

CAMPAGNA DI MONITORAGGIO DELLA QUALITÀ DELL'ARIA

COMUNE DI LOMAGNA (LC)

15 febbraio 2018 – 15 marzo 2018

Autori:

Laura Carroccio
Anna De Martini

Campagna di Misura della Qualità dell’Aria

COMUNE DI LOMAGNA

Gestione e manutenzione tecnica della strumentazione:

Luca Vergani

Testo ed elaborazione dei dati:

Laura Carroccio, Anna De Martini

Attività analitica di laboratorio

Umberto Dal Santo, Eleonora Cuccia

Visto

Il Responsabile del CRMQA

Vorne Gianelle

Campagna di Misura della Qualità dell'Aria

COMUNE DI LOMAGNA

Introduzione	pag. 3
Misure e strumentazione	pag. 3
Gli inquinanti monitorati	pag. 4
Il particolato aerodisperso	pag. 4
Gli elementi	Pag. 5
Gli idrocarburi policiclici aromatici	Pag. 5
Normativa	pag. 6
Sito di Misura	pag. 8
Emissioni sul territorio	pag. 10
La situazione meteorologica	Pag. 14
Andamento degli inquinanti in fase particolato nel periodo di misura e confronto con i dati rilevati nelle postazioni fisse	pag. 18
Il PM10	pag. 18
Le sorgenti del particolato	pag. 22
Conclusioni	Pag. 31
Allegato 1. Dati INEMAR 2014	Pag. 32
Allegato 2. I comuni della fascia pedemontana di confronto	Pag. 34
Allegato 3. Concentrazioni medie giornaliere rilevate a Lomagna	Pag. 36

Introduzione

Su richiesta dell'Amministrazione comunale, il Centro Regionale di Monitoraggio della Qualità dell'Aria (CRMQA) di ARPA Lombardia ha svolto nel territorio di Lomagna una campagna di rilevamento della qualità dell'aria, per approfondire gli eventuali impatti dei contributi delle principali sorgenti emissive, in particolare della combustione della legna di cui si fa largo impiego nel comune, anche nel riscaldamento residenziale.

Il monitoraggio, pertanto, è stato rivolto al rilevamento del particolato aerodisperso per valutare sia i possibili legami tra la composizione del PM10 e alcuni traccianti delle combustioni di biomasse, sia eventuali anomalie nello stato di qualità dell'aria di Lomagna rispetto al contesto territoriale nonché, più in generale, rispetto alla realtà del bacino padano.

Per verificare l'incidenza delle differenti condizioni meteorologiche stagionali sulle concentrazioni del particolato aerodisperso, il campionamento è stato programmato in due periodi distinti dell'anno. Nel presente lavoro si discutono i risultati del periodo invernale svoltosi dal 15 febbraio al 15 marzo 2018.

Seguirà un altro lavoro con i risultati della fase estiva della campagna.

Misure e strumentazione

La misura del particolato atmosferico è stata effettuata mediante campionatore sequenziale dotato di apposita testa di prelievo per la frazione PM10. La concentrazione in massa del particolato atmosferico, raccolto su opportuni filtri, è stata determinata mediante metodo gravimetrico, descritto nella norma UNI EN 1234:2014 e indicato come riferimento dalla legislazione vigente (D. Lgs. 155/2010).

Inoltre, mediante lo spettrometro XRF (X-Ray Fluorescence) in dotazione ad ARPA Lombardia è stato possibile individuare nel PM10 la presenza, e relativa concentrazione, di alcuni elementi chimici con numero atomico $Z > 11$. La determinazione degli IPA è stata effettuata mediante cromatografia ionica ad alte prestazioni con detector sensibile all'assorbimento di radiazione visibile e ultravioletta (HPLC-UV-VI).

Il sito di misura prescelto rispetta i criteri di rappresentatività indicati per il posizionamento delle stazioni di rilevamento nell'Allegato III del D.lgs. 155/2010.

In particolare, in riferimento all'ubicazione su microscala del punto di monitoraggio, si stabilisce che:

- l'ingresso della sonda di prelievo deve essere libero da qualsiasi ostruzione per un angolo di almeno 270° e il campionatore deve essere posto a una distanza di alcuni metri rispetto edifici, balconi, alberi e altri ostacoli;
- il punto di ingresso della sonda di prelievo deve essere collocato ad un'altezza compresa tra 1.5 e 4 m sopra il livello del suolo;
- il punto di ingresso della sonda non deve essere posizionato nelle immediate vicinanze di fonti di emissione al fine di evitare l'aspirazione diretta di emissioni non disperse nell'aria ambiente.

Gli inquinanti che si trovano dispersi in atmosfera possono essere divisi schematicamente in due gruppi: inquinanti primari e inquinanti secondari. I primi sono emessi nell'atmosfera direttamente da sorgenti di emissione antropogeniche o naturali, mentre gli altri si formano in atmosfera in seguito a reazioni chimiche che coinvolgono altre specie siano esse primarie o secondarie.

Le concentrazioni di un inquinante primario dipendono significativamente dalla distanza tra il punto di misura e le sorgenti, mentre le concentrazioni di un inquinante secondario, essendo prodotto dai suoi precursori già dispersi nell'aria ambiente, risultano in genere diffuse in modo più omogeneo sul territorio.

Il particolato atmosferico aerodisperso

È costituito da una miscela di particelle allo stato solido o liquido, esclusa l'acqua, presenti in sospensione nell'aria per tempi sufficientemente lunghi da subire fenomeni di diffusione e trasporto. Tali particelle possono avere diverse caratteristiche chimico-fisiche e diverse dimensioni. Esse possono essere di origine primaria, cioè emesse direttamente in atmosfera da processi naturali o antropici, o secondaria, cioè formate in atmosfera a seguito di reazioni chimiche e fisiche. Le principali sorgenti naturali sono l'erosione e il successivo risollevarsi di polvere del suolo, incendi, pollini, spray marino, eruzioni vulcaniche; le sorgenti antropiche si possono ricondurre principalmente a processi di combustione (traffico autoveicolare, uso di combustibili, emissioni industriali); non vanno tuttavia trascurati i fenomeni di risospensione causati dalla circolazione dei veicoli, le attività di cantiere e alcune attività agricole.

La composizione delle particelle aerodisperse può essere molto varia; infatti si ha la presenza di particelle organiche primarie di vario tipo, particelle minerali cristalline, particelle metalliche, particelle biologiche; in atmosfera, a partire da precursori e inquinanti gassosi si ha la formazione di particelle secondarie, sia organiche che inorganiche. Anche il destino delle particelle in atmosfera è molto vario, in relazione alla loro dimensione e composizione; tuttavia il fenomeno di deposizione secca e umida sono quelli principali per la rimozione delle polveri aerodisperse.

Partendo dalla definizione di particella, ovvero un aggregato di molecole, anche eterogenee, in grado di mantenere le proprie caratteristiche fisiche e chimiche per un tempo sufficientemente lungo da poterle osservare e tale da consentire alle stesse di partecipare a processi fisici e/o chimici come entità a sé stanti, va sottolineato che esse possono avere dimensioni che variano anche di 5 ordini di grandezza (da 10 nm a 100 µm), così come forme diverse e per lo più irregolari. Al fine di valutare l'impatto del particolato sulla salute umana, è quindi necessario individuare uno o più sottoinsiemi di particelle che, in base alla loro dimensione, abbiano maggiore capacità di penetrazione nelle prime vie respiratorie (naso, faringe, laringe) piuttosto che nelle parti più profonde dell'apparato respiratorio (trachea, bronchi, alveoli polmonari). Per poter procedere alla classificazione in relazione alla dimensione è stato quindi necessario definire un diametro aerodinamico equivalente, ovvero il diametro di una particella sferica di densità unitaria che ha le stesse caratteristiche aerodinamiche (velocità di sedimentazione) della particella in esame.

Fatte le dovute premesse, considerata la normativa tecnica europea (UNI EN12341/2014), si definisce PM10 la frazione di particelle raccolte con strumentazione avente efficienza di selezione e raccolta stabilita dalla norma e pari al 50% a 10 µm (diametro aerodinamico). In modo del tutto analogo viene definito il PM2.5 (UNI EN12341/2014).

Gli elementi

Mediante lo spettrometro a raggi X di fluorescenza (XRF) in dotazione ad ARPA Lombardia è stato possibile determinare la presenza, e relativa concentrazione, dei seguenti elementi con numero atomico $Z > 11$ ¹: alluminio (Al), silicio (Si), zolfo (S), cloro (Cl), potassio (K), calcio (Ca), titanio (Ti), cromo (Cr), manganese (Mn), ferro (Fe), nichel (Ni), rame (Cu), zinco (Zn), bromo (Br), rubidio (Rb), piombo (Pb).

La composizione delle polveri può essere sensibilmente diversa a seconda del sito di campionamento e dipende strettamente dalla tipologia delle sorgenti di emissione.

Elementi come alluminio, calcio, ferro, silicio e titanio, con i loro principali ossidi, si trovano prevalentemente in particelle di grandi dimensioni e forme irregolari, provenienti dall'erosione della crosta terrestre.

Il ferro può avere origine, assieme al rame, allo zinco e altri metalli, anche dall'usura delle parti meccaniche dei mezzi di trasporto (a esempio i freni) e pertanto può essere associato alla sorgente traffico. Altri come potassio e rubidio possono avere origine sia minerale (crosta terrestre) sia da combustione di biomassa; nichel, cromo, zinco, piombo possono individuare la presenza di qualche industria.

Gli elementi citati e i loro composti si possono trovare in atmosfera, in fase particolata, essendo costituenti naturali della crosta terrestre. Le sorgenti antropiche, in prevalenza combustioni e processi industriali, possono alterare le loro normali concentrazioni in aria dovute a sorgenti naturali come le eruzioni vulcaniche, gli incendi boschivi, lo spray marino, l'erosione del vento e delle maree, etc., interferendo così nei processi in cui sono coinvolti.

Non esiste una definizione ufficiale di metallo leggero o pesante; spesso l'aggettivo pesante viene associato al concetto di tossicità anche se la densità non ha un legame diretto con effetti sul corpo umano. Metalli indicati come pesanti in relazione alla loro tossicità e bioaccumulazione sono, a esempio: mercurio, cromo, cadmio, arsenico, piombo e recentemente uranio. A volte, convenzionalmente, per metalli pesanti si intendono quelli che hanno una densità maggiore di 4,5 grammi per centimetro cubo come, ad esempio, arsenico, cadmio, cromo, mercurio, nichel, piombo, tallio, vanadio, etc.

La rilevanza ambientale legata ai metalli è la loro tendenza, comune agli inquinanti organici persistenti, di accumularsi all'interno di alcuni tessuti degli esseri viventi (bioaccumulo) determinando effetti negativi sulla salute. Oltre al piombo, i metalli più rappresentativi per il rischio ambientale a causa della loro tossicità sono il cadmio, il nichel e l'arsenico, classificati dalla IARC (Agenzia Internazionale di Ricerca sul Cancro) come cancerogeni per l'uomo. Per tali motivi la normativa vigente (D. Lgs. 155/2010) ha previsto un valore limite per il piombo e valori obiettivo per arsenico, cadmio e nichel.

Gli idrocarburi policiclici aromatici (IPA)

Sono idrocarburi aventi la struttura molecolare planare costituita da uno o più anelli di 6 atomi di carbonio e con atomi di idrogeno che saturano i legami rimasti disponibili. Ai fini della qualità dell'aria sono evidenziati e trattati per il loro impatto sanitario. I principali idrocarburi considerati nel campo dell'inquinamento atmosferico sono i 7 IPA citati dal D.lgs. 155/10: benzo(a)pirene, benzo(a)antracene, benzo(b)fluorantene, benzo(j)fluorantene, benzo(k)fluorantene, indeno(1,2,3-cd)pirene, dibenzo(a,h)antracene. Questi IPA sono presenti in atmosfera per lo più in fase particolato alle basse temperature invernali, mentre nei periodi più caldi dell'anno può diventare prevalente la fase gassosa e comunque sono soggetti a degradazione

¹ Z è il numero atomico, che indica il numero di protoni all'interno di un atomo. Lo spettrometro a fluorescenza X utilizzato permette una quantificazione attendibile, in tempi ragionevoli, di elementi con $Z > 11$.

fotochimica. La loro presenza comporta un potenziale rischio per la salute umana: sotto il profilo tossicologico, le osservazioni sperimentali indicano che la condizione necessaria, ma non sufficiente, per la cancerogenicità degli IPA è una struttura in cui vi siano almeno quattro anelli condensati.

La loro origine è associata a combustioni in genere di idrocarburi composti da lunghe catene di atomi di carbonio, in particolare se avvengono in condizioni non ottimali. Le principali sorgenti sono quindi da identificarsi nel traffico autoveicolare, nelle combustioni di biomasse e in diverse attività industriali (fonderie, acciaierie, ecc.). In particolare, il più noto idrocarburo appartenente a questa classe è il benzo(a)pirene, B(a)P, classificato dallo IARC come cancerogeno per l'uomo.



Benzo(a)Pirene
C₂₀H₁₂

Figura 1. I cinque anelli aromatici benzenici del benzo(a)pirene.

Nella Tabella 1 sono riassunte, per ciascuno degli inquinanti atmosferici misurati, le principali sorgenti di emissione.

Tabella 1. Sorgenti emissive degli inquinanti misurati in campagna.

Inquinanti	Principali sorgenti di emissione
Particolato Fine*/** PM10	È prodotto principalmente da combustioni e per azioni meccaniche (erosione, attrito, ecc.) ma anche per processi chimico-fisici che avvengono in atmosfera a partire da precursori anche in fase gassosa.
Idrocarburi non Metanici* (IPA, Benzene)	Traffico autoveicolare (processi di combustione incompleta, in particolare di combustibili derivati dal petrolio), evaporazione dei carburanti, alcuni processi industriali

* = Inquinante Primario (generato da emissioni dirette in atmosfera dovute a fonti naturali e/o antropogeniche)

** = Inquinante Secondario (prodotto in atmosfera attraverso reazioni chimiche)

Normativa

Il Decreto Legislativo n. 155 del 13/08/2010 recepisce la Direttiva Europea 2008/50/CE istituendo un quadro normativo unitario in materia di valutazione e gestione della qualità dell'aria.

