	0.2	1.0	0.4	0.5	2018	0.4	0.7	0.2	1.4	0.4	0.7
2019	0.3	0.6	0.2	0.9	0.4	0.5	2019	0.4	0.6	0.2	0.8	0.4	0.5
<b>2016-2019</b>	0.4	0.8	0.2	1.1	0.5	0.6	<b>2016-2019</b>	0.5	1.1	0.3	1.7	0.6	0.9
<b>2020</b>	0.1	0.1	0.1	0.2	0.1	0.1	<b>2020</b>	0.1	0.1	0.0	0.3	0.1	0.1
<b>Diff.</b>	<b>-0.3</b>	<b>-0.6</b>	<b>-0.1</b>	<b>-1.0</b>	<b>-0.3</b>	<b>-0.5</b>	<b>Diff.</b>	<b>-0.4</b>	<b>-0.9</b>	<b>-0.2</b>	<b>-1.5</b>	<b>-0.5</b>	<b>-0.8</b>
<b>Diff.%</b>	<b>-77%</b>	<b>-83%</b>	<b>-48%</b>	<b>-86%</b>	<b>-76%</b>	<b>-80%</b>	<b>Diff.%</b>	<b>-81%</b>	<b>-87%</b>	<b>-85%</b>	<b>-85%</b>	<b>-85%</b>	<b>-85%</b>

Legenda: BO = Bologna Urban Background; PR = Parma Urban Background; RN = Rimini Urban Background; SP = S. Pietro Capofiume Rural Background; UB = media dei siti Urban Background; All = media di tutti i siti; in **grassetto** le differenze statisticamente significative (p-value < 0.05; Wilcoxon-Mann test).

## Secondario - Nitrato

Anno	BO	PR	RN	SP	UB	All	Lockdown	BO	PR	RN	SP	UB	All
2016	3.5	9.9	5.4	2.8	6.3	5.4	2016	2.3	5.1	1.8	1.0	3.1	2.5
2017	6.8	10.0	6.8	5.3	7.9	7.2	2017	3.2	7.6	3.2	2.3	4.7	4.1
2018	5.6	9.4	3.6	6.3	6.2	6.3	2018	3.5	4.7	3.8	3.8	4.0	4.0
2019	5.0	7.3	4.8	4.5	5.7	5.4	2019	2.9	5.1	1.8	2.9	3.3	3.2
<b>2016-2019</b>	5.3	9.2	5.0	4.8	6.5	6.1	<b>2016-2019</b>	3.0	5.6	2.8	2.5	3.8	3.5
<b>2020</b>	6.4	6.7	2.9	4.1	5.4	5.1	<b>2020</b>	3.0	4.1	2.2	3.0	3.1	3.1
<b>Diff.</b>	<b>1.2</b>	<b>-2.5</b>	<b>-2.1</b>	<b>-0.7</b>	<b>-1.1</b>	<b>-1.0</b>	<b>Diff.</b>	<b>0.0</b>	<b>-1.5</b>	<b>-0.6</b>	<b>0.5</b>	<b>-0.7</b>	<b>-0.4</b>
<b>Diff.%</b>	<b>22%</b>	<b>-27%</b>	<b>-41%</b>	<b>-14%</b>	<b>-17%</b>	<b>-17%</b>	<b>Diff.%</b>	<b>0%</b>	<b>-26%</b>	<b>-23%</b>	<b>20%</b>	<b>-19%</b>	<b>-12%</b>

Legenda: BO = Bologna Urban Background; PR = Parma Urban Background; RN = Rimini Urban Background; SP = S. Pietro Capofiume Rural Background; UB = media dei siti Urban Background; All = media di tutti i siti; in **grassetto** le differenze statisticamente significative (p-value < 0.05; Wilcoxon-Mann test).

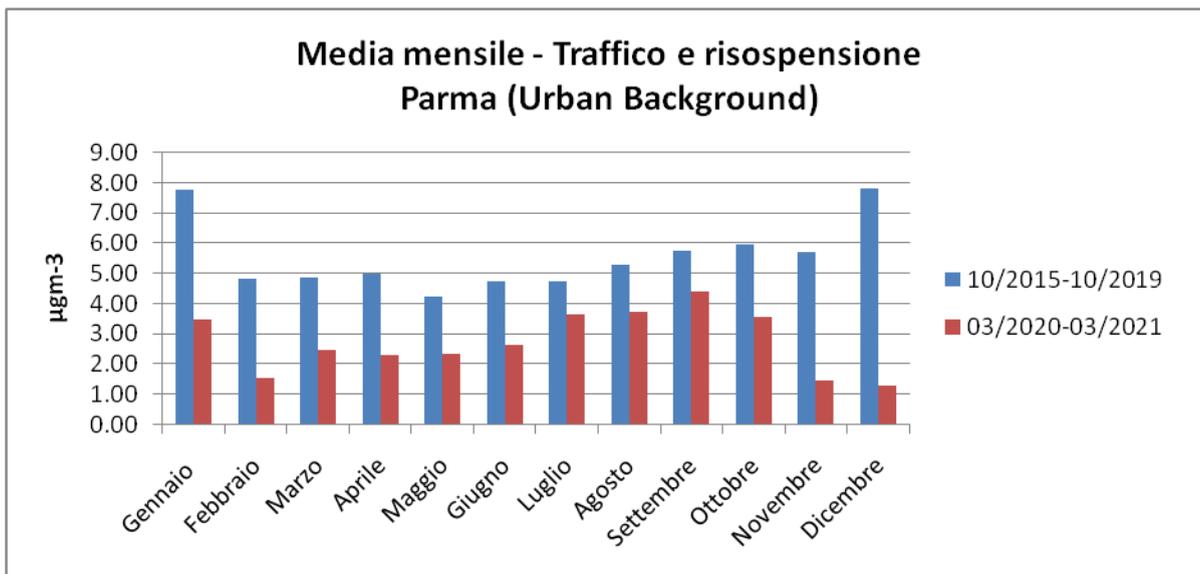
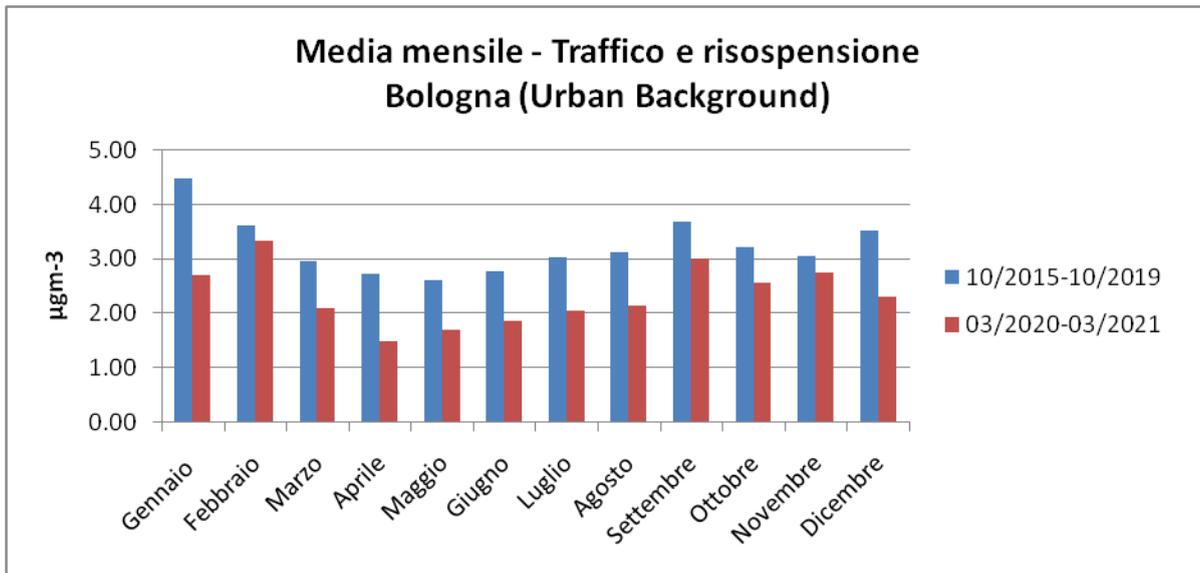
## Secondario - Fondo