Al fine di salvaguardare la salute umana e l'ambiente, stabilisce limiti di concentrazione, a lungo e a breve termine, a cui attenersi.

Per valore limite si intende il livello di un inquinante, ovvero la concentrazione, fissato in base alle conoscenze scientifiche al fine di evitare, prevenire o ridurre gli effetti nocivi per la salute umana o per l'ambiente nel suo complesso e che non deve essere superato.

Il valore obiettivo è il livello fissato per evitare, prevenire o ridurre gli effetti nocivi per la salute umana o per l'ambiente nel suo complesso da conseguire, ove possibile, entro una data prestabilita.

La Tabella 2 riassume i limiti previsti dalla normativa per il PM10 e gli inquinanti rilevati nella campagna di monitoraggio: da questa si capisce che per alcuni inquinanti non è possibile esprimersi formalmente sul superamento di valori limite/obiettivo con campagne di breve durata, essendo questi riferiti a medie annuali. Tuttavia, il confronto tra quanto rilevato nella campagna e quanto misurato con continuità da anni nelle diverse stazioni fisse della RRQA consente di valutare le differenze tra i siti e quindi la probabilità di superamento anche dei valori limiti annuali.

Tabella 2. Valori limite e obiettivo degli inquinanti esaminati secondo il D.lgs. 155/10.

Particolato	Valore limite ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Periodo di mediazione
PM10	Valore limite protezione salute umana (da non superare più di 35 volte per anno civile) 50	24 ore
	Valore limite protezione salute umana 40	Anno civile
Metalli	Valore limite (ng/m^3)	Periodo di mediazione
Nichel	Valore obiettivo protezione salute umana 20	Anno civile
Piombo	Valore limite protezione salute umana 500	Anno civile
IPA	Valore limite (ng/m^3)	Periodo di mediazione
Benzo(a)pirene	Valore obiettivo protezione salute umana 1	Anno civile

Campagna di Misura Sito di Misura

Il comune di Lomagna presenta un profilo altimetrico quasi pianeggiante. Sorge in Brianza, ai margini del Parco regionale di Montevecchia e della Valle del Curone, all'estremo meridione della provincia di Lecco al confine con quella di Monza e Brianza.

L'economia si basa principalmente sull'industria, che è molto sviluppata soprattutto nel comparto metallurgico ed in quello chimico. In misura minore sono presenti anche fabbriche che operano nel comparto tessile, cartario, edile e della fabbricazione di cicli e motocicli.

I collegamenti stradali vengono assicurati dalla strada statale n. 342 diramazione Briantea, che corre a un chilometro dal centro abitato.

Relativamente alla zonizzazione del territorio ai sensi dell'art. 3 del D.lgs. 155/10, il comune di Lomagna ricade nell'Agglomerato di Milano.

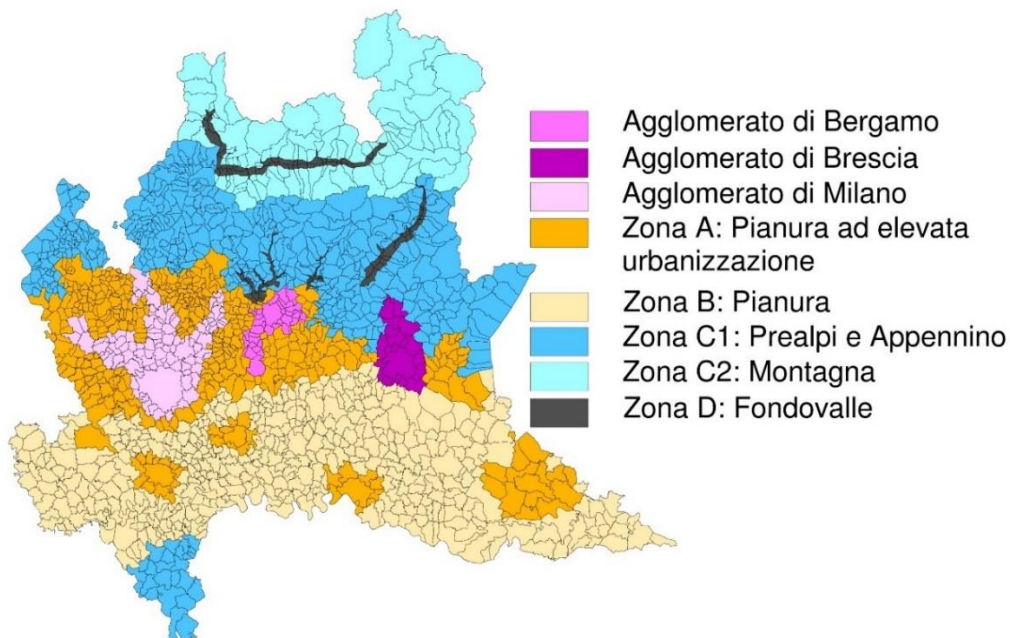


Figura 2. Zonizzazione del territorio ai sensi dell'art. 3 del D.Lgs. 155/10.

La scelta del sito di misura all'interno del territorio comunale è stata fatta cercando di rispettare determinati criteri. Prima di tutto bisogna tenere conto di qual è lo scopo della campagna che si deve effettuare, cioè quali inquinanti e sorgenti si intendono monitorare e quali sono i ricettori da considerare. Individuata la zona si deve verificare quali posizioni rispondono alle necessità dettate dalla normativa (Allegato III del D.lgs. 155/10 riguardo all'ubicazione delle stazioni di misura) e dalla logistica (spazi e alimentazione per gli strumenti, accessibilità, etc.). Infine, è importante che il luogo individuato rispetti tutte le norme di sicurezza, sia per le persone che per gli strumenti. Tenuto conto di quanto detto e delle finalità del campionamento, il campionario sequenziale è stato posizionato all'interno dell'area verde di pertinenza della scuola primaria A. Volta di via Matteotti, in una zona residenziale lontana da fonti emittive dirette (Latitudine: 45°40'1.16"N, Longitudine: 9°22'25.99"E).



Figura 3. Lomagna. Posizione del campionatore sequenziale nel centro abitato.



Vista verso Est



Vista verso Nord



Vista verso Ovest



Vista verso Sud

Figura 4. Lomagna. Viste dal campionatore sequenziale all'interno dell'area della scuola A. Volta.

Emissioni sul territorio

Per la stima delle principali sorgenti emissive sul territorio è stato utilizzato l'inventario regionale delle emissioni INEMAR (INventario EMissioni ARia), nella sua versione più recente "Inventario 2014".

L'inventario INEMAR, seguendo le impostazioni derivanti dalle esperienze nazionali e internazionali, è realizzato in base alle informazioni bibliografiche e tramite la partecipazione ai gruppi di coordinamento nazionali e internazionali. Le stime delle emissioni in atmosfera sono tipicamente soggette a incertezze, dovute a numerose cause distribuite lungo tutta la procedura di stima. In particolare, un inventario regionale, per sua natura, non può considerare tutte le specificità locali e può soffrire di una incompleta qualità delle informazioni statistiche disponibili, inoltre, il soggetto delle emissioni è in continuo "movimento" cioè in trasformazione.

L'inventario INEMAR fornisce dunque una "fotografia" delle emissioni e va considerato come un "database anagrafico" delle sorgenti presenti sul territorio con relativa stima delle quantità emesse.

Pertanto, non può essere utilizzato come un puro e unico indicatore della qualità dell'aria di una specifica zona, in quanto non può tenere conto dell'interazione che le sostanze emesse possono avere con l'atmosfera, la meteorologia o l'orografia del territorio. In particolare, il vento, la pioggia, etc. trasportano, disperdono o depositano gli inquinanti emessi alla fonte in tutto il territorio circostante, così che la qualità dell'aria di un sito dipende non solo dalle sorgenti locali ma dall'insieme degli inquinanti emessi in tutto il bacino aereografico e dalle loro interazioni.

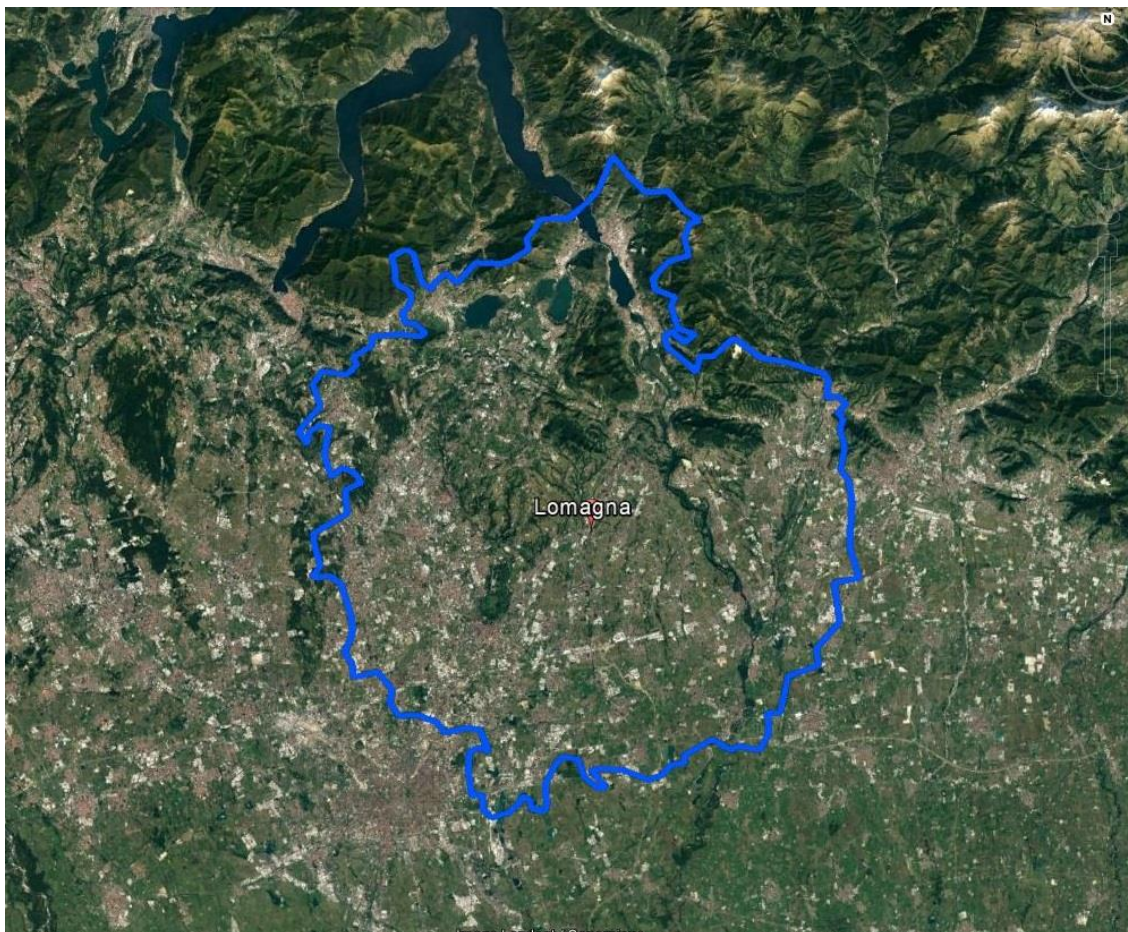


Figura 5. Bacino aereografico di Lomagna.

Per bacino aereografico si intende la porzione di territorio le cui emissioni possono incidere sulla qualità dell'aria del sito considerato ed è qui individuato dall'insieme dei comuni ricadenti entro una distanza di circa 20 km dal comune oggetto di studio, in relazione all'orografia del territorio.

Nel caso specifico di Lomagna la presenza di una vasta area montuosa poco urbanizzata determina un bacino irregolare verso Nord Est.

Tabella 3. I comuni del bacino aereografico di Lomagna.

Agrate Brianza	Busnago	Cremella	Merone	Roncello
Aicurzio	Bussero	Curno	Mezzago	Ronco Briantino
Airuno	Cabiate	Cusano Milanino	Missaglia	Rovagnate
Albate	Calco	Dalmine	Molteno	Santa Maria Hoè
Almè	Calolziocorte	Desio	Monguzzo	Segrate
Almenno San Bartolomeo	Calusco d'Adda	Dolzago	Monte Marengo	Seregno
Almenno San Salvatore	Cambiago	Ello	Montevecchia	Sesto San Giovanni
Alserio	Camparada	Erba	Monticello Brianza	Seveso
Alzate Brianza	Canonica d'Adda	Eupilio	Monza	Sirone
Ambivere	Cantù	Fara Gera d'Adda	Mozzo	Sirtori
Annone di Brianza	Caponago	Figino Serenza	Muggiò	Solza
Anzano del Parco	Capriate San Gervasio	Filago	Nibionno	Sotto il Monte Giovanni XXIII
Arcore	Caprino Bergamasco	Galbiate	Nova Milanese	Sovico
Arosio	Carate Brianza	Garbagnate Monastero	Novedrate	Suello
Barlassina	Carnate	Garlate	Oggiono	Suisio
Barzago	Carugate	Gessate	Olgiate Molgora	Sulbiate
Barzana	Carugo	Giussano	Olginiate	Terno d'Isola
Barzanò	Carvico	Gorgonzola	Ornago	Treviolo
Basiano	Casatenovo	Grezzago	Orsenigo	Trezzano Rosa
Bellinzago Lombardo	Cassago Brianza	Imbersago	Osio Sopra	Trezzano sull'Adda
Bellusco	Cassano d'Adda	Inverigo	Osio Sotto	Triuggio
Bernareggio	Cassina de' Pecchi	Inzago	Osnago	Usmate Velate
Besana in Brianza	Castello di Brianza	Lallio	Paderno d'Adda	Valbrembo
Biassono	Cavenago di Brianza	Lambrugo	Paderno Dugnano	Valgrehentino
Boltiere	Cernusco Lombardone	Lesmo	Paladina	Valmadrera
Bonate Sopra	Cernusco sul Naviglio	Levate	Palazzago	Vaprio d'Adda
Bonate Sotto	Cesana Brianza	Lissone	Perego	Varedo
Bosisio Parini	Cesano Maderno	Longone al Segrino	Pescate	Vedano al Lambro
Bottanuco	Chignolo d'Isola	Lurago d'Erba	Pessano con Bornago	Veduggio con Colzano
Bovisio-Masciago	Cinisello Balsamo	Macherio	Pioltello	Verano Brianza
Brembate	Cisano Bergamasco	Madone	Ponte San Pietro	Vercurago
Brembate di Sopra	Ciserano	Malgrate	Pontida	Verdellino
Brenna	Civate	Mapello	Pontirolo Nuovo	Verderio Inferiore
Bresso	Colle Brianza	Mariano Comense	Pozzo d'Adda	Verderio Superiore
Briosco	Cologno Monzese	Masate	Pozzuolo Martesana	Viganò
Brivio	Concorezzo	Meda	Presezzo	Vignate
Brugherio	Cornate d'Adda	Medolago	Pusiano	Villa d'Adda
Bulciago	Correzzana	Melzo	Renate	Villasanta
Burago di Molgora	Costa Masnaga	Merate	Robbiate	Vimercate
			Rogeno	Vimodrone

Nell'ambito dell'inventario INEMAR la suddivisione delle sorgenti avviene per attività emmissive. La classificazione utilizzata fa riferimento ai macrosettori definiti secondo la metodologia CORINAIR (CORE INventory of AIR emissions) dell'Agenzia Europea per l'Ambiente:

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

Maggiori informazioni e una descrizione più dettagliata in merito all'inventario regionale sono disponibili sul sito web <http://www.inemar.eu/xwiki/bin/view/Inemar/WebHome>.