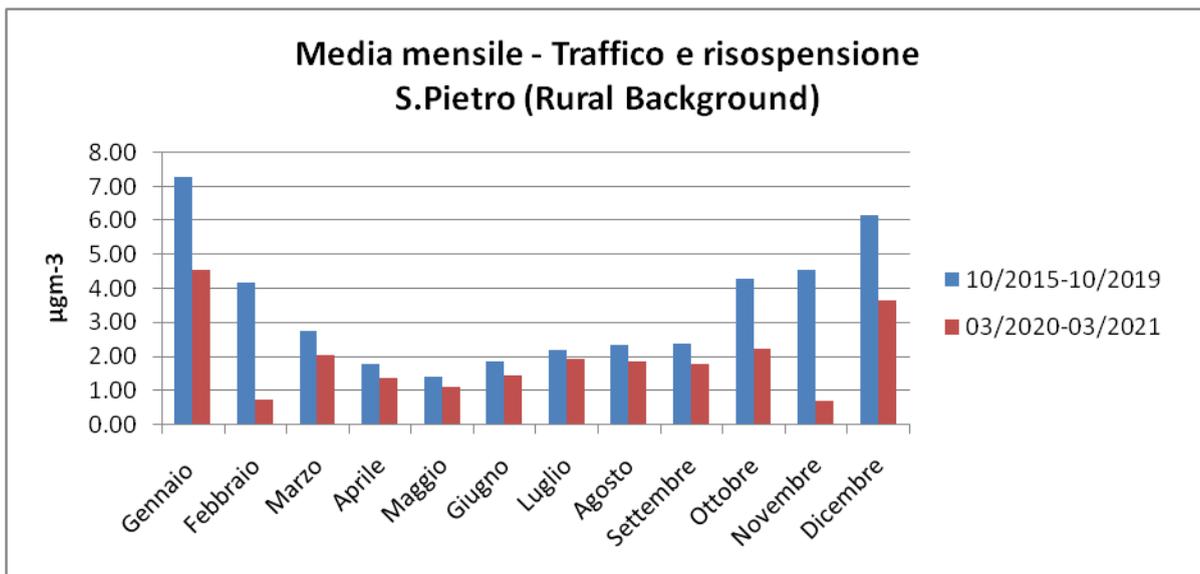
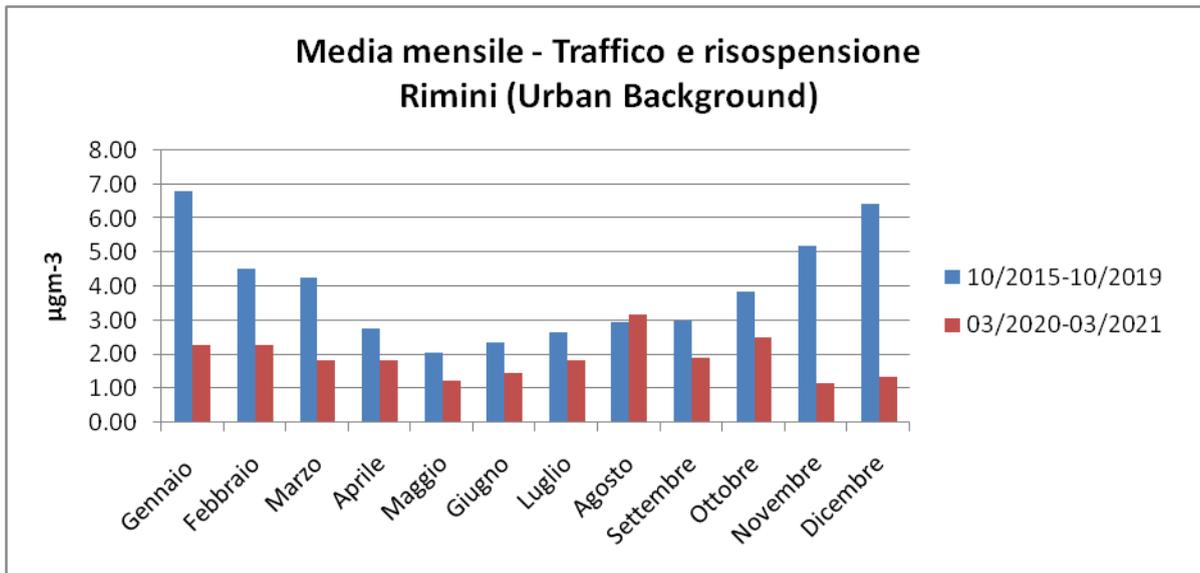
Anno	BO	PR	RN	SP	UB	All	Lockdown	BO	PR	RN	SP	UB	All
2016	6.3	4.7	3.6	4.1	4.8	4.7	2016	7.1	4.9	4.1	5.0	5.4	5.3
2017	5.5	4.5	3.8	4.0	4.6	4.5	2017	5.4	4.3	3.2	4.7	4.3	4.4
2018	6.3	4.5	4.6	4.5	5.1	5.0	2018	6.4	3.7	3.6	4.4	4.6	4.5
2019	5.1	4.2	3.6	4.5	4.3	4.3	2019	3.9	2.5	2.2	2.7	2.9	2.8
<b>2016-2019</b>	5.8	4.5	3.9	4.3	4.7	4.6	<b>2016-2019</b>	5.6	3.8	3.3	4.2	4.2	4.2
<b>2020</b>	4.3	3.7	2.9	3.4	3.6	3.6	<b>2020</b>	4.7	3.6	3.0	3.1	3.8	3.6
<b>Diff.</b>	<b>-1.5</b>	<b>-0.7</b>	<b>-1.1</b>	<b>-0.9</b>	<b>-1.1</b>	<b>-1.1</b>	<b>Diff.</b>	-1.0	-0.2	-0.3	-1.1	-0.5	-0.6
<b>Diff.%</b>	<b>-26%</b>	<b>-16%</b>	<b>-27%</b>	<b>-22%</b>	<b>-23%</b>	<b>-23%</b>	<b>Diff.%</b>	-17%	-6%	-8%	-27%	-11%	-15%

Legenda: BO = Bologna Urban Background; PR = Parma Urban Background; RN = Rimini Urban Background; SP = S. Pietro Capofiume Rural Background; UB = media dei siti Urban Background; All = media di tutti i siti; in **grassetto** le differenze statisticamente significative (p-value < 0.05; Wilcoxon-Mann test).

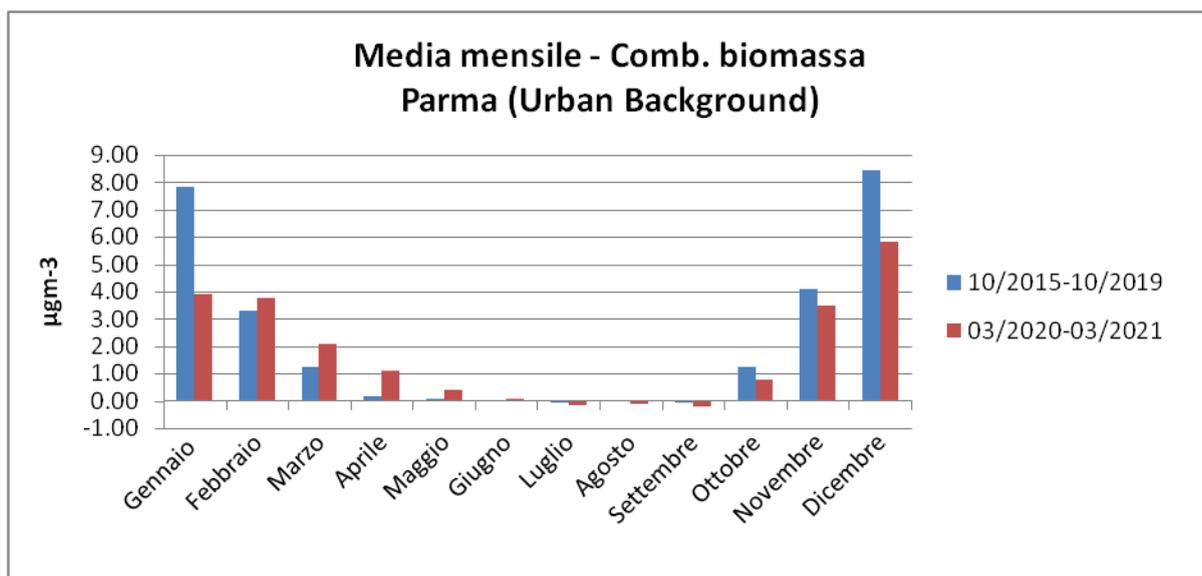
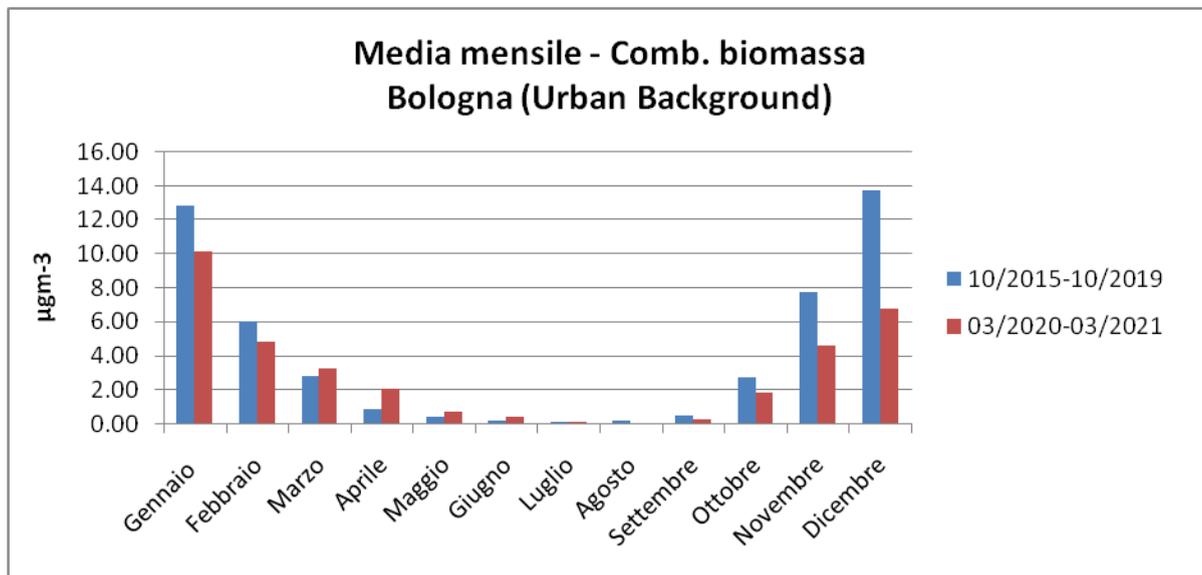
Media mensile dei diversi fattori del PM2.5 in ogni sito (Bologna, Parma, Rimini, S. Pietro Capofiume) nel periodo successivo all'inizio della pandemia (03/2020-03/2021) e nel periodo di confronto (10/2015-10/2019).

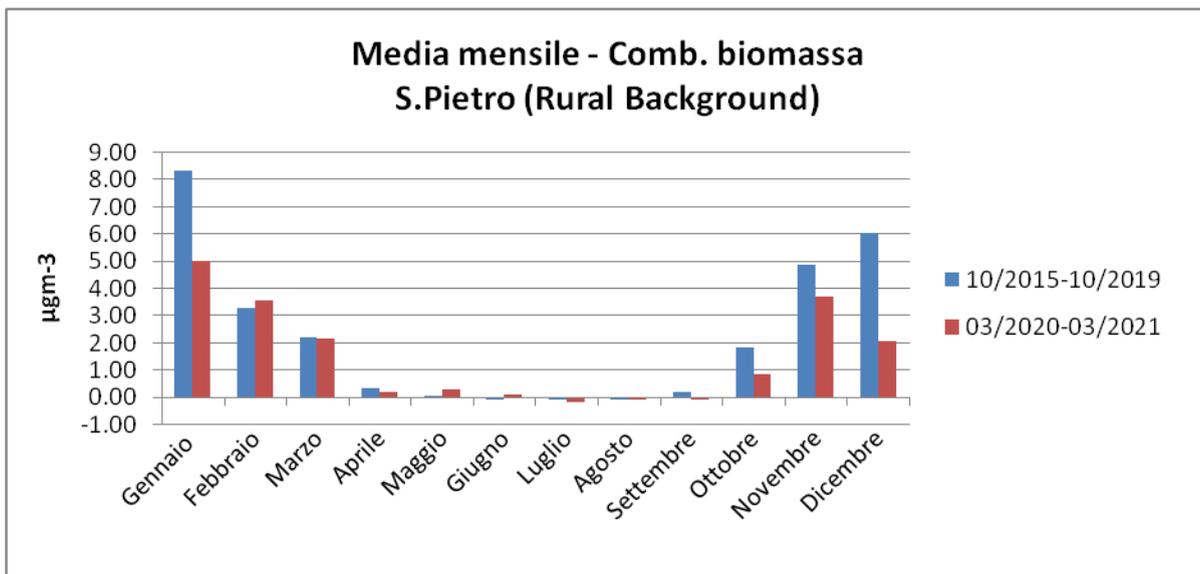
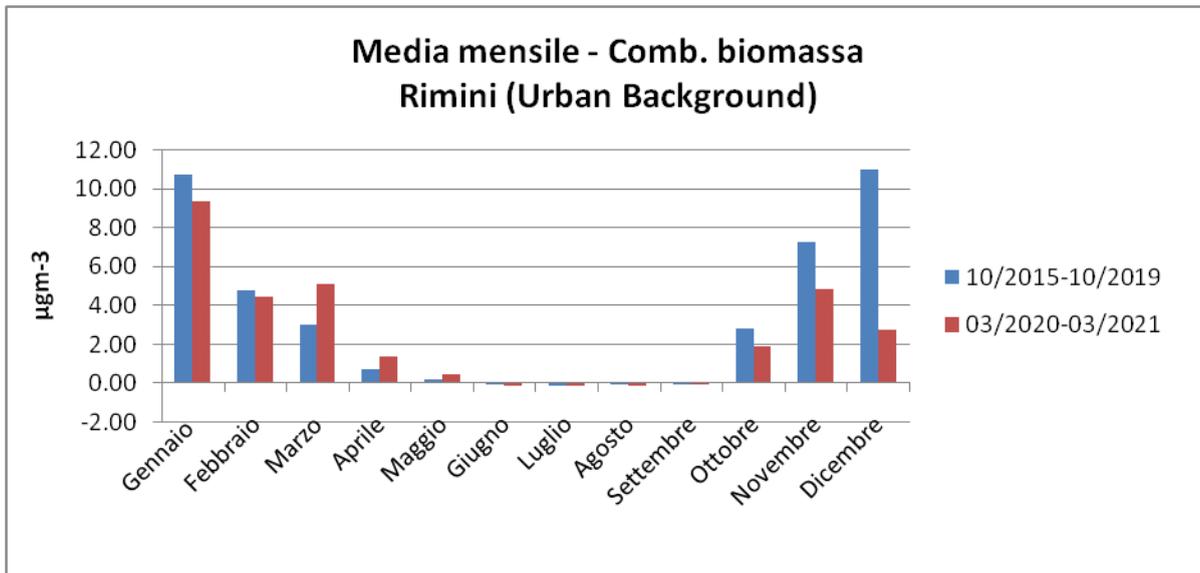
Traffico e risospensione



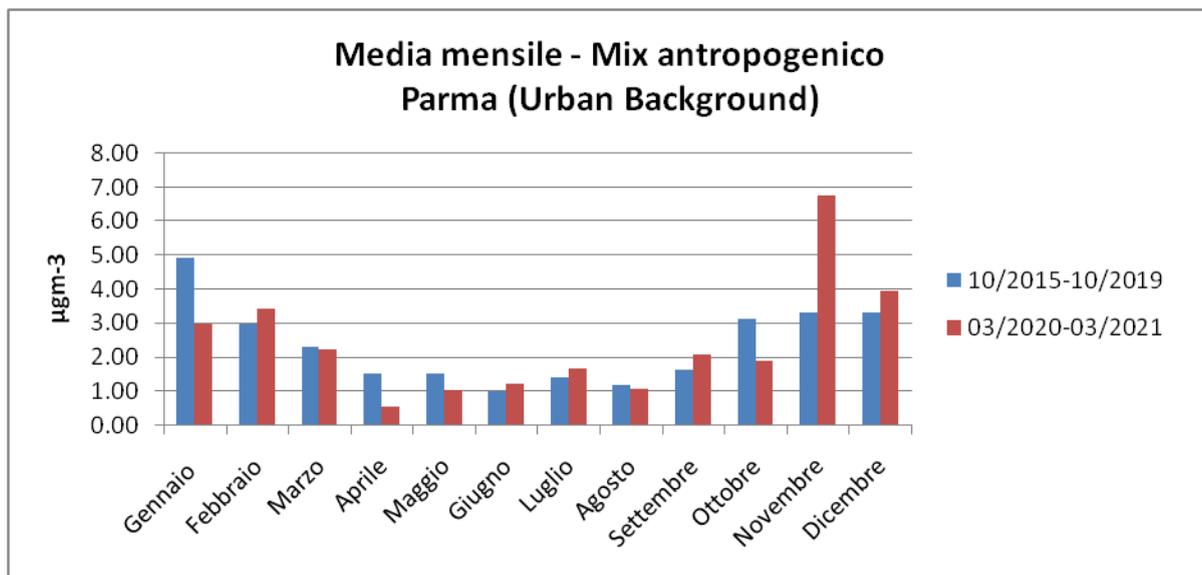
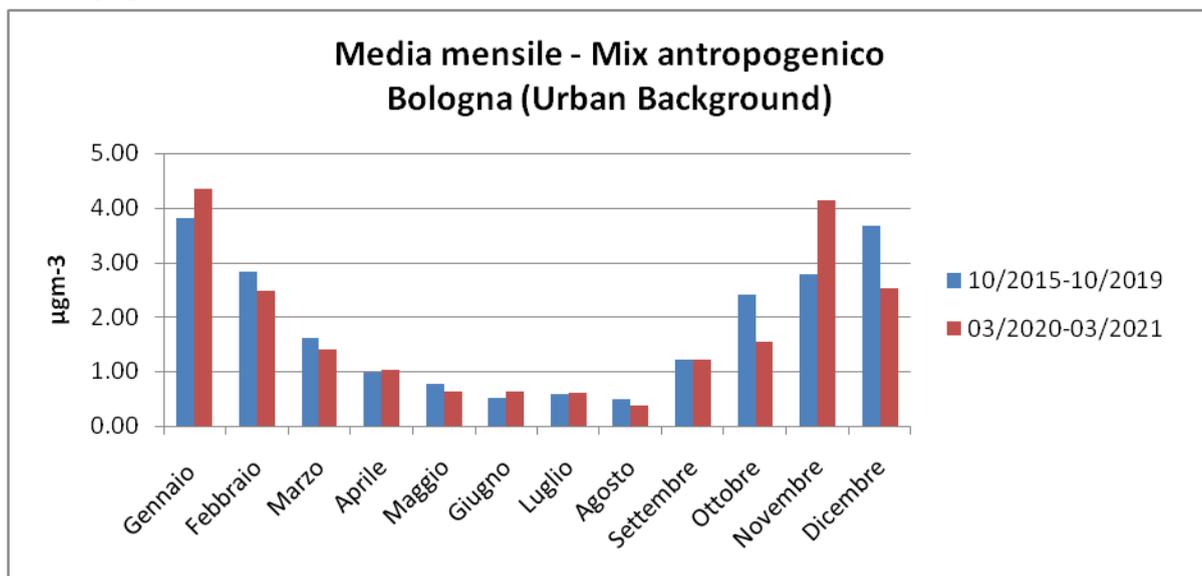


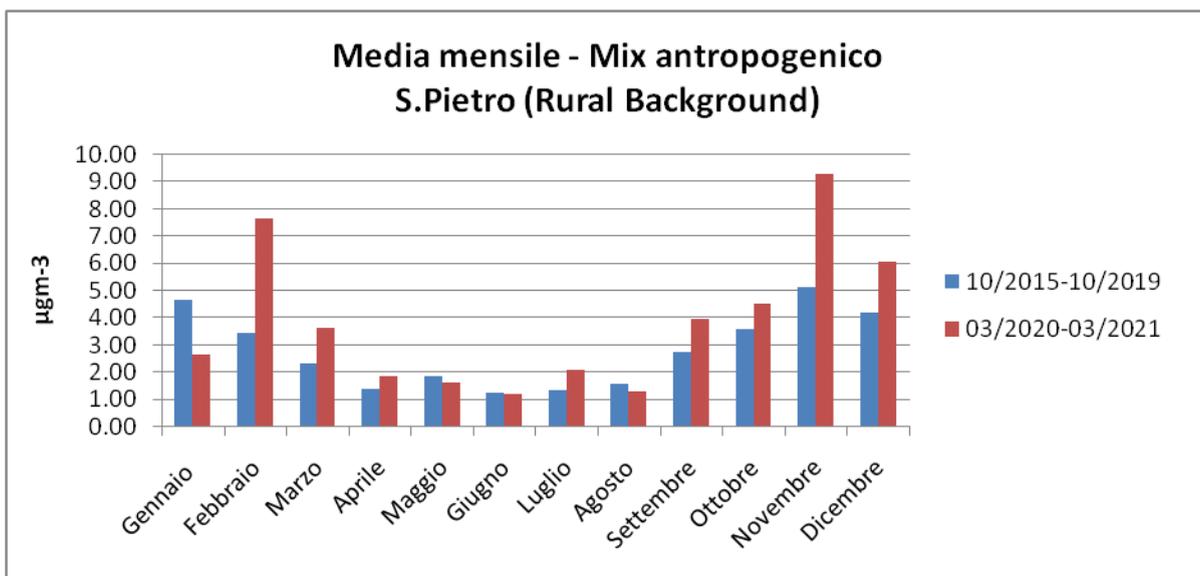
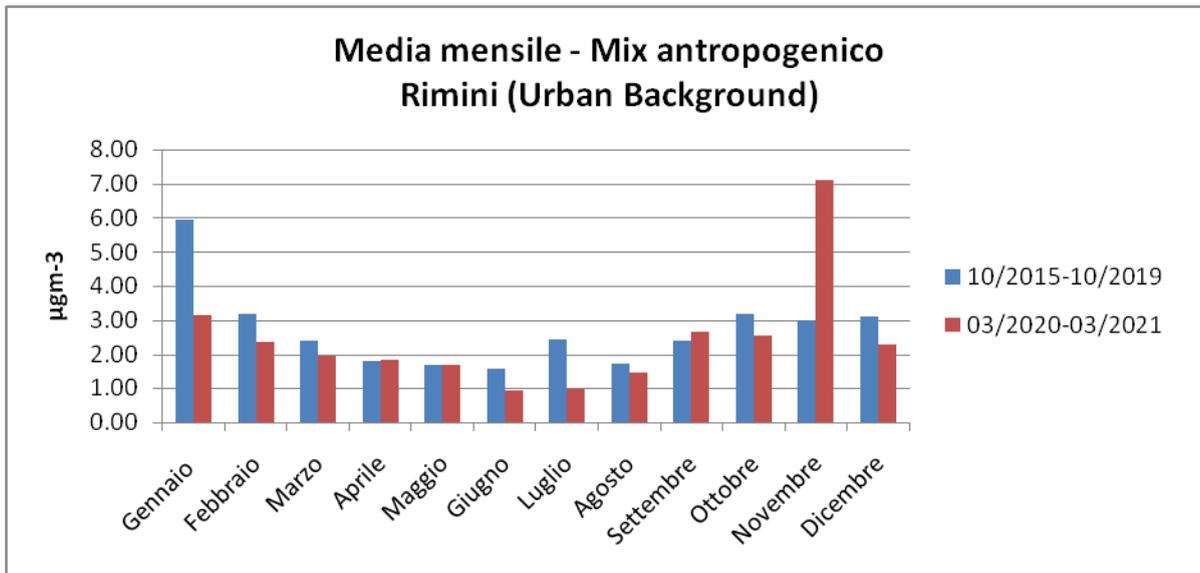
## Combustione di biomassa