Considerati i motivi sopra esposti, per avere un'idea del carico emissivo a cui è soggetto il comune di Lomagna è stata considerata la stima del carico emissivo complessivo dell'intero bacino aereografico per i soli inquinanti di interesse nel presente studio:

- Particolato atmosferico (PM10)
- IPA-CLRTP¹ (Convention on Long Range Transport of Air Pollution), B(a)P
- Cr, Ni, Zn, Pb e Cu

I dati sono riportati in tabella 4.

Tabella 4. Stima delle emissioni assolute annue per ciascun inquinante.

INEMAR 2014	PM10	IPA-CLRTP	BaP	Ni	Zn	Pb	Cr	Cu
	t/anno	kg/anno	kg/anno	kg/anno	kg/anno	kg/anno	kg/anno	kg/anno
carico emissivo stimato del bacino aereografico	2510	1045	334	635	10397	3526	3421	9528

Per completezza di informazione, le tabelle con i contributi assoluti e percentuali dei macrosettori al carico emissivo totale dei singoli inquinanti sia per il comune di Lomagna che per l'intero bacino aereografico sono riportate nell'Allegato 1.

1. Gli IPA-CLRTP (o IPA-4) fanno riferimento alla convenzione internazionale sull'inquinamento atmosferico transfrontaliero a lunga distanza nella quale si considera la somma dei seguenti quattro idrocarburi: benzo(b)fluorantene, benzo(k)fluorantene, benzo(a)pirene, indeno(1,2,3-cd)pirene.

Per comprendere se le emissioni stimate per il bacino aerografico sono elevate o meno, si è fatto un confronto con quelle della fascia di territorio larga circa 15-20 Km omogenea al bacino considerato dal punto di vista orografico, vedi figura 6. Lomagna si trova infatti in una fascia di transizione tra la zona di pianura e quella montuosa della Lombardia. I comuni della fascia pedemontana ed i relativi carichi emissivi assoluti e percentuali sono riportati nell'Allegato 2.

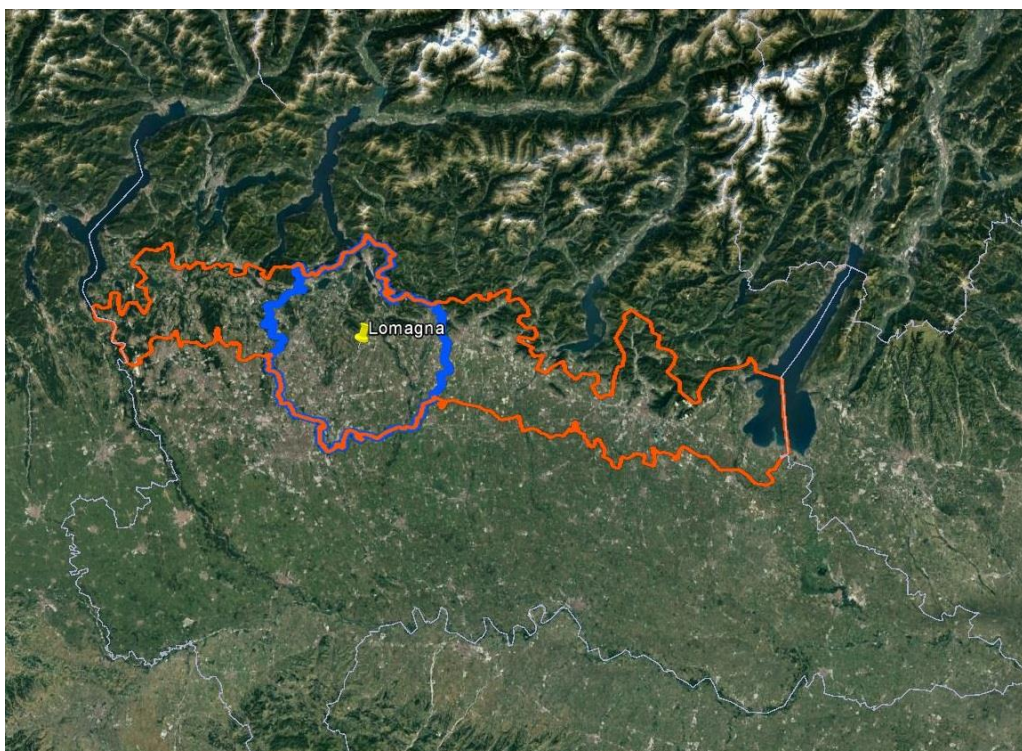


Figura 6. Bacino aerografico di Lomagna e fascia territoriale con orografia simile.

Infatti, il confronto tra le emissioni dei due contesti territoriali può essere effettuato se si considerano le emissioni specifiche, ovvero le emissioni rapportate all'unità di superficie e/o al numero di abitanti. Effettuando il rapporto tra il carico emissivo assoluto ed i parametri sopra riportati è possibile ricavare delle emissioni specifiche per abitante e per Km². Nel grafico seguente vengono esplicitati i rapporti tra le emissioni specifiche dell'intero bacino aerografico e quelle della fascia. Risulta che le specifiche sono confrontabili indicando pressioni antropiche confrontabili sul tutto l'ampio territorio considerato.

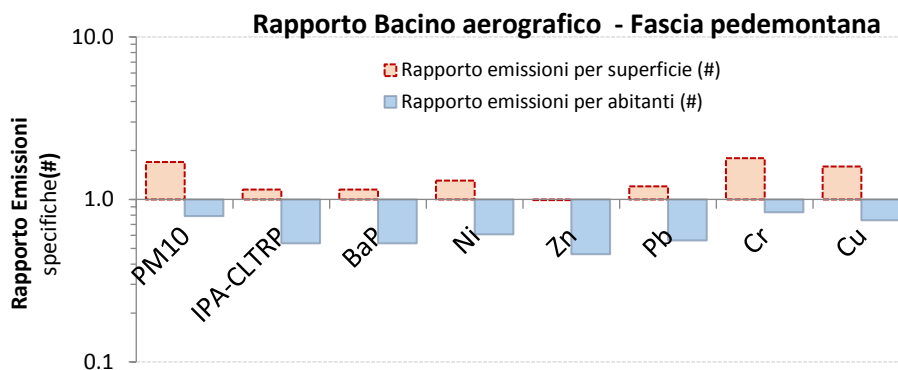


Figura 7. Rapporto tra le emissioni specifiche per km² e per abitante del bacino aerografico e della fascia pedemontana.

Tutto ciò non comporta direttamente che la qualità dell'aria del bacino aerografico di Lomagna sia migliore/peggiore rispetto a quella del resto della Lombardia. Infatti, gli inquinanti subiscono il fenomeno della diffusione, trasporto e di trasformazione fisico-chimica in atmosfera così da avere un potenziale impatto non esclusivamente nei punti o nelle aree in cui vengono emessi ma anche nelle aree circostanti, distanti anche alcuni chilometri, in relazione alle caratteristiche orografiche e meteo-climatiche della regione.

Quanto le emissioni e la meteorologia effettivamente influiscano sulla qualità dell'aria di Lomagna è oggetto dell'analisi delle misure degli inquinanti (immissioni) effettuate sul territorio, esposte nel paragrafo "Andamento inquinanti in fase particolato nel periodo di misura e confronto con i dati rilevati da postazioni fisse".

Situazione meteorologica nel periodo di misura

I livelli di concentrazione degli inquinanti atmosferici in un sito dipendono, come è evidente, dalla quantità e dalle modalità di emissione degli inquinanti stessi nell'area, mentre le condizioni meteorologiche influiscono sia sulle condizioni di dispersione e di accumulo degli inquinanti sia sulla formazione di alcune sostanze nell'atmosfera stessa. È pertanto importante che i livelli di concentrazione osservati, soprattutto durante una campagna di breve durata, siano valutati alla luce delle condizioni meteorologiche verificatesi nel periodo del monitoraggio.

Si discutono nel seguito le condizioni meteorologiche nel periodo di monitoraggio. Non essendo stati rilevati a Lomagna i parametri meteo, quelli ritenuti più rappresentativi per il sito di monitoraggio sono stati misurati nelle seguenti postazioni ARPA:

- Temperatura (°C), Intensità della radiazione solare globale (W/m²) e direzione del vento a Casatenovo
- Precipitazione (mm) e Pressione Atmosferica (hPa) a Osnago
- Velocità (m/s) a Montevicchia

Fase invernale

Condizioni di stabilità atmosferica, interrotta a tratti da perturbazioni di lieve intensità e breve durata non hanno favorito la dispersione delle polveri. Dopo un graduale abbassamento della pressione atmosferica protrattosi fino al 7 marzo si è assistito ad una rapida ripresa interrotta g. 11 da una perturbazione.

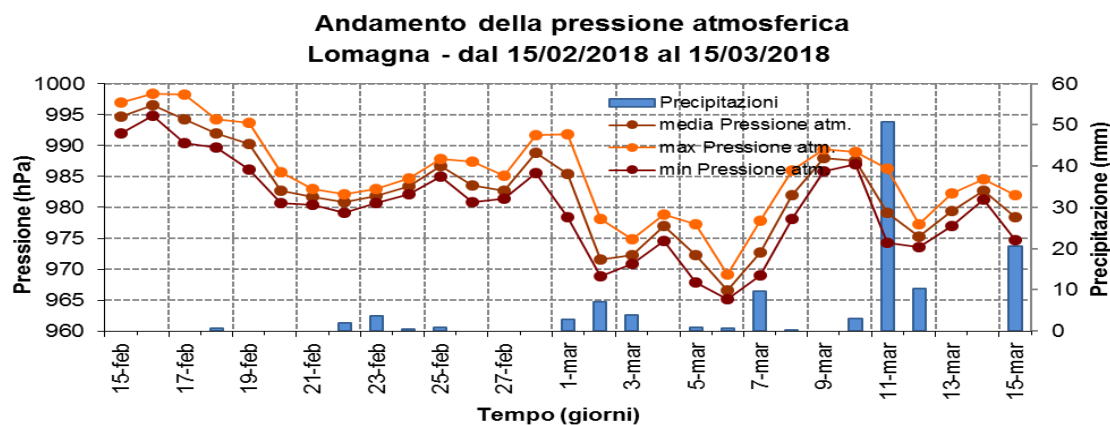


Figura 8. Pressione atmosferica e precipitazione nella fase estiva.

Le temperature medie dell'aria si sono mantenute basse e prossime allo 0 °C fino alla prima settimana di marzo. Successivamente si è registrato un graduale aumento con lievi abbassamenti e minore sbalzo termico giornaliero durante gli episodi di instabilità.

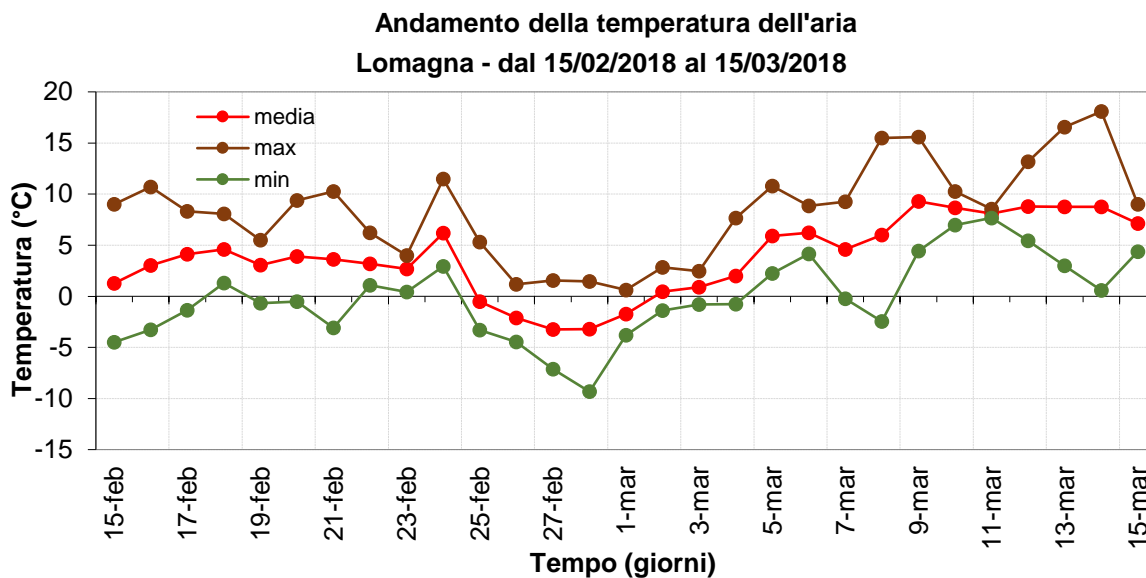


Figura 9. Temperatura dell'aria.