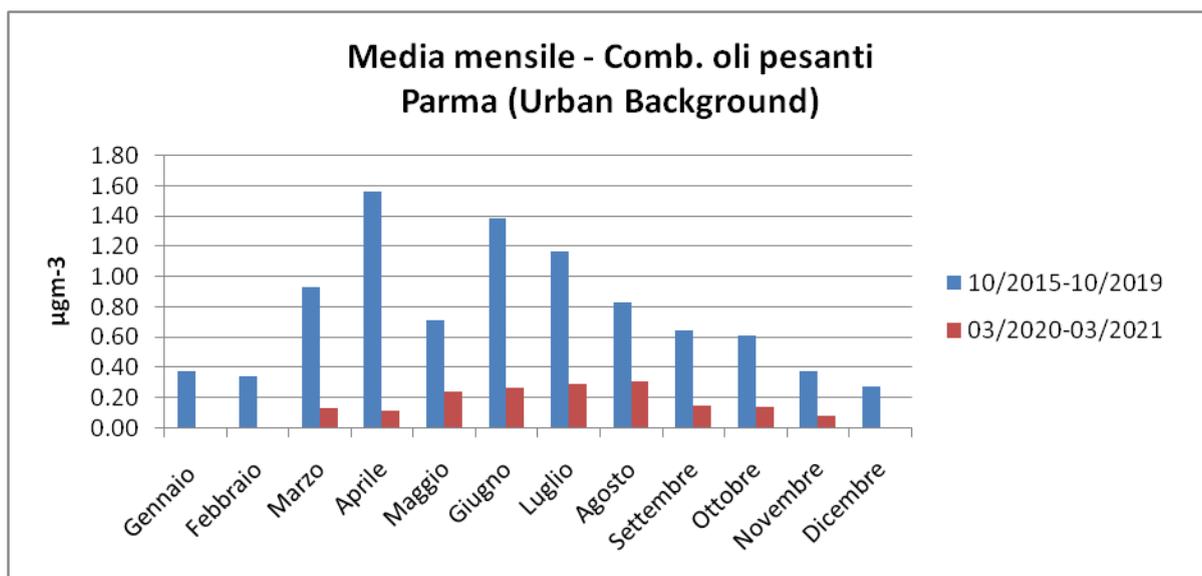
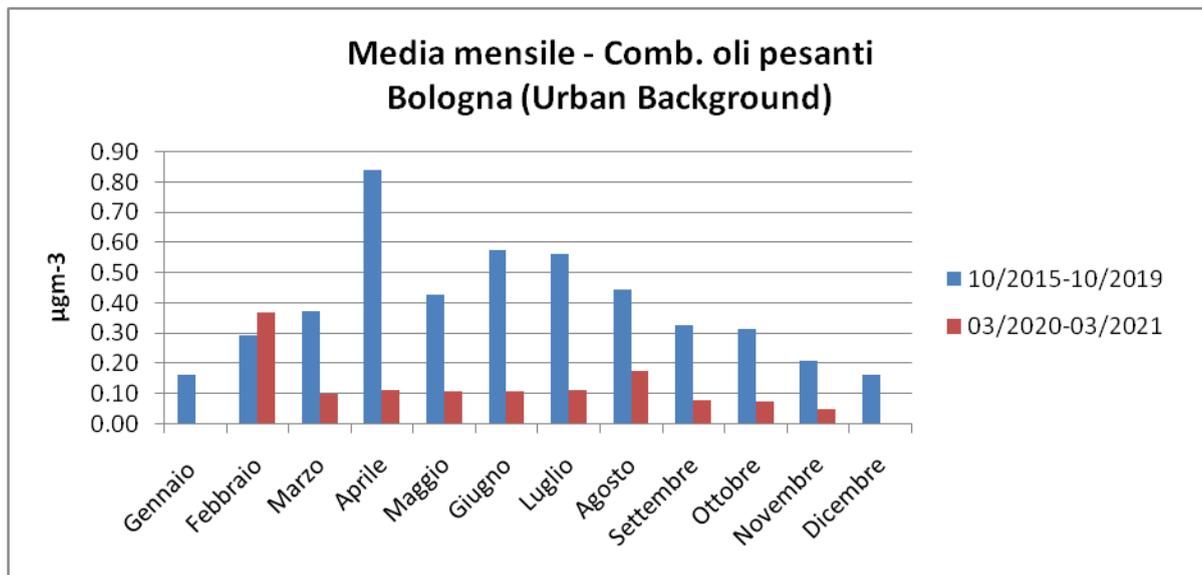


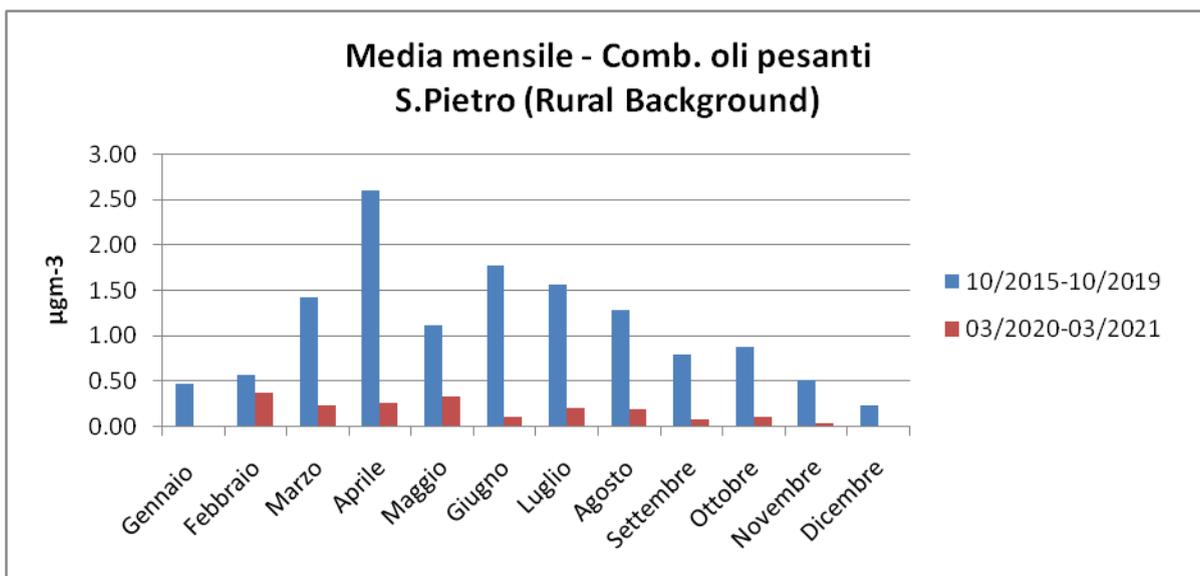
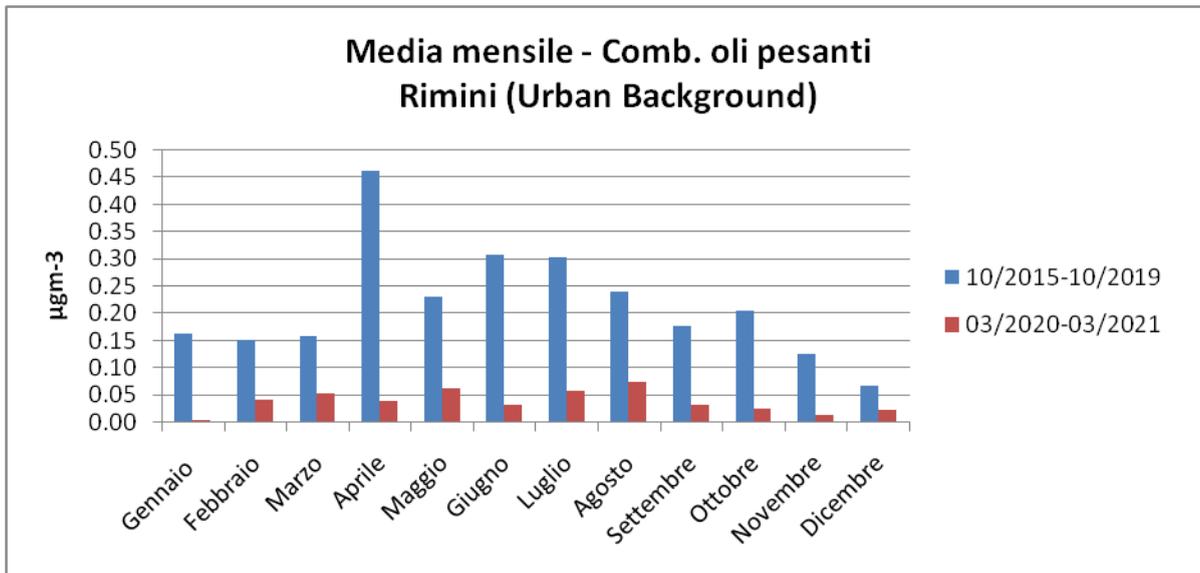
## Mix antropogenico



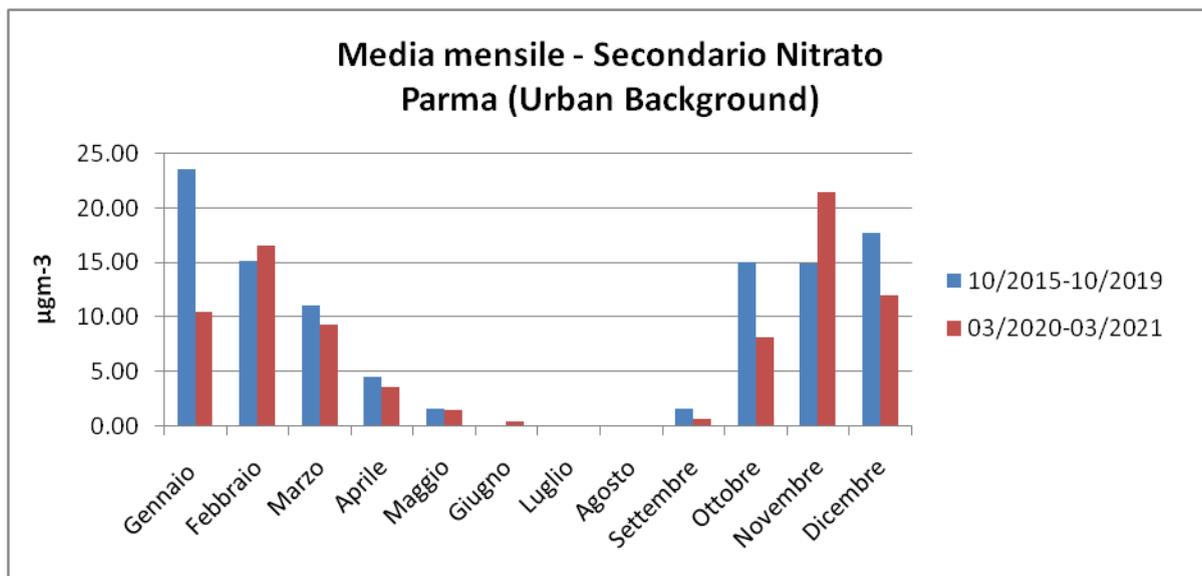
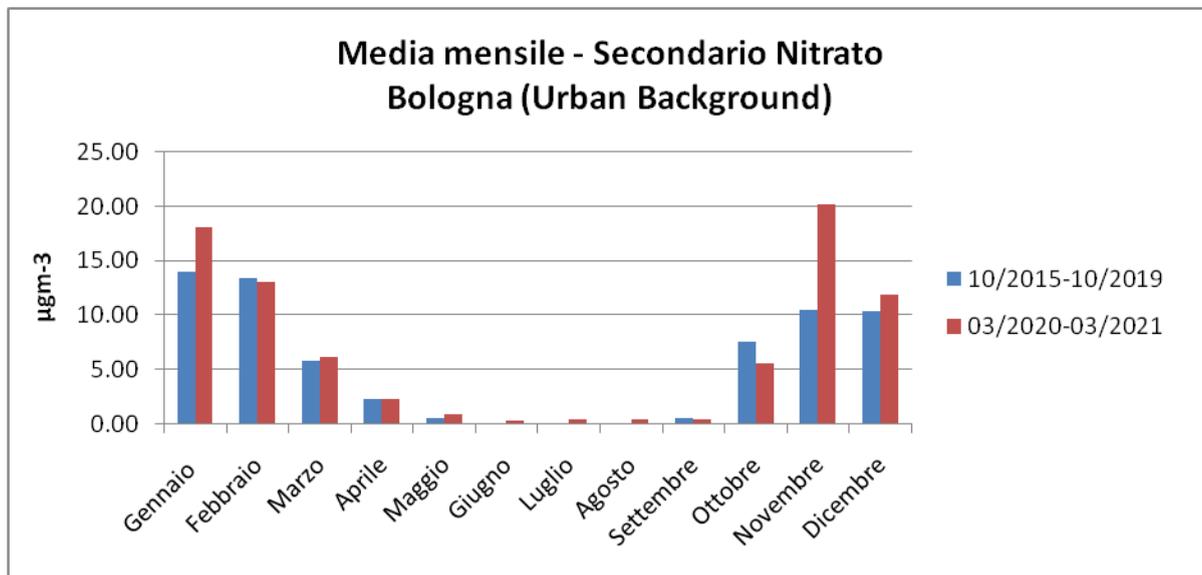


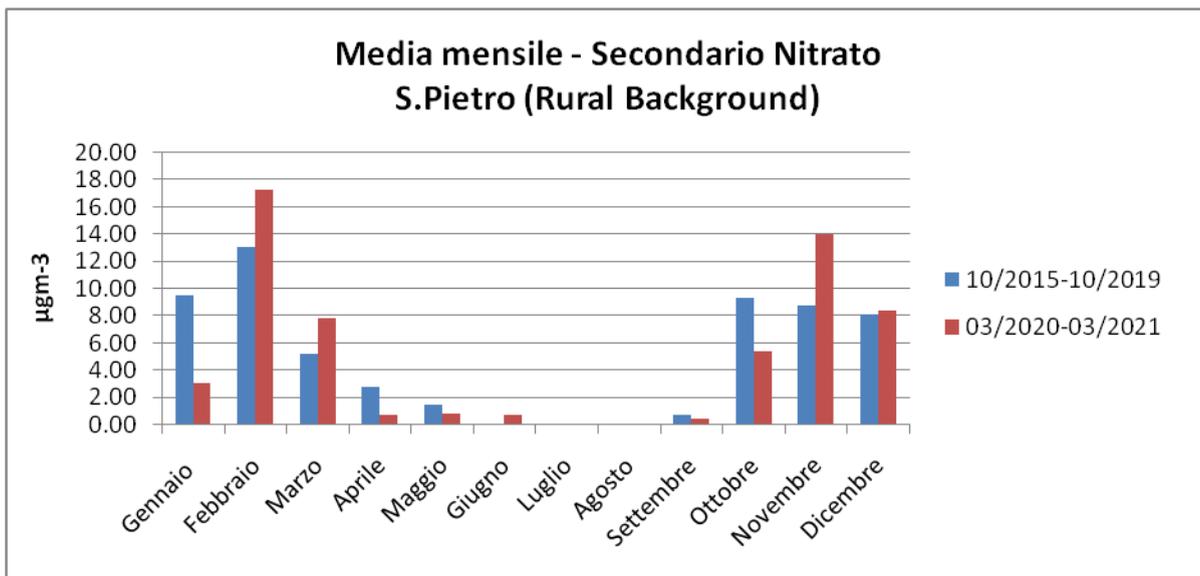
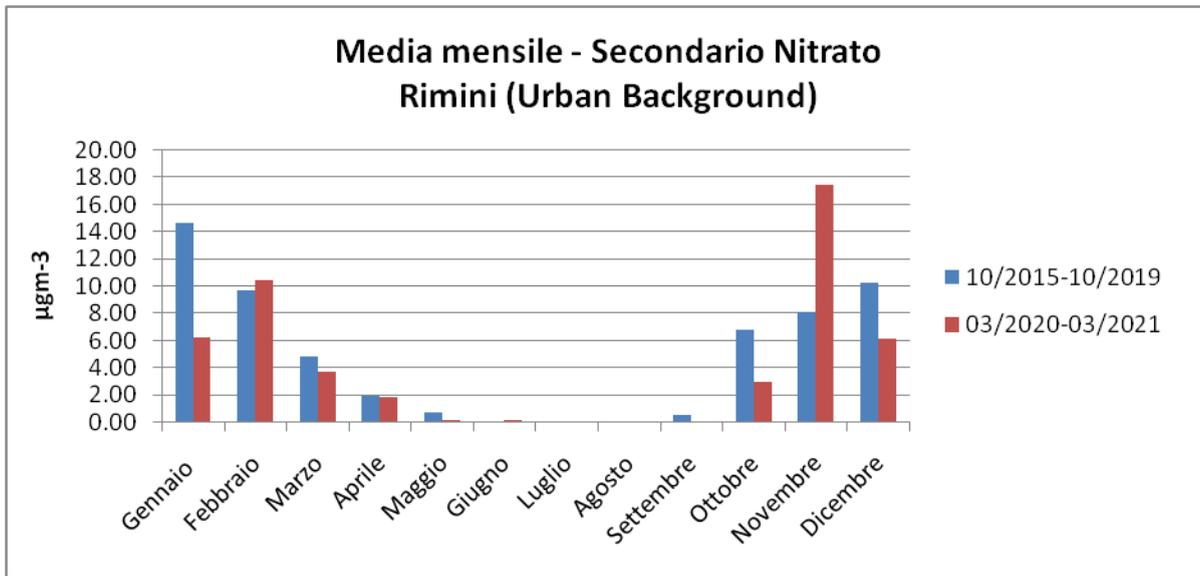
## Combustione di oli pesanti



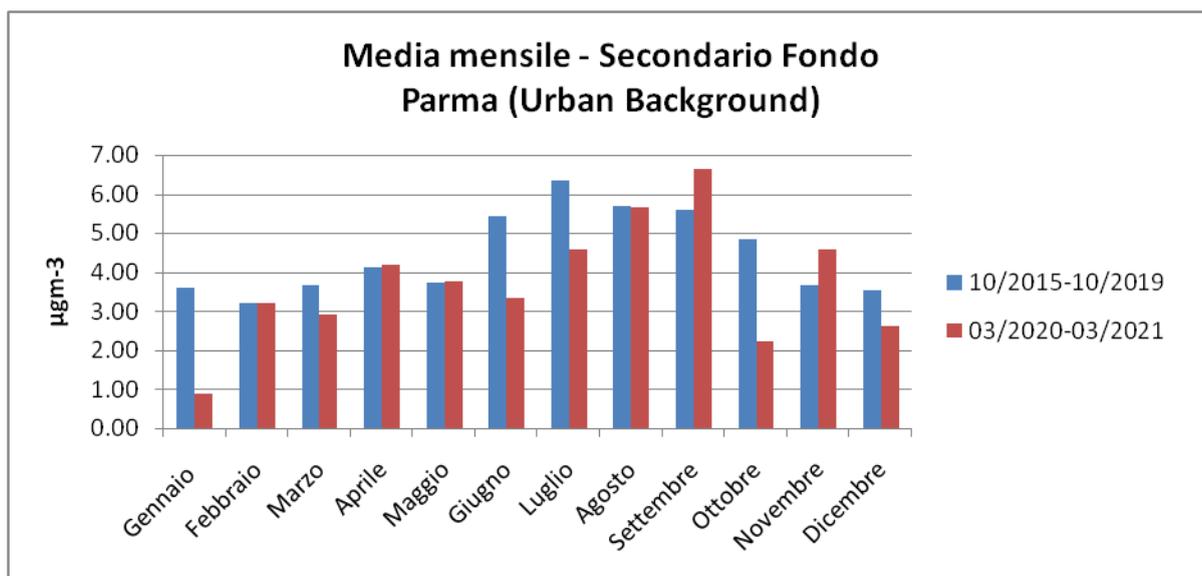
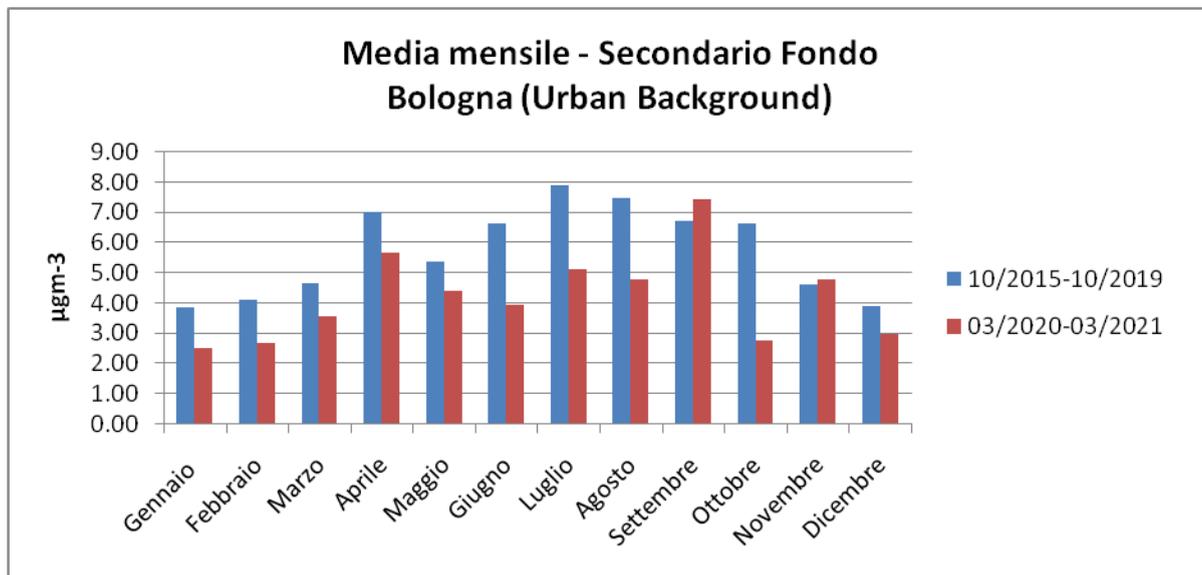