Durante tutta la campagna si è avuta una pressoché permanente copertura nuvolosa, più accentuata durante le giornate di pioggia.

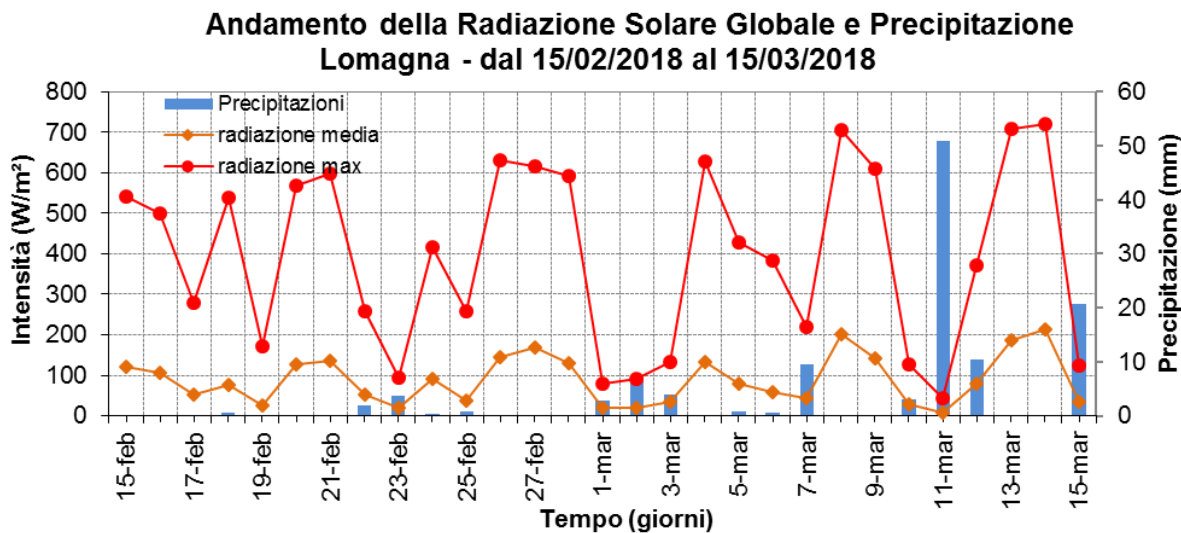


Figura 10. Radiazione solare e precipitazione.

I venti sono stati prevalentemente deboli con maggiori rialzi nell'ultima settimana di febbraio e il 14-15 marzo. Nel giorno di massima ventilazione, il 25 febbraio, i venti sono stati prevalentemente da SE.

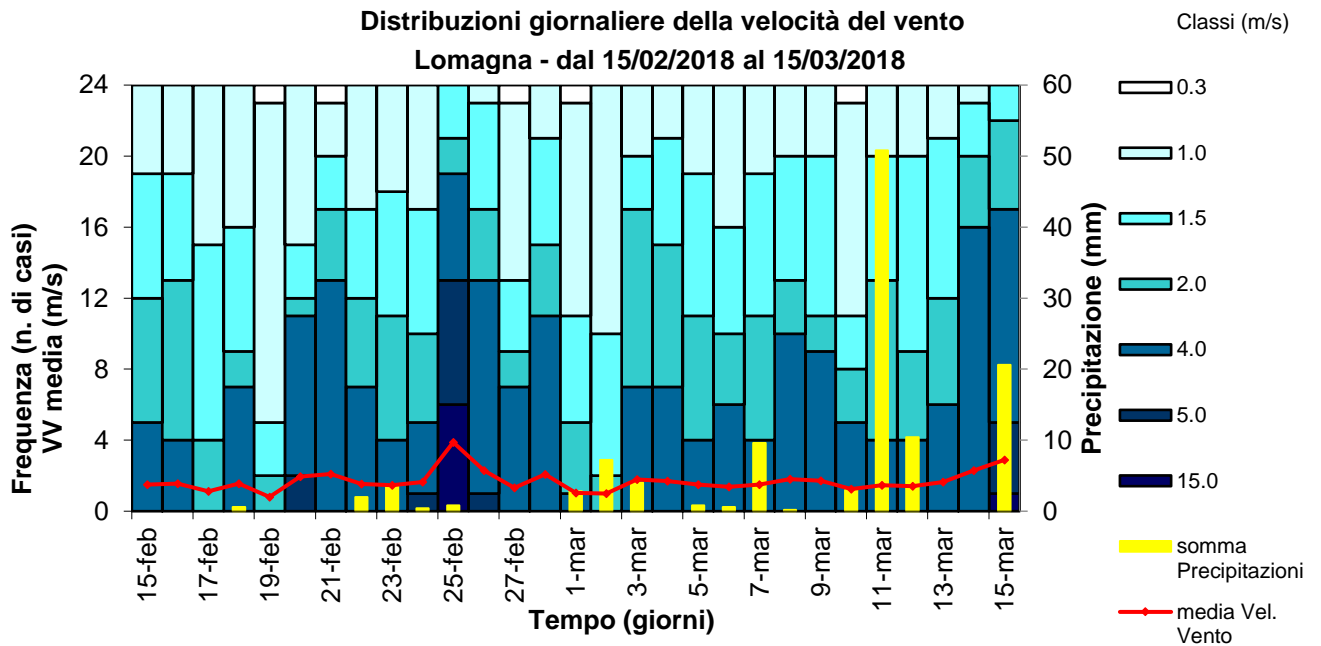


Figura 11. Distribuzione giornaliera della velocità del vento e della precipitazione.

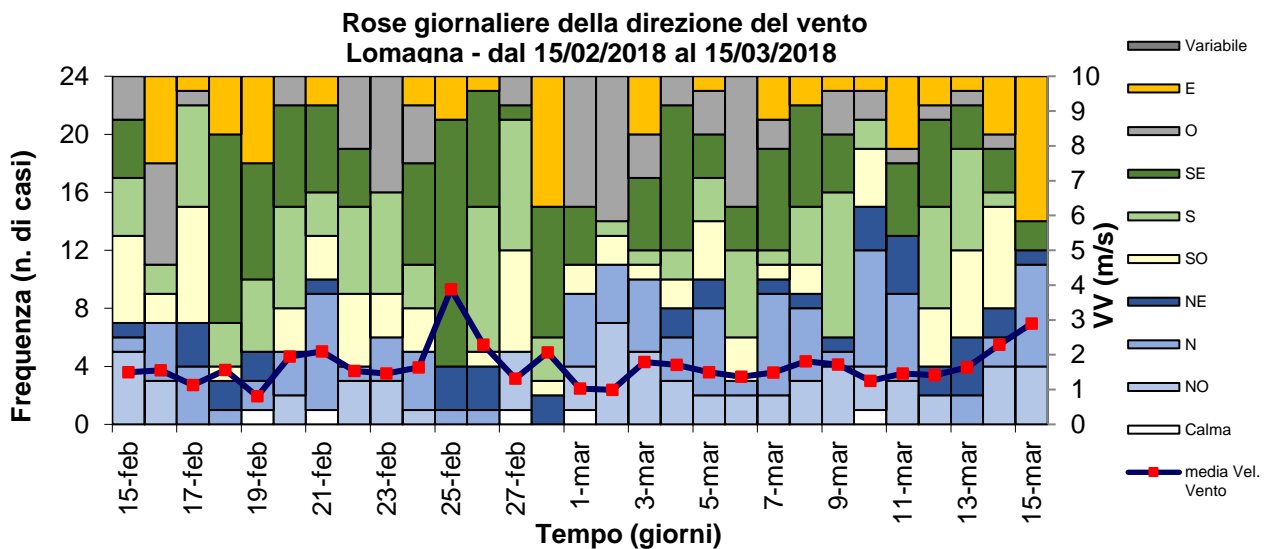


Figura 12. Rosa giornaliera del vento.

Nei restanti giorni di campagna ha prevalso il regime di brezza dai quadranti meridionali nelle ore centrali della giornata e da quelli settentrionali durante le ore notturne. (Figure 13 e 14).

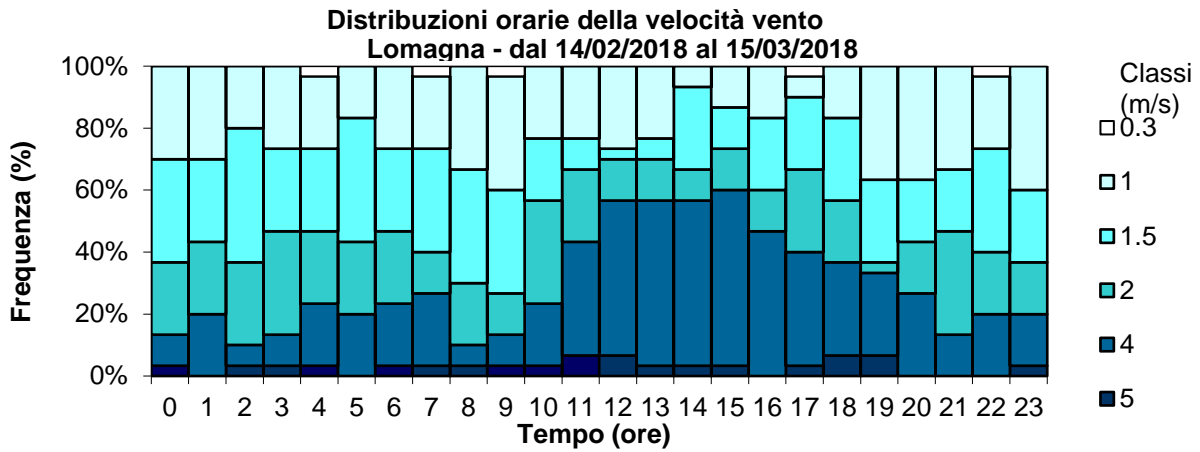


Figura 13. Distribuzione oraria della velocità del vento.

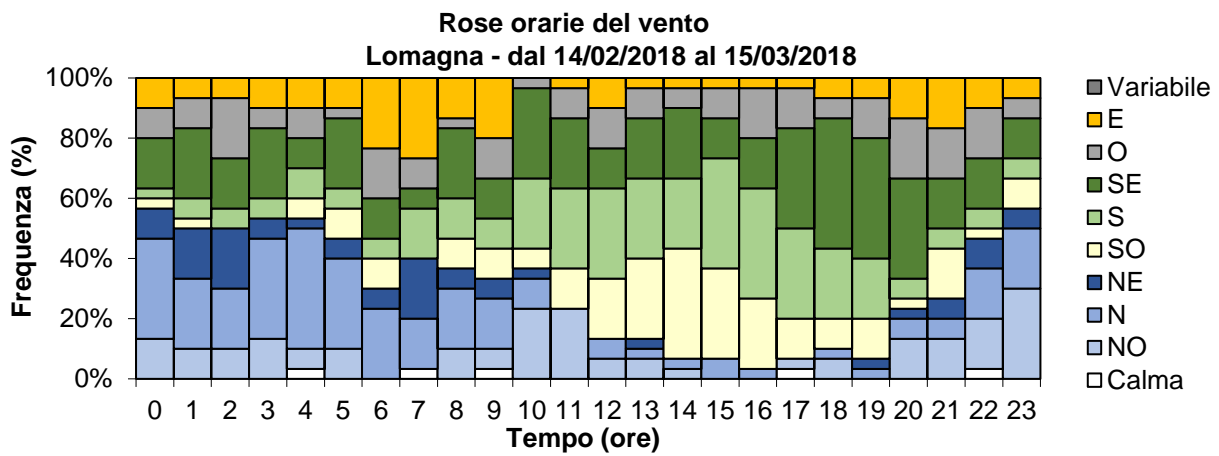


Figura 14. Distribuzione oraria della direzione del vento.

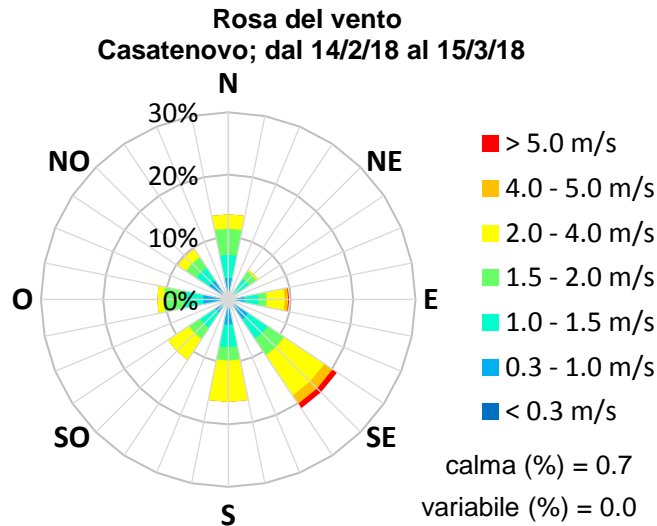


Figura 15. Distribuzione oraria della direzione del vento.

Le precipitazioni, anche se frequenti, sono state di debole intensità (5-20 mm/24h); solo l'11 marzo le piogge sono state più abbondanti, poiché di più lunga durata.