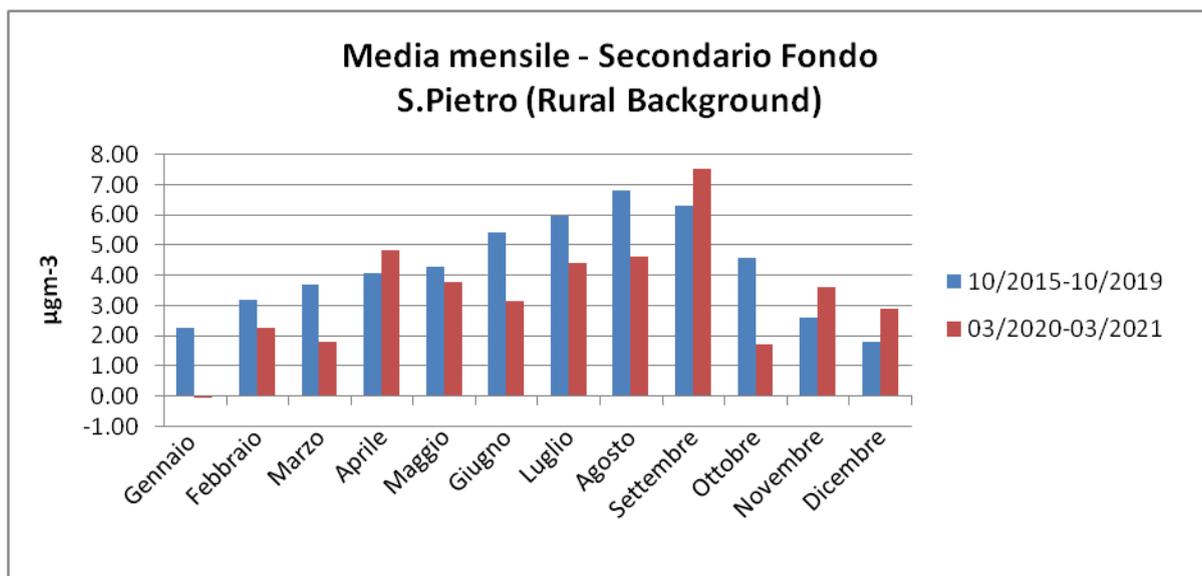
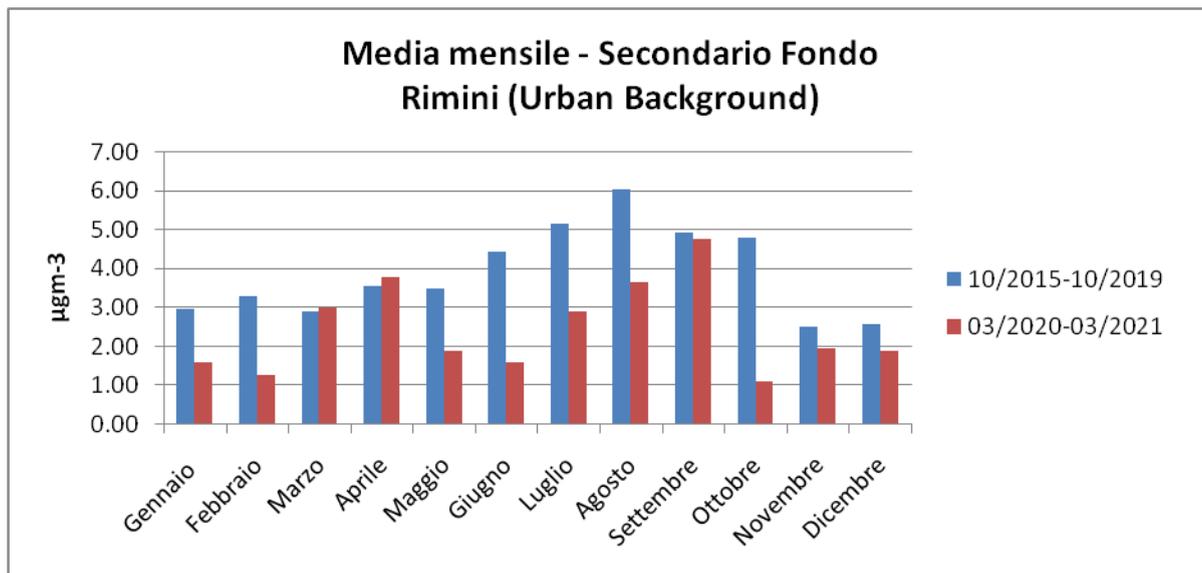
## Secondario - Nitrato





## Secondario - Fondo



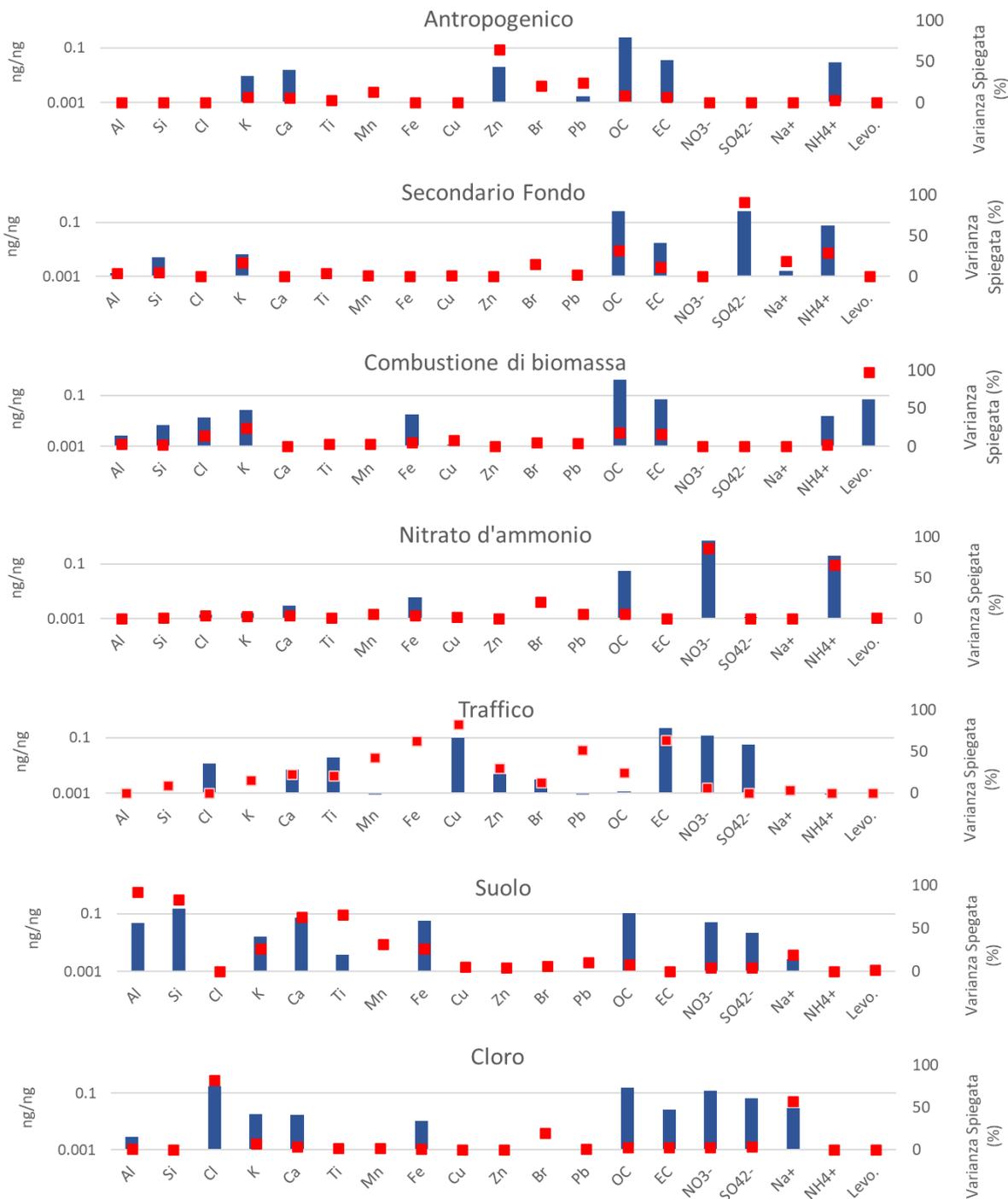


## I.II - RIPARTIZIONE DEL PM10 IN BASE ALLE SUE ORIGINI

Parametri di fitting di ricostruzione della massa di PM10

PM2.5 predetta/osservata	R <sup>2</sup>	Intercetta	Pendenza
Milano Pascal	0.92	1.145	0.98

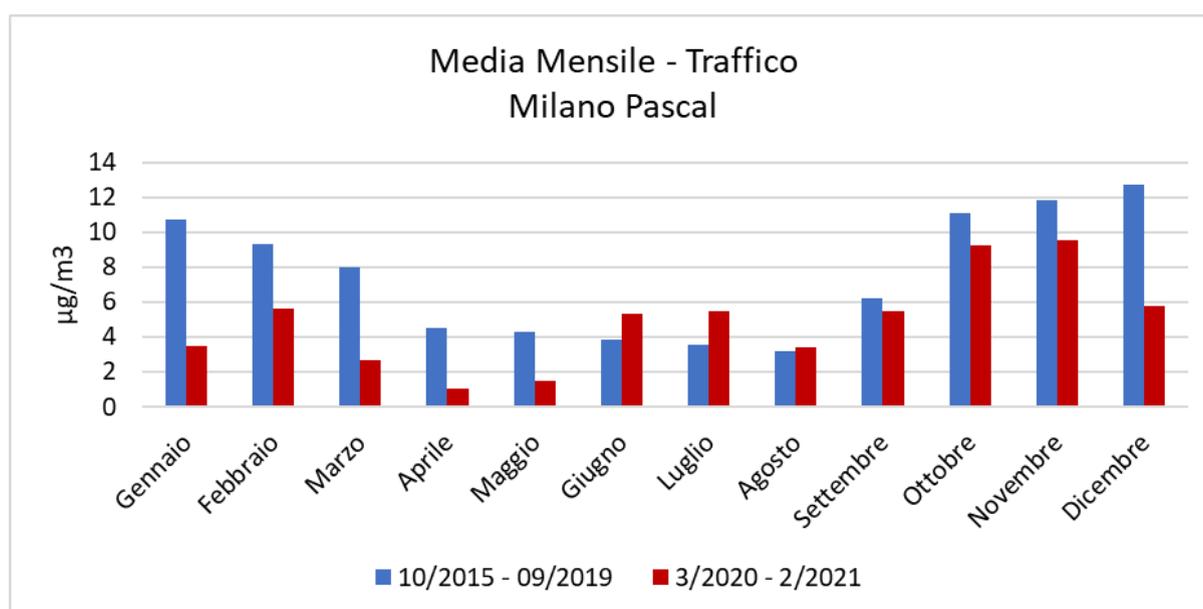
## Profilo chimico dei fattori individuati per il PM10

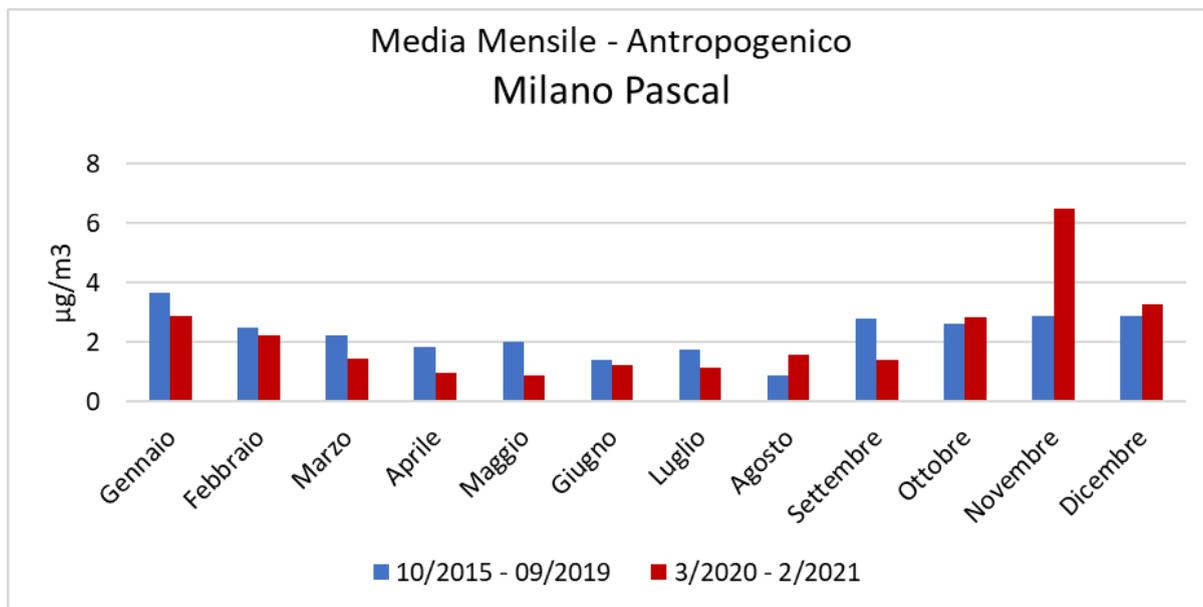
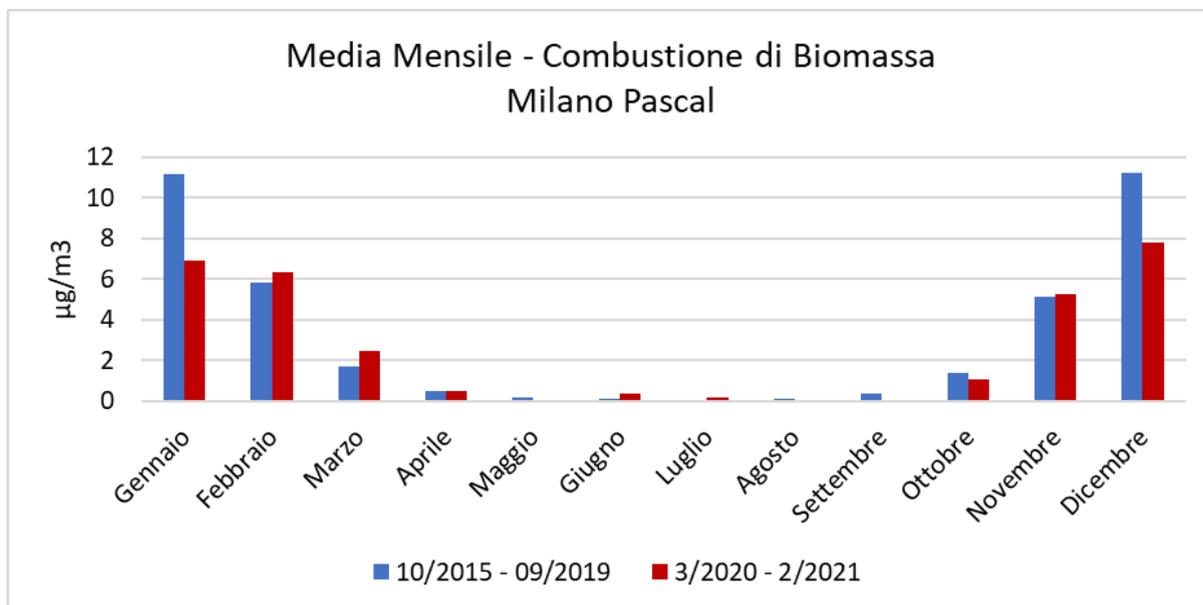


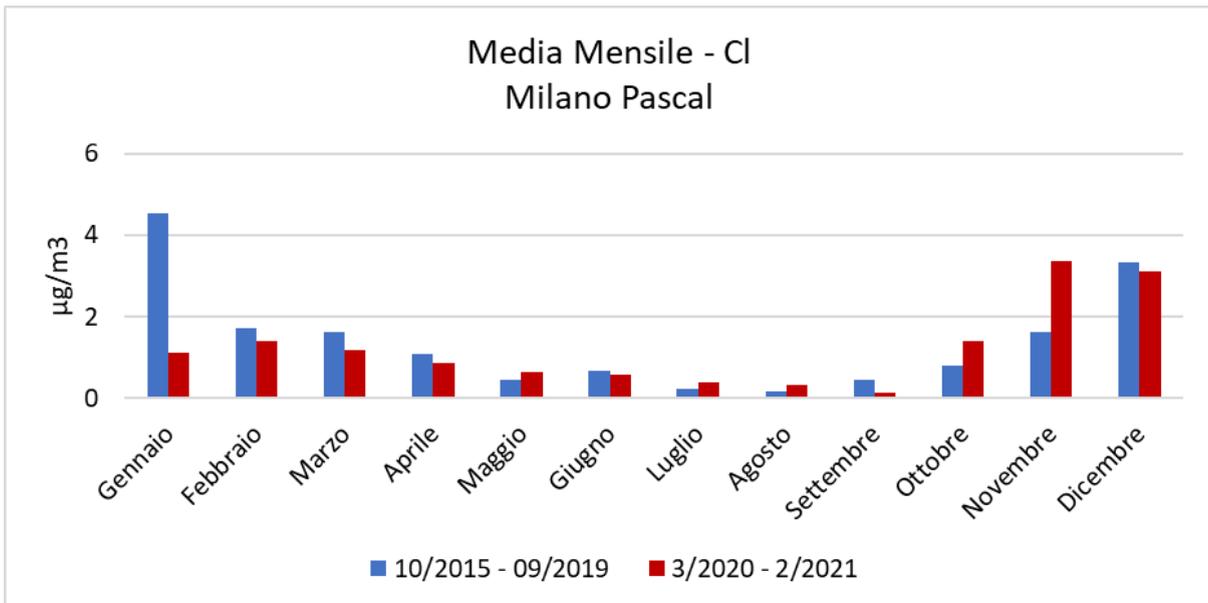
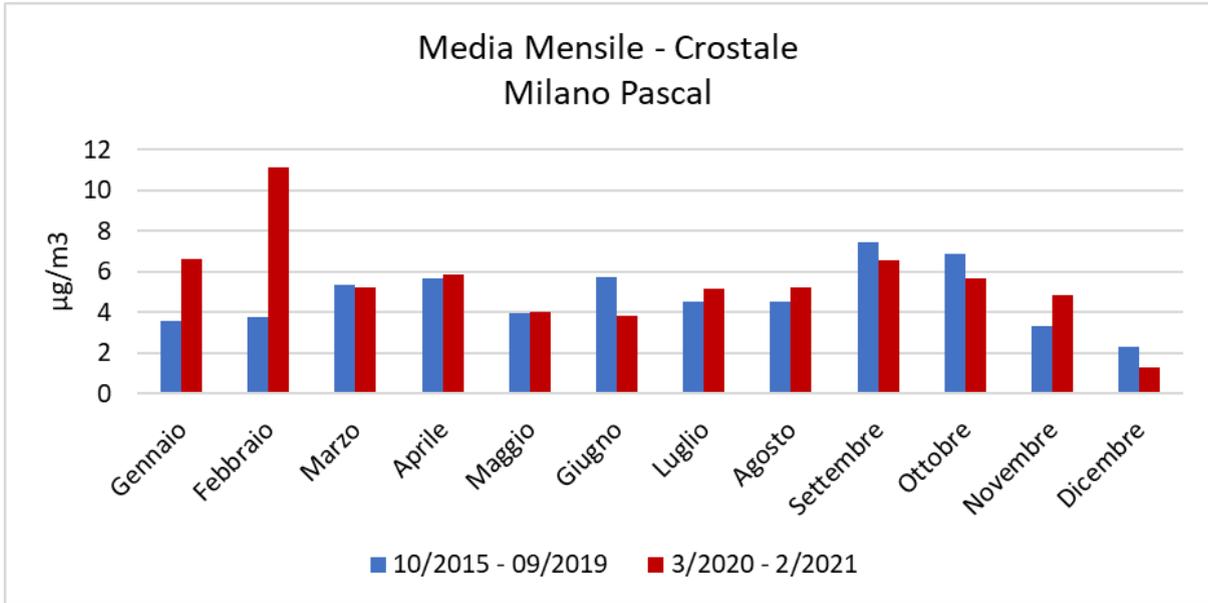
### Valori medi dei fattori individuati in ogni sito