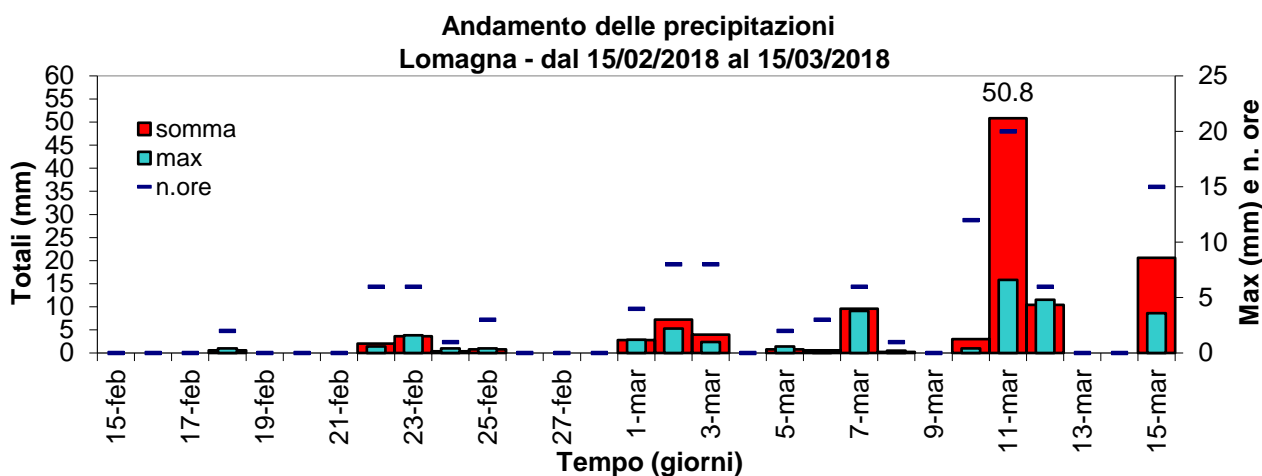


Figura 16. Andamento giornaliero delle precipitazioni.

Andamento inquinanti in fase particolato nel periodo di misura e confronto con i dati rilevati da postazioni fisse

Il PM10

In campagna è stato monitorato il PM10 per determinarne la speciazione.

Dato che, come già descritto in precedenza, il particolato ha fonti primarie ma anche formazione secondaria e poiché i livelli di concentrazione degli inquinanti in atmosfera dipendono fortemente dalle differenti sorgenti emissive, durante il periodo di misura, ma anche dalle condizioni meteorologiche verificatesi, è importante confrontare i dati misurati con quelli rilevati nello stesso periodo dalle stazioni fisse della Rete di Rilevamento della Qualità dell'Aria (RRQA).

Generalmente, un maggior irraggiamento solare produce un maggior riscaldamento della superficie terrestre e di conseguenza un aumento della temperatura dell'aria a contatto con essa. Questo instaura moti convettivi nel primo strato di atmosfera (PBL) che hanno il duplice effetto di rimescolare le sostanze in esso presenti e di innalzare lo strato stesso. Conseguenza di tutto questo è una diluizione in un volume maggiore di tutti gli inquinanti, e quindi una diminuzione della loro concentrazione. Viceversa, condizioni fredde portano a una forte stabilità dell'aria e allo schiacciamento verso il suolo del primo strato atmosferico, il quale funge da trappola per le sostanze in esso presenti, favorendo così l'accumulo degli inquinanti e l'aumento della loro concentrazione.

Nel grafico seguente si riporta il confronto tra le concentrazioni di PM10 di Lomagna e i siti della RRQA con un rendimento superiore al 75% nel periodo della campagna. In particolare, l'area indicata come "Max-Min RRQA" rappresenta per ogni giorno la variabilità delle concentrazioni di inquinante registrate su tutta la rete di rilevamento, prendendo come estremi il massimo e minimo valore. Sono stati inoltre inseriti la mediana ed il 25° e il 75° percentile di tali dati. L'area indicata come "25°-75° percentile RRQA" rappresenta per ogni giorno la variabilità delle concentrazioni prendendo come estremi il 75° ed il 25° percentile dei valori. L'intervallo tra il 25° e il 75° percentile corrisponde ai valori di concentrazione dell'inquinante entro il quale si colloca la metà della totalità dei siti di monitoraggio della regione Lombardia.

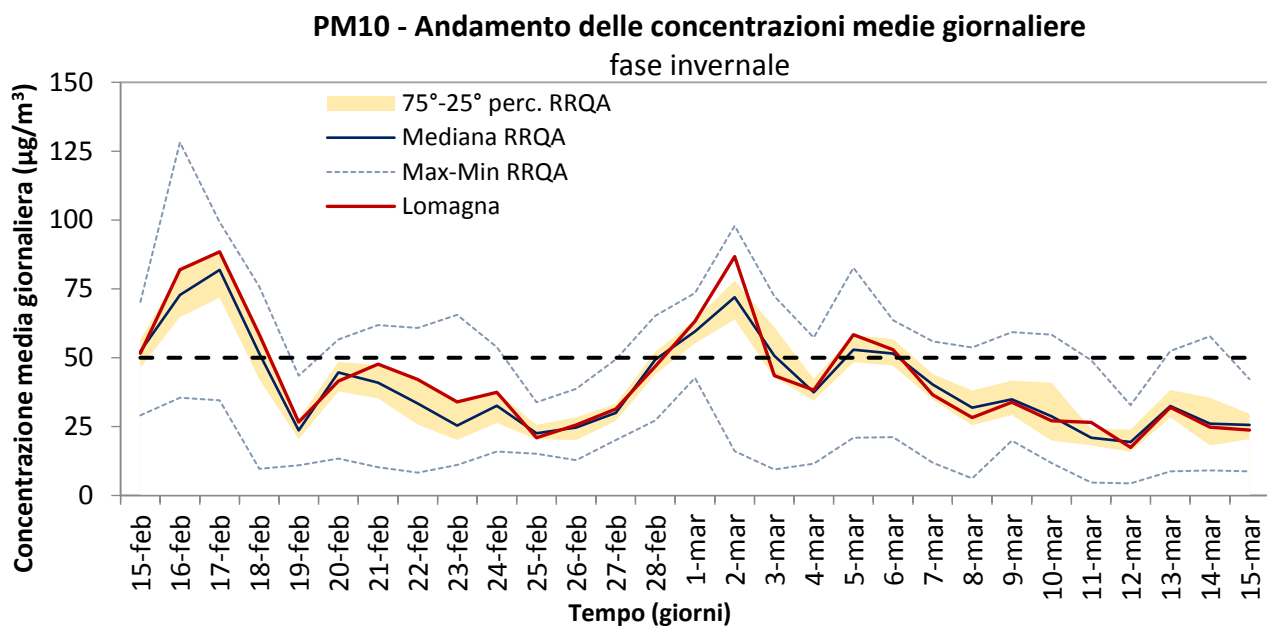


Figura 17. Confronto delle concentrazioni medie giornaliere di PM10 di Lomagna con quelle di tutta la RRQA della Lombardia.

Nella Figura 17 si rileva una diffusa omogeneità del PM10 nel territorio regionale, indicata dalla ristretta fascia tra il 25° ed il 75° percentile, e si evidenzia come le concentrazioni di Lomagna ricadano praticamente sempre all'interno della fascia in cui si colloca il 50% delle stazioni della RRQA.

Dopo aver confrontato le concentrazioni rilevate a Lomagna con quelle di tutte le postazioni fisse della rete di monitoraggio della qualità dell'aria della Lombardia, si fa adesso un confronto con le concentrazioni di PM10 rilevate nelle postazioni più vicine della RRQA appartenenti al Programma di Valutazione Regionale e ricadenti all'interno del bacino aereografico di Lomagna, sia per osservarne le eventuali differenze e poter individuare l'impatto sulla qualità dell'aria di eventuali sorgenti locali, sia per verificarne la rappresentatività in assenza del monitoraggio a Lomagna.

Nella tabella 5 si riporta la classificazione delle stazioni utilizzate per il confronto.

Tabella 5. Stazioni della rete della qualità dell'aria situate vicino ai siti di misura.

Nome stazione	Rete	Tipo zona	Tipo Stazione	Altitudine [m s.l.m.]
Calusco d'Adda	PRIV	Suburbana	Ind./Fondo	273
Merate	PUB	Urbana	Traffico	292
Bergamo-Meucci	PUB	Urbana	Fondo	249
Lecco via Amendola	PUB	Urbana	Traffico	214
Bergamo -Garibaldi	PUB	Urbana	Traffico	249
Lecco via Sora	PUB	Suburbana	Fondo	214
Monza Parco	PUB	Suburbana	Fondo	189
Valmadrera	PRIV	Suburbana	Fondo	237

TIPO ZONA (Allegato III del D. Lgs. 155/2010):

- **URBANA:** sito inserito in aree edificate in continuo o almeno in modo predominante.
- **SUBURBANA:** sito inserito in aree largamente edificate in cui sono presenti sia zone edificate, sia zone non urbanizzate.
- **RURALE:** sito inserito in tutte le aree diverse da quelle urbane e suburbane.

TIPO STAZIONE (Allegato III del D. Lgs. 155/2010):

- **TRAFFICO:** stazione ubicata in posizione tale che il livello di inquinamento sia influenzato prevalentemente da emissioni da traffico, provenienti da strade limitrofe con intensità di traffico medio alta.
- **INDUSTRIALE:** stazione ubicata in posizione tale che il livello di inquinamento sia influenzato prevalentemente da singole fonti industriali o da zone industriali limitrofe.
- **FONDO:** stazione ubicata in posizione tale che il livello di inquinamento non sia influenzato prevalentemente da emissioni da specifiche fonti (industrie, traffico, riscaldamento residenziale, etc.), ma dal contributo integrato di tutte le fonti poste - sopravvento alla stazione rispetto alle direzioni predominanti dei venti nel sito.

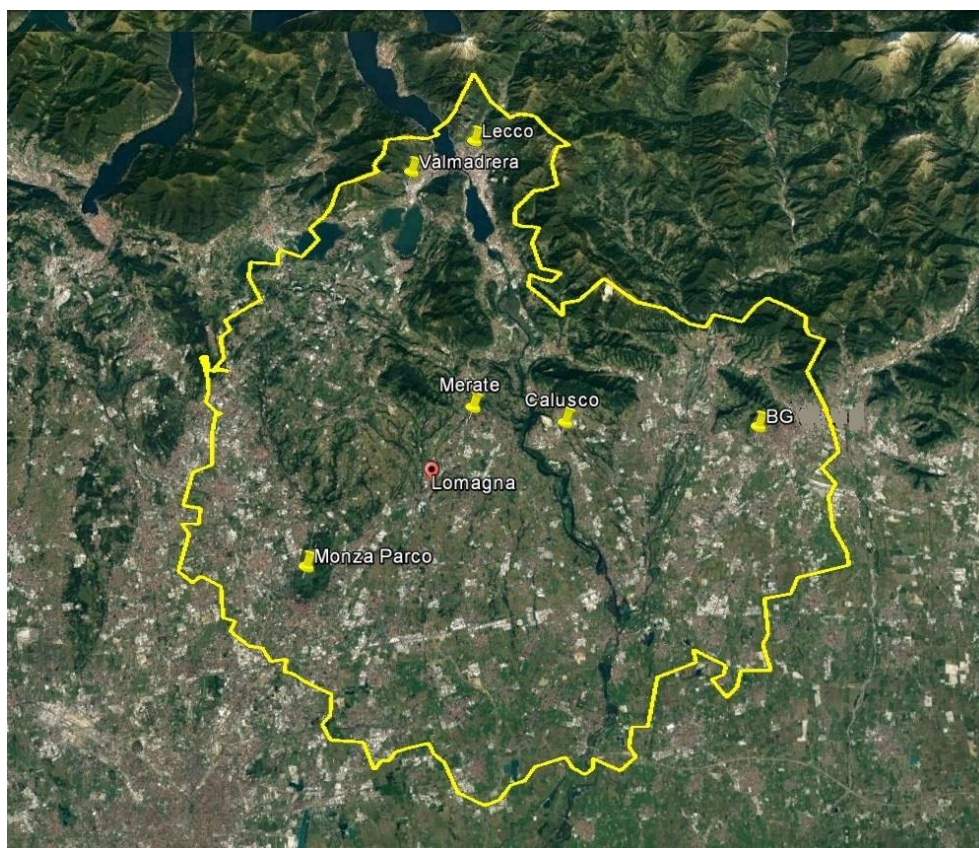


Figura 18. Mappa con individuazione di Lomagna e dei siti presi a confronto.

Il grafico seguente mostra l'andamento giornaliero delle concentrazioni di PM10 rilevate a Lomagna e nei siti presi a confronto, mentre la Tabella 6 riporta alcune statistiche essenziali ricavate sul periodo di monitoraggio.

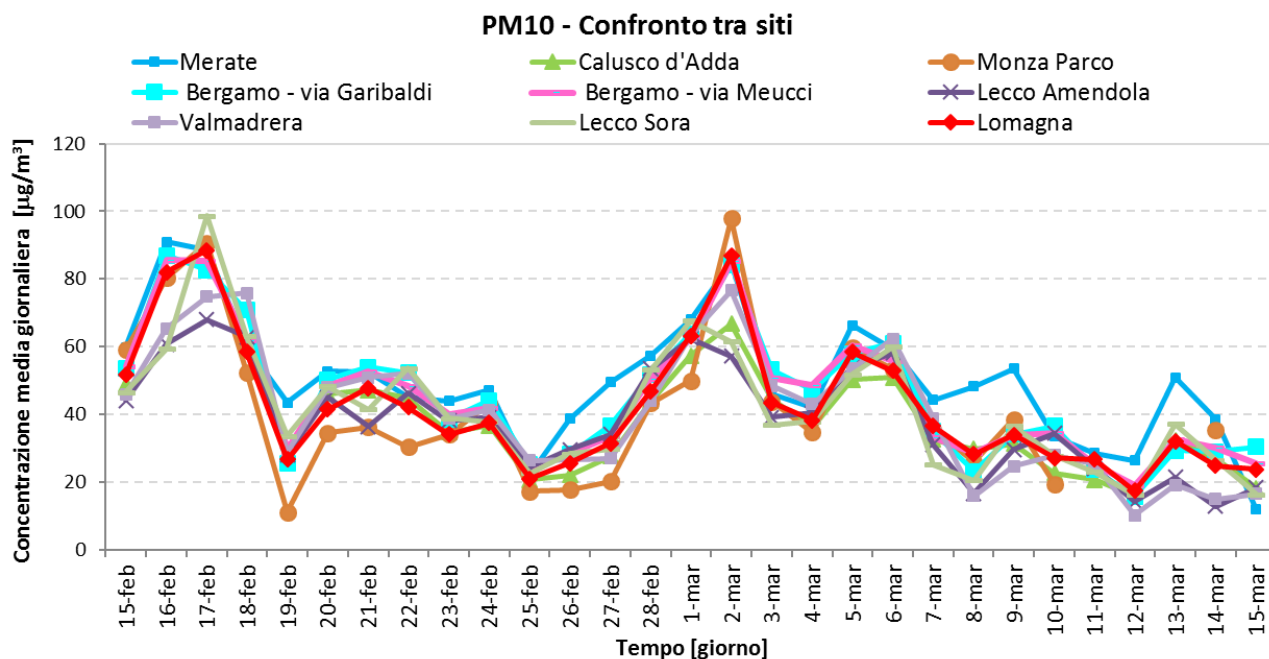


Figura 19. Confronto delle concentrazioni medie giornaliere di PM10 nella fase invernale.

Tabella 6. Statistiche essenziali relative al PM10 nella fase invernale.

dal 15 febbraio 2018 al 15 marzo 2018	Lomagna	Merate	Calusco d'Adda	Monza Parco	Valmadrera	Bergamo - via Garibaldi	Lecco Amendola	Lecco Sora	Bergamo - via Meucci
PM10 media periodo [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	43	50	36	43	40	47	39	41	46
deviazione standard della media [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	3	3	3	4	4	4	3	3	4
PM10 max conc. 24h [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	88	91	67	98	77	87	68	99	86
n. gg superamento limite 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	9	13	3	8	9	13	8	9	11
rendimento	100%	100%	87%	87%	100%	100%	97%	97%	100%

Sia dal grafico di figura 19 che dalla Tabella 6 si evince come le concentrazioni di PM10 misurate a Lomagna si siano sempre mantenute sostanzialmente simili, in valore ed in andamento, a quelle dei siti di fondo-fondo/industriale e più basse di quelle rilevate nel sito da traffico di Merate, anche se il più vicino in linea d'aria (vedi figura 18).

Ciò conferma quanto sostenuto nel paragrafo sulle emissioni e cioè che la qualità dell'aria di un sito dipende non solo dalle sorgenti locali ma dall'insieme degli inquinanti emessi in tutto il bacino aereo grafico e dalle loro interazioni. L'analisi precedente, infatti, mostra come a meno di sorgenti locali pressanti, vedi il traffico a Merate, l'inquinamento da PM10 è piuttosto diffuso ed omogeneo nell'intero bacino aereo grafico di Lomagna.

Come già descritto, oltre che dalle sorgenti emissive, le concentrazioni degli inquinanti sono influenzate dalle condizioni meteorologiche. La figura 20 mostra come l'aumento della velocità del vento abbia comportato un dimezzamento delle concentrazioni il 25 febbraio. In coincidenza della diminuzione delle temperature si presume vi sia stato un incremento delle emissioni degli impianti di riscaldamento che potrebbe giustificare la fase di accumulo del PM10 durata fino al 2 marzo. La pioggia ha avuto una minore incidenza.

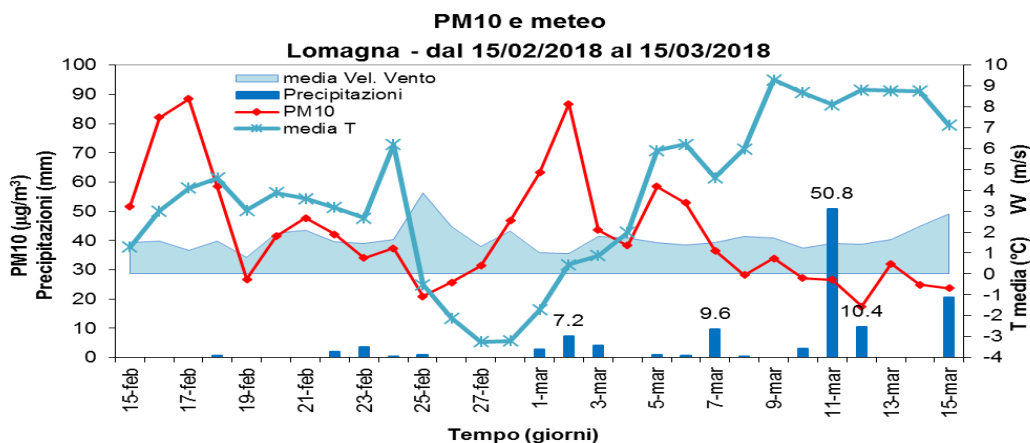


Figura 20. Concentrazioni di PM10 e parametri meteo nelle due fasi della campagna.

Le sorgenti del particolato

Per avere una prima indicazione di quali siano le principali sorgenti emissive che incidono sulla qualità dell'aria di Lomagna è stato utilizzato l'inventario regionale delle emissioni INEMAR.

Come già ribadito, l'inventario, non può essere utilizzato come un puro e unico indicatore della qualità dell'aria di una specifica zona, in quanto non può tenere conto dell'interazione che le sostanze emesse possono avere con l'atmosfera, la meteorologia o l'orografia del territorio. In particolare, il vento, la pioggia, etc. trasportano, disperdono o depositano gli inquinanti emessi alla fonte in tutto il territorio circostante, così che la qualità dell'aria dipende non solo dalle sorgenti locali ma dall'insieme degli inquinanti emessi in tutto il bacino aerografico e dalle loro interazioni.

Come mostra la figura 21, INEMAR stima che nel bacino di Lomagna le fonti emissive prevalenti per il PM10 siano le combustioni non industriali ed il trasporto su strada; le prime si riferiscono all'uso della legna per il riscaldamento domestico, le seconde sono legate soprattutto all'usura dei pneumatici e delle parti metalliche, al risolleamento e alle emissioni degli automezzi diesel (specialmente mezzi pesanti). Minori contributi sono comunque da attribuirsi alle combustioni industriali e all'uso dei solventi nell'industria ed ancora più bassi ad altre sorgenti ed assorbimenti ai diversi processi produttivi presenti sul territorio considerato.

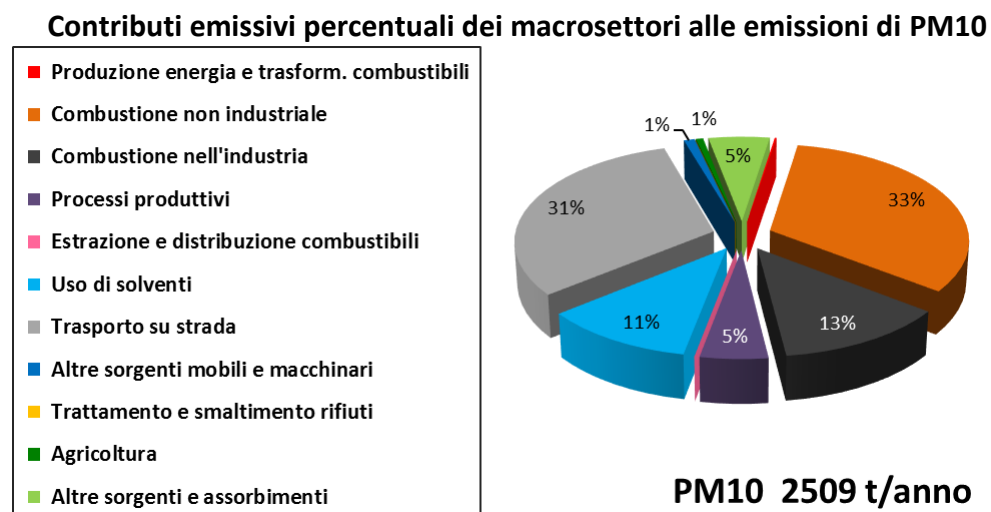


Figura 21. Bacino aerografico. Contributi percentuali dei macrosettori alle emissioni di PM10.

Per individuare le possibili sorgenti del particolato attraverso misurazioni ambientali e potersi confrontare con quanto stimato in INEMAR, i filtri utilizzati per la determinazione della concentrazione di massa del PM10 a Lomagna sono stati sottoposti ad analisi specifiche.

Con la spettrometria XRF è stata individuata la presenza e la relativa concentrazione dei seguenti elementi con numero atomico $Z > 11$: Al, Si, P, S, Cl, K, Ca, Ti, Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, Br, Rb, Pb, V.

Avendo disponibilità di dati, è stato fatto un confronto con quanto rilevato nella stazione di Bergamo Meucci le cui concentrazioni assolute di particolato, si è già visto, sono confrontabili con quelle del sito in studio.

Bergamo Meucci, infatti, fa parte delle stazioni della Lombardia, in cui vengono svolte con continuità le misure degli elementi e del B(a)P nel PM10 secondo il D. Lgs. 155/2010.

Nella tabella 7 vengono riportati alcune statistiche essenziali degli elementi le cui concentrazioni hanno superato il limite di rilevabilità strumentale (Imr) in almeno il 60% dei giorni di rilevamento.

Dato che gli strumenti utilizzati nei siti per la raccolta dei campioni di PM10 sono diversi, gravimetrico a Lomagna e un automatico ad assorbimento di raggi beta a Bergamo Meucci ed utilizzano volumi di campionamento diversi, lo sono anche i Imr per i siti.

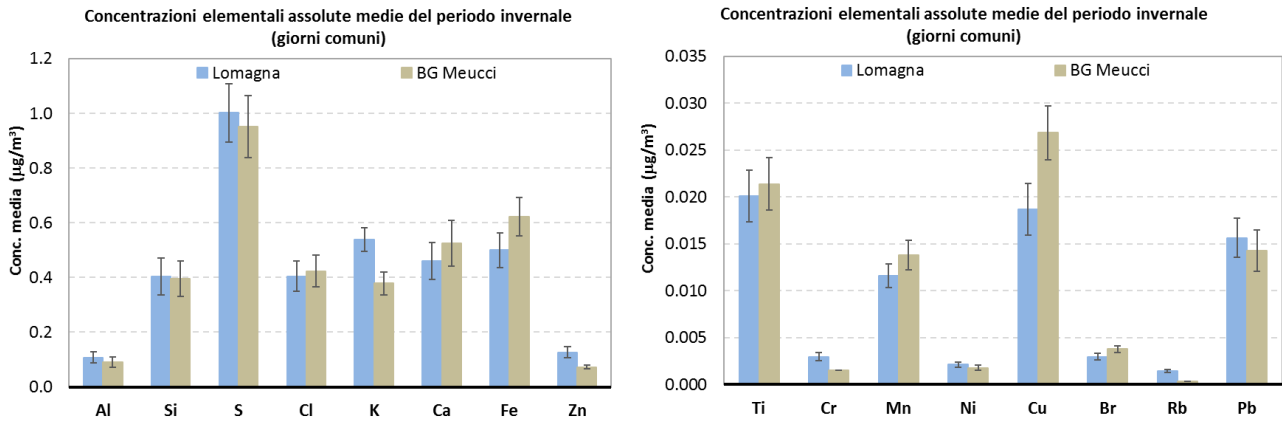
Tabella 7. Statistiche essenziali degli elementi con indicazione del numero dei dati maggiore del limite di rilevabilità.

Lomagna		Al	Si	S	Cl	K	Ca	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Ni	Cu	Zn	Br	Rb	Pb
periodo invernale	n. camp.	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29
	% > l.m.r.	100%	100%	100%	100%	100%	100%	97%	0%	66%	93%	100%	83%	97%	100%	55%	76%	93%
	media ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	0.102	0.380	1.016	0.394	0.529	0.457	0.019	<0.0024	0.003	0.012	0.487	0.002	0.019	0.128	<0.003	0.001	0.021
	dev.st.media ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	0.015	0.053	0.092	0.046	0.033	0.058	0.002	---	0.000	0.001	0.052	0.000	0.002	0.016	---	0.000	0.004
BG Meucci		Al	Si	S	Cl	K	Ca	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Ni	Cu	Zn	Br	Rb	Pb
periodo invernale	n. camp.	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00
	% > l.m.r.	90%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	0%	55%	100%	100%	80%	100%	100%	90%	50%	90%
	media ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	0.090	0.396	0.951	0.424	0.379	0.526	0.021	<0.0045	<0.003	0.014	0.623	0.002	0.027	0.073	0.004	<0.0007	0.014
	dev.st.media ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	0.019	0.064	0.113	0.058	0.042	0.083	0.003	---	---	0.002	0.070	0.000	0.003	0.007	0.000	---	0.002

Dalle concentrazioni elementari rilevate nel PM10 a Lomagna e Bergamo Meucci risulta che il fosforo ed il vanadio sono sempre stati al disotto del proprio Imr.

La maggior presenza di Cr a Lomagna potrebbe attribuirsi a particolari lavorazioni industriali, il Rb ai processi di combustione. Gli elementi risultati frequentemente al di sotto del proprio Imr non verranno utilizzati nelle successive elaborazioni.

In figura 22 vengono rappresentate le medie delle concentrazioni elementari assolute calcolate solo per i giorni in cui si ha disponibilità del dato in entrambi i siti a confronto ed è rappresentata anche la deviazione standard della media. Non risultano differenze statisticamente significative tra le medie dei due siti; in ogni caso, quelle maggiori riguardano K e Rb, Cr e Zn i primi riconducibili alle combustioni di biomasse i secondi ad attività industriali.



N.B. Per il Cr e Rb di Bergamo è stata rappresentata la metà del corrispettivo lmr.

Figura 22. Confronto delle medie delle concentrazioni elementali assolute nella fase invernale della campagna.