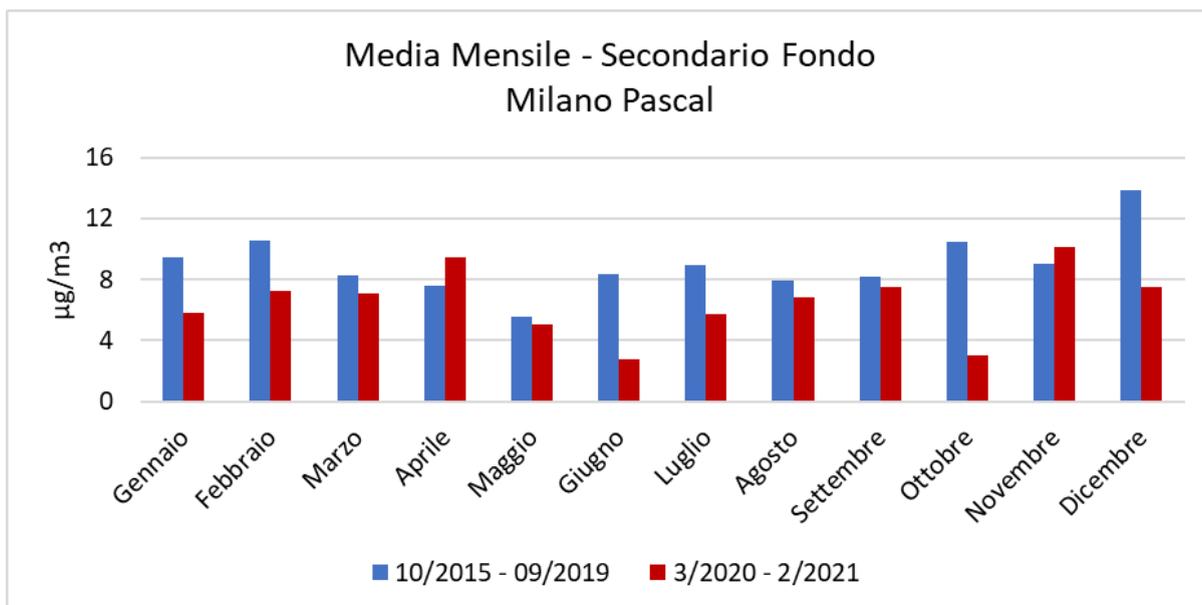
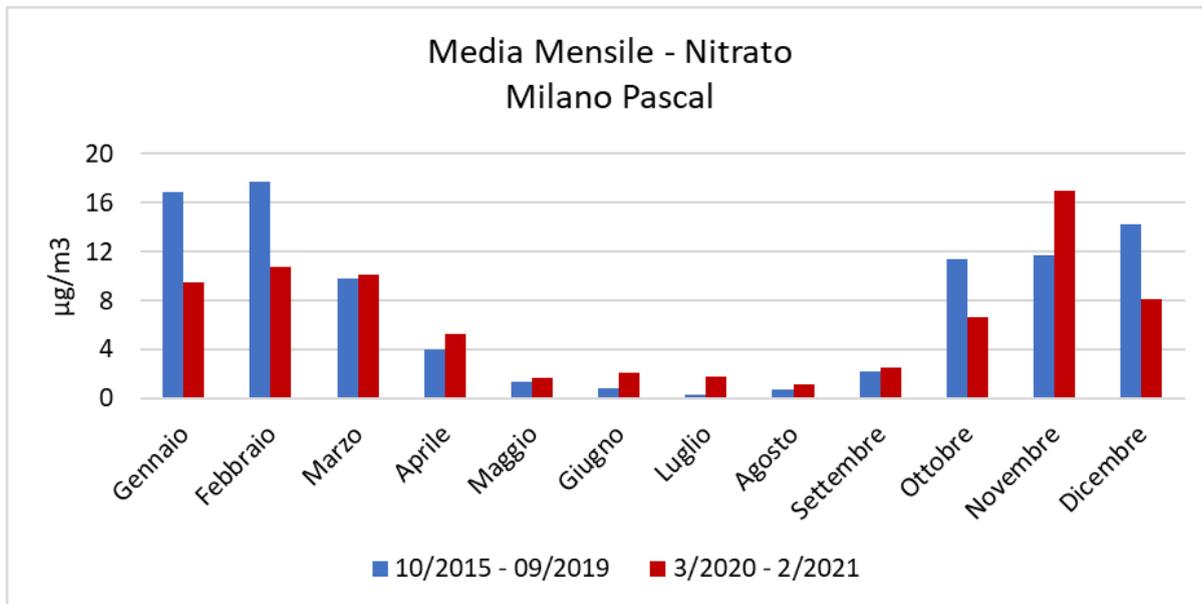
Anno	Traffico	Comb. biomassa	Antropogenico	Crostante	CI	Nitrato	Secondario Fondo
2016	8.3	2.6	2.4	4.1	1.1	6.5	9.6
2017	7.5	3.4	2.4	4.4	2.0	7.7	8.7
2018	7.4	3.5	2.5	6.0	1.4	8.6	8.7
2019	6.4	3.0	1.8	4.6	1.0	7.2	9.0
<b>2016-2019</b>	7.4	3.1	2.3	4.8	1.4	7.5	9.0
<b>2020</b>	4.9	2.6	2.2	5.4	1.2	6.3	6.5
<b>Diff.</b>	-2.6	-0.6	-0.1	0.6	-0.2	-1.2	-2.5
<b>Diff.%</b>	-35%	-18%	-4%	14%	-13%	-16%	-28%
Lockdown	Traffico	Comb. biomassa	Antropogenico	Crostante	CI	Nitrato	Secondario Fondo
2016	5.7	0.8	2.1	4.8	1.2	4.6	8.0
2017	6.4	0.9	2.3	5.6	1.0	5.4	6.5
2018	5.3	0.9	2.3	5.6	0.8	5.3	8.4
2019	5.1	0.7	1.4	4.1	1.2	5.0	5.7
<b>2016-2019</b>	5.6	0.8	2.0	5.0	1.0	5.1	7.1
<b>2020</b>	1.7	1.0	1.1	5.0	0.9	5.7	7.2
<b>Diff.</b>	-3.9	0.2	-0.9	0.0	-0.2	0.6	0.0
<b>Diff.%</b>	-69%	23%	-45%	0%	-16%	12%	0%

Media mensile dei diversi fattori in ogni sito nel periodo successivo all'inizio della pandemia (03/2020-03/2021) e nel periodo di confronto (10/2015-10/2019).









## APPENDICE II - ANALISI DEI TREND TEMPORALI CON METODI DI MACHINE LEARNING, (Random Forest - RF)

R<sup>2</sup> del modello per le specie chimiche del PM2.5 dei siti dell'Emilia-Romagna.

	PM2.5	OC	EC	Levo	Na <sup>+</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Ca <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup>	Br <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>
BO	0.65	0.72	0.71	0.65	0.61	0.58	0.64	0.48	0.51	0.61	-0.02	0.58	0.41	0.4
PR	0.64	0.67	0.67	0.63	0.27	0.55	0.61	0.24	0.38	0.44	0.01	0.6	0.35	0.31
RN	0.63	0.65	0.7	0.67	0.18	0.48	0.58	0.26	0.25	0.51	-0.04	0.54	0.38	0.18
SPC	0.59	0.61	0.64	0.6	-0.09	0.5	0.58	0.36	0.41	0.57	-0.08	0.55	0.34	0.26

	Al	As	Cr	Fe	Mn	Ni	V	Zn	Cd	Pb	Sn	Sb	Ba	La
BO	0.13	0.38	0.56	0.06	0.06	0.17	0.49	0.2	0.11	0.19	0.32	0	-0.01	0.09
PR	0.44	0.44	0.44	0.3	0.05	0.17	0.45	0.32	0.42	0.54	0.5	0.23	-0.03	0.08
RN	0.12	0.42	0.41	0.17	0.07	0.19	0.45	0.3	0.11	0.13	0.13	0.3	0.09	0.1
SPC	0.17	0.39	0.22	-0.06	0.06	-0.03	0.46	0.35	0.21	0.49	0.42	0.12	-0.03	0.01

R<sup>2</sup> del modello per le specie chimiche del PM10 dei siti di Milano.

	PM10	OCt	ECt	Levo	Na+	NH4+	K+	Mg2+	Ca2+	Cl-	Br-	NO3-	SO42-	PO43-
MIPSC	0.56	0.57	0.49	0.5	0.13	0.45	0.39	0.25	0.28	0.4	0.47	0.5	0.28	-0.11
MISE	0.69	0.54	0.56	0.54	0.33	0.39	0.07	0	0.33	0.26	0.28	0.41	0.32	0.03

	Al	Ti	Cr	Fe	Mn	Ni	V	Zn	Cl-	Pb	S	Ca	Cu	Manno
MIPSC	0.35	0.33	0.46	0.44	0.36	0.46	0.23	0.35	0.4	0.26	0.35	0.34	0.43	0.37
MISE	0.37	0.26	0.61	0.56	0.51	0.32	0.46	0.29	0.28	0.26	0.41	0.46	0.51	0.45

R<sup>2</sup> del modello per il BCff.

Bologna	Bolzano	Domodossola	Torino	Trento
0.58	0.62	0.62	0.67	0.62

R<sup>2</sup> del modello per l'ammoniaca.

Sannazzaro de' Burgondi	Barletta	Bertonico	Corte de Cortesi	Colico	Cremona - via Gere Borghi	Cremona - via Fatebenefratelli	Roma - via Fermi
0.68	0.58	0.54	0.6	0.69	0.47	0.57	0.63
Torino	Roma Via Magna Grecia	Milano Pascal	Moggio	Monza	Pavia	Schivenoglia	San Pietro Capofiume
0.85	0.5	0.74	0.81	0.5	0.6	0.46	0.65

Variazione percentuale tra dato misurato e dato previsto dal modello, rispetto al dato previsto per tre siti urbani (BO, PR, RN) e un sito rurale (SP). Nella colonna *Mar-Mag* le variazioni relative al periodo di lockdown, nella colonna *Anno* quelle relative all'intero 2020.

[Tra parentesi quadre media massima e minima della differenza tra osservati e predetti negli anni precedenti alla pandemia]

Variazione tra previsto e misurato	BO		PR		RN		SP	
	<i>Mar-Mag</i>	<i>Anno</i>	<i>Mar-Mag</i>	<i>Anno</i>	<i>Mar-Mag</i>	<i>Anno</i>	<i>Mar-Mag</i>	<i>Anno</i>
OC	-1% [-22/8%]	2% [-15/4%]	-1% [-26/10%]	-1% [-17/6%]	-20% [-21/9%]	-15% [-12/1%]	-11% [-36/27%]	-12% [-32/12%]
EC	-36% [-26/25%]	-29% [-21/14%]	-48% [-22/22%]	-40% [-20/16%]	-45% [-25/27%]	-39% [-18/13%]	-44% [-26/28%]	-40% [-29/18%]
Levo	76% [-40/4%]	34% [-51/88%]	56% [-53/-15%]	27% [-50/105%]	6% [-39/-16%]	-22% [-40/129%]	16% [-58/19%]	2% [-58/49%]
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	3% [-53/18%]	6% [-41/15%]	-5% [-52/30%]	-7% [-36/10%]	-33% [-57/55%]	-25% [-27/13%]	5% [-41/30%]	3% [-28/27%]
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	-5% [-51/34%]	5% [-54/35%]	-22% [-54/24%]	-15% [-52/27%]	-54% [-55/-5%]	-21% [-48/26%]	-3% [-48/42%]	2% [-40/47%]
Vanadio	-72% [-47/41%]	-73% [-24/10%]	-81% [-65/58%]	-75% [-28/8%]	-80% [-42/38%]	-78% [-30/21%]	-69% [-46/45%]	-77% [-23/7%]