Proprio per avere una indicazione di quanto le concentrazioni dei diversi elementi presenti nel particolato atmosferico risultino alterate per la presenza di emissioni antropiche, sono stati calcolati i fattori di arricchimento che esprimono quanto un elemento in aria, risulti arricchito rispetto alla sua naturale concentrazione nel terreno. Il FA è il rapporto tra la concentrazione in aria di un elemento e quella dell'elemento di riferimento diviso l'analogo rapporto tra le concentrazioni nel suolo dell'elemento considerato e l'elemento di riferimento.

$$FA = \frac{[C_{i,ARIA}]/[C_{ref,ARIA}]}{[C_{i,SUOLO}]/[C_{ref,SUOLO}]}$$

Il FA è stato calcolato usando come riferimento il Silicio (considerato avente unica sorgente il terreno), utilizzando la composizione elementale del suolo media.

Essendo il silicio nel PM prevalentemente di origine crostale, i fattori di arricchimento danno un'indicazione di quanto le proporzioni tra i diversi elementi si avvicinino ai rapporti medi nella crosta terrestre: quanto più il fattore di arricchimento di un determinato elemento è prossimo a 1, tanto più si può ritenere l'elemento legato al fenomeno della risospensione, poiché il rapporto tra la sua concentrazione e quella del Si è simile a quello riscontrato nella crosta terrestre. Viceversa, quanto più è alto questo rapporto, tanto maggiore sarà il contributo di origine antropica all'elemento considerato. Come da letteratura (Per esempio Douglas R. Lawson, John W. Winchester, "A standard crustal aerosol as reference for elemental enrichment factors", Atmospheric Environment 1979), dei fattori di arricchimento è significativo l'ordine di grandezza e non il valore assoluto.

In Tabella 8 sono riportati i fattori di arricchimento per i due siti, calcolati utilizzando come riferimento le concentrazioni determinate nel suolo dell'area di Milano, non avendo a disposizione misure locali.

Partendo dalle conoscenze acquisite sul territorio in esame, sulla tipologia di sorgenti e basandosi su lavori precedentemente fatti, si è stabilito ragionevole un valore di riferimento pari a 4 per la suddivisione tra elementi di origine tipicamente crostale ed elementi antropogenici.

Tabella 8. Confronto tra siti dei Fattori di Arricchimento.

		Al	Si	S	Cl	K	Ca	Ti	Cr	Mn	Fe	Ni	Cu	Zn	Rb	Pb
Lomagna	F.A. medio invernale	1	1	299	755	26	3	3	19	8	8	20	37	164	10	32
BG Meucci	F.A. medio invernale	1	1	283	848	19	3	4	---	10	11	16	48	119	---	19

Dalla tabella è possibile evidenziare che i fattori di arricchimento nei due siti risultano simili in ordine di grandezza con FA elevati per S, Cl, Zn; lo Zolfo prende parte nella formazione di particolato secondario inorganico, in particolare di solfato d'ammonio; Nichel, Rame e Zinco sono in prevalenza di origine industriale; per Rame e Zinco anche le emissioni da traffico possono essere significative; il Cloro ha varie origini sia naturali che antropiche legate ad attività industriali e nel periodo invernale può essere un indicatore non specifico della combustione da legna oltre ad essere dovuto allo spargimento del sale per lo scioglimento del ghiaccio nelle strade.

Gli elementi come Al, Si, Ca, Ti presentano FA prossimi all'unità confermando quindi una chiara origine naturale (o perlomeno crostale), mentre i fattori di arricchimento di K, Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, Rb e Pb suggeriscono la presenza di sorgenti di natura mista, sia antropica che naturale.

Per esempio, il potassio (K) è un tracciante non specifico delle combustioni di biomasse, ma in assenza di esse ha natura terrigena. Per ricercarne le sorgenti antropiche durante il periodo invernale, è stata calcolata la correlazione tra il levoglucosano, di seguito Lvg, uno zucchero che rappresenta un marker specifico della combustione di biomasse nel PM, perché si forma a seguito della decomposizione termica della cellulosa durante la sua combustione ed è quindi emesso come particolato (Simoneit et al.,1999) e la frazione di origine antropica del potassio calcolato come

$$K_{terr} = K/FA \quad K_{no\ terr} = K - K_{terr}$$

La buona correlazione tra il potassio non terrigeno ed il levoglucosano a Lomagna evidenzia la presenza di combustioni di biomasse nel periodo invernale.

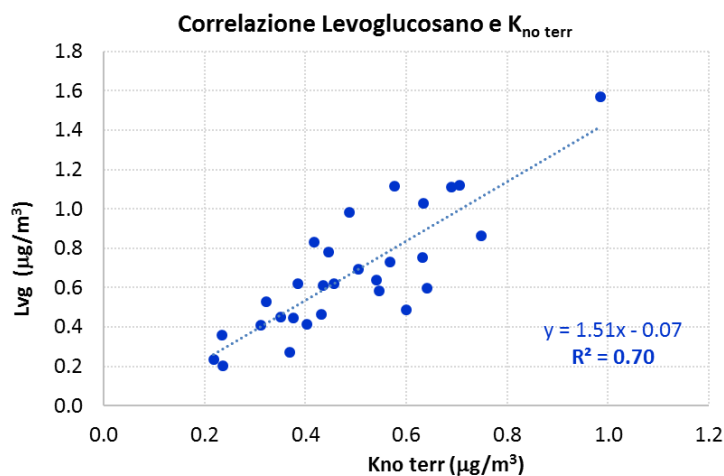


Figura 23. Correlazione tra potassio e levoglucosano a Lomagna.

Per comprendere se a Lomagna la combustione della legna sia legata a qualche determinata sorgente emissiva locale, è stato elaborato il grafico di figura 24 in cui vengono mostrate le concentrazioni di PM10 e di Levoglucosano in relazione anche alla direzione del vento.

La figura 24 mostra come il levoglucosano non sia significativamente aumentato in relazione a nessuna particolare direzione del vento, indicando quindi una certa di uniformità nella presenza di processi di combustioni della legna nel territorio al contorno della postazione di campionamento. Tutto ciò è una ulteriore conferma di come l'inquinamento da PM10 a Lomagna non sia da attribuirsi a sorgenti prettamente locali ma a fattori di bacino come d'altronde è risultato dal confronto con le altre stazioni.

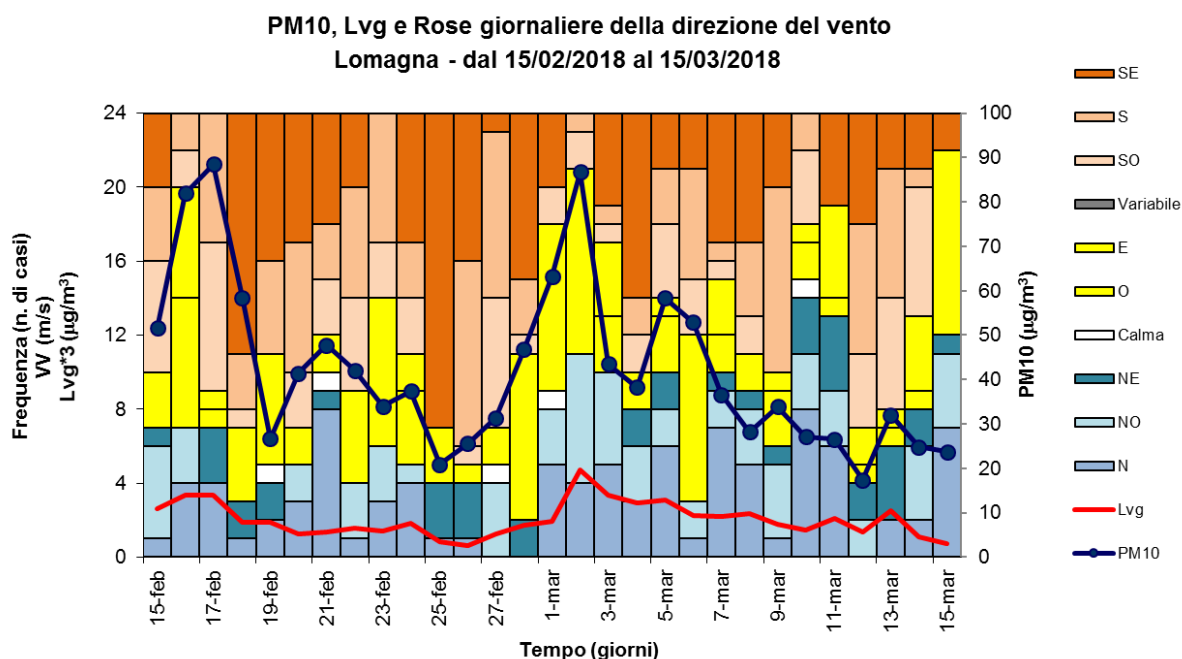


Figura 24. Andamento del PM10, del Lvg in relazione alla direzione del vento.

Anche il B(a)P è un altro tracciante ma non specifico delle combustioni della legna. Poiché gli IPA si producono durante i processi di combustione incompleta di combustibili fossili, la loro determinazione è fondamentale nella valutazione delle combustioni quali, ad esempio, l'emissione degli autoveicoli pesanti.

A causa della loro volatilità e foto degradabilità, sono minori nel periodo estivo, spesso al di sotto del limite di rilevabilità delle tecniche analitiche previste dalla normativa.

Calcolando la correlazione con il levoglucosano, si riesce a discriminare se il B(a)P proviene da combustione da legna o da altro. Come si osserva dalla Figura 25 le concentrazioni di B(a)P a Lomagna sono strettamente correlate alle concentrazioni del marker della combustione di legna. Il coefficiente di Pearson calcolato indica che circa l'80% della varianza delle concentrazioni di benzo(a)pirene è dovuta alle combustioni di biomasse.

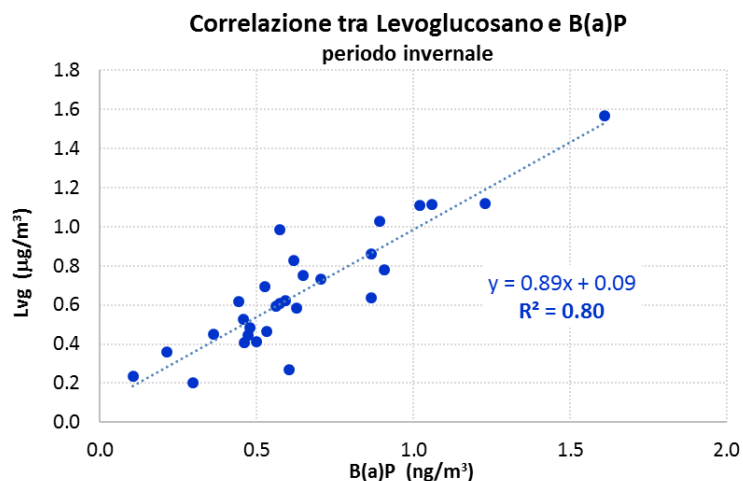


Figura 25. Correlazione tra benzo(a)pirene e Lvg, marker delle combustioni di biomasse.

Trova conferma quindi, quanto stimato da INEMAR per il bacino aerografico di Lomagna che indica nella combustione della legna per il riscaldamento la maggior fonte emissiva per il benzo(a)pirene.

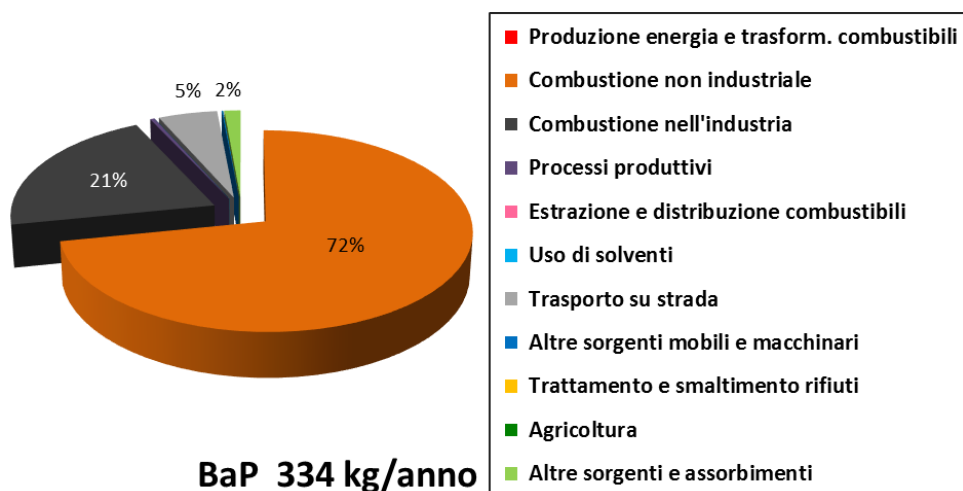


Figura 26. Bacino aerografico. Contributi percentuali dei macrosettori alle emissioni di B(a)P.

La Tabella 9 mostra alcune statistiche essenziali degli IPA rilevati a Lomagna mentre la figura 27 ne grafica il contenuto.

Tabella 9. Dati statistici degli IPA per i giorni di campionamento a Lomagna.

Lomagna		B(a)P	B(a)A	B(b)F	B(k)F+B(j)F	I(1,2,3,c,d)P
periodo invernale	n. camp.	29	29	29	29	29
	% > l.m.r.	97%	69%	100%	86%	100%
	media (ng/m ³)	0.65	0.27	0.77	0.34	0.73
	dev.st. della media (ng/m ³)	0.058	0.029	0.066	0.031	0.062
	max(ng/m ³)	1.61	0.83	2.06	0.90	2.01

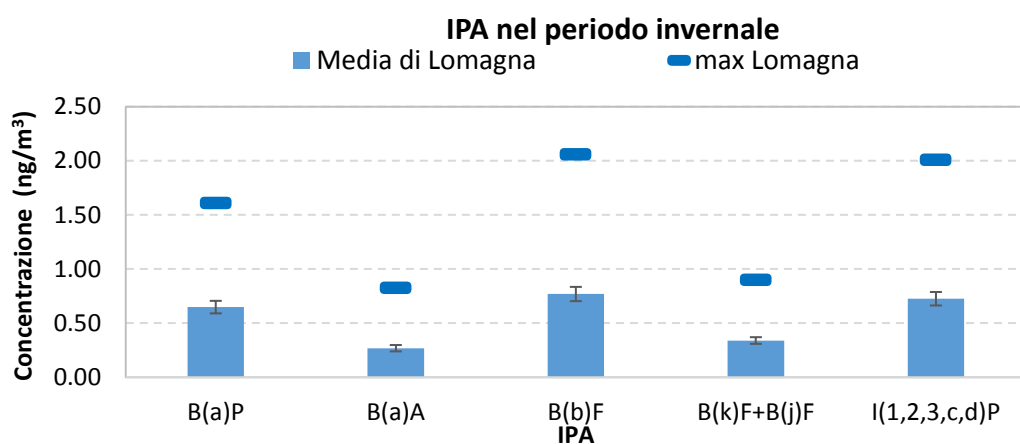


Figura 27. Concentrazioni medie e massime degli IPA a Lomagna.

Dato che l'unico IPA normato tra quelli rilevati è il benzo(a)pirene (B(a)P), con un limite di 1 ng/m³ come concentrazione media annuale (D.Lgs. 155/2010), per comprendere se i valori di concentrazione misurati a Lomagna siano stati elevati o meno, si riporta in tabella 10 ed in figura 28 il confronto con tutti i 14 siti del D.Lgs. 155/10 in cui ARPA effettua con regolarità la misura di questo IPA.

Tabella 10. Statistiche essenziali degli IPA per il periodo invernale della campagna per i siti del D.Lgs. 155/10.

15/2/18 al 15/03/2018	Lomagna	Bergamo - via Meucci	Brescia - Villaggio Sereno -	Casirate d'Adda	Darfo	Magenta	Mantova - S.Agnese	Meda	Milano - Pascal Città Studi	Milano - via Senato	Moggio	Schivenoglia	Sondrio - via Paribelli	Soresina	Varese - via Copelli
n'dati	29	9	9	8	10	9	26	10	6	9	5	10	4	10	9
conc. media (ng/m ³)	0.65	0.46	0.59	0.78	1.34	0.54	0.35	1.35	0.22	0.33	0.38	0.38	1.71	0.42	0.41
dev.st.m. (ng/m ³)	0.06	0.06	0.08	0.25	0.20	0.08	0.04	0.28	0.04	0.04	0.09	0.04	0.84	0.07	0.08
conc. max (ng/m ³)	1.6	0.79	1.13	2.39	2.43	0.93	1.08	3.48	0.42	0.50	0.53	0.53	4.16	0.93	0.99
conc. min (ng/m ³)	0.1	0.24	0.34	0.13	0.62	0.24	0.05	0.19	0.13	0.12	0.13	0.20	0.40	0.18	0.19

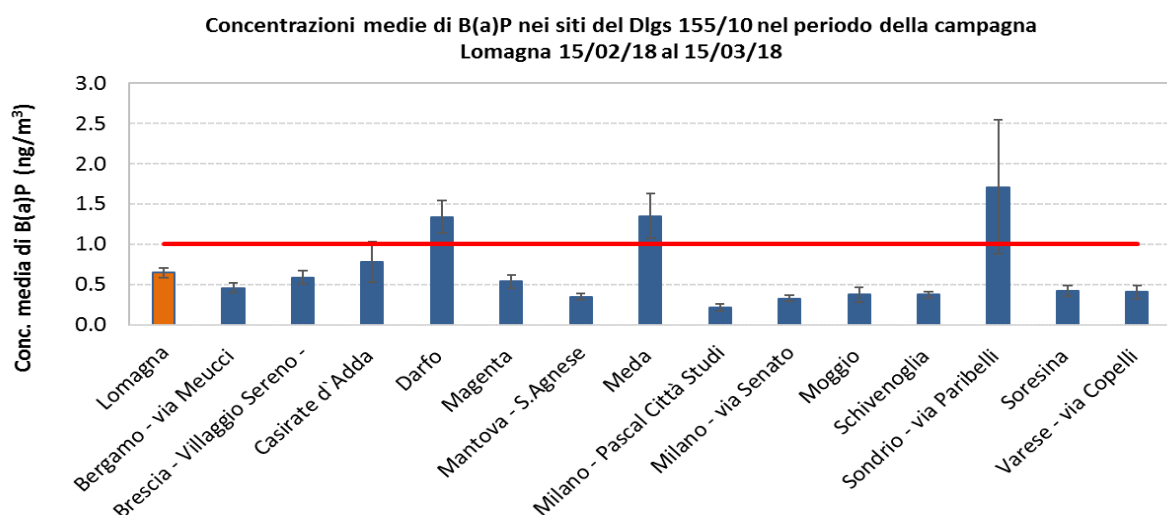


Figura 28. Concentrazioni medie nel periodo invernale della campagna degli IPA per tutti i siti del D.Lgs. 155/10.

Dal grafico di figura 28 emerge che la media delle concentrazioni rilevate a Lomagna si discosta dalle più elevate del territorio regionale (Meda, Darfo e Sondrio). In questi siti è risaputo che i valori sono alti a causa dell'elevata diffusione delle combustioni di biomasse e della presenza di numerose industrie per la lavorazione del legno. In tali siti, nel 2017, le concentrazioni medie annuali hanno superato il limite normativo.

Al fine di valutare la possibilità o meno del superamento del limite a Lomagna, è stata effettuata una stima della media annuale di B(a)P riferita al 2017, considerando le concentrazioni misurate nel 2018 all'interno dell'anno precedente. Visto che i dati considerati sono quelli misurati nel periodo più critico per questo inquinante a causa della maggior presenza delle sue fonti emittive, la stima effettuata è comunque indicativa delle condizioni reali.

Non avendo a disposizione un anno intero di misure a Lomagna, con i valori misurati in campagna è stata comunque calcolata la stima del valore annuale 2017 usando il metodo di seguito descritto.

Verificata omoschedasticità della serie delle medie annuali 2017 del benzo(a)pirene, è stata costruita la retta di regressione lineare di figura 29 tra le concentrazioni medie sul periodo di campagna e le medie annuali per tutti i 14 siti della RRQA. Il coefficiente di correlazione $R^2=0.96$ indica una correlazione altamente significativa. Ciò ha permesso la stima della concentrazione media annuale per Lomagna che è risultata pari a 0.69 ng/m^3 , con associato un errore di 0.14 ng/m^3 che garantisce una probabilità del 97% circa che il limite annuale del B(a)P di 1 ng/m^3 non sia stato superato nel 2017.

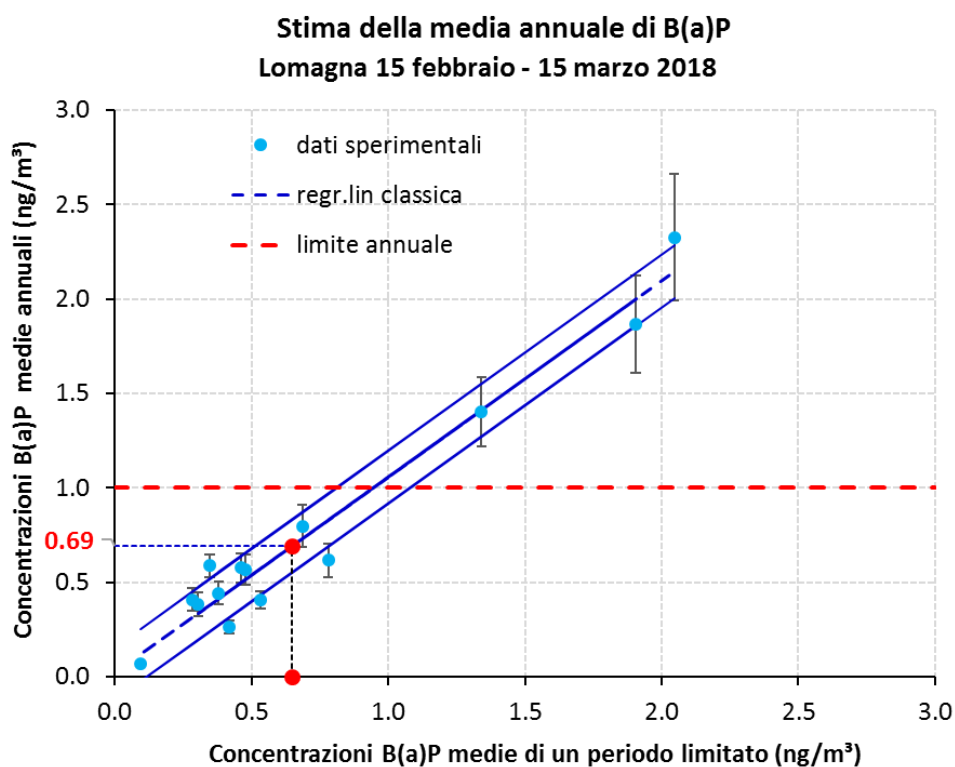


Figura 29. Stima annuale del Benzo(a)pirene per Lomagna.

Quanto supposto fin qui circa le possibili sorgenti del particolato trova conferma nell'analisi a cluster mostrata nelle Figura 30 tra le concentrazioni elementali assolute, gli IPA ed il levoglucosano.

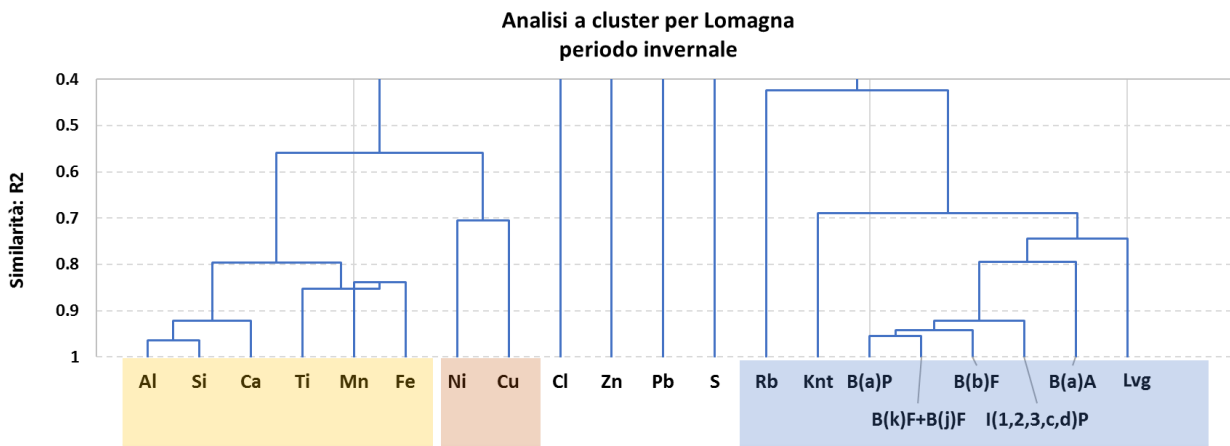


Figura 30. Analisi a cluster delle medie delle concentrazioni elementali assolute, degli IPA e del levoglucosano (Lvg) nel periodo invernale.

Dalla figura 30 risulta chiaramente identificato il cluster riconducibile alla combustione di biomassa in quanto contiene il levoglucosano che ben correla con la componente antropica del potassio e con gli IPA. Anche la correlazione con il rubidio è riconducibile allo stesso tipo di sorgente.

Un altro cluster formato da Al, Si e Ca ma anche Ti, Mn, Fe, è specifico per i terrigeni, legati quindi alla risospensione.

Nichel e rame individuano la componente da traffico legata all'usura delle parti meccaniche degli automezzi. Rimangono separati dal resto e pertanto hanno fonti emissive diverse Zn, Pb probabilmente come stimato da INEMAR dovuti ad attività industriali e produttive presenti sul territorio, mentre lo zolfo ha come già detto natura secondaria, ed il Cloro origini varie sia naturali che antropiche.

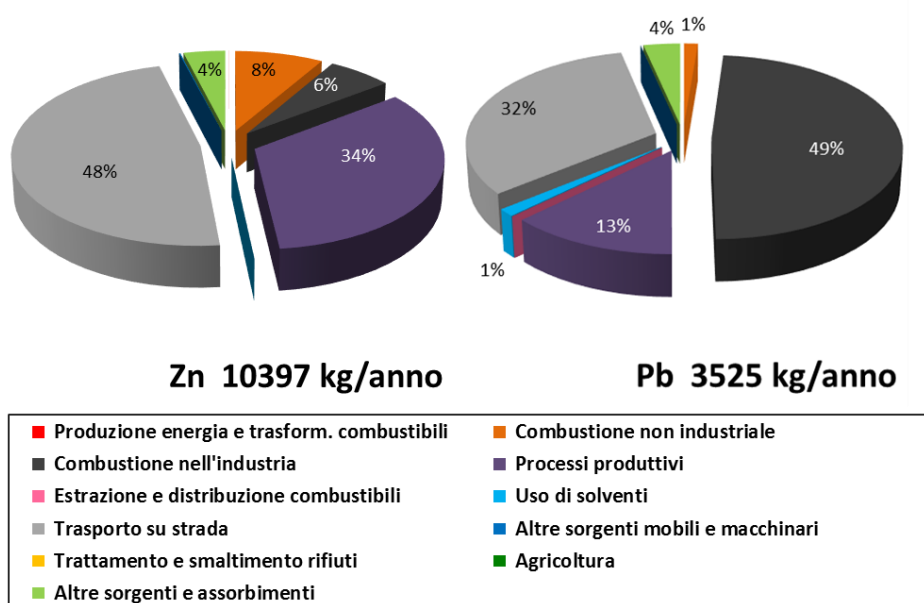


Figura 31. Bacino aerografico. Contributi percentuali dei macrosettori alle emissioni di Zn e Pb.

Tutto ciò è concorde con quanto è risultato dalle correlazioni precedentemente viste ed è una ulteriore evidenza di come le emissioni di IPA a Lomagna siano da attribuirsi principalmente alle combustioni di biomassa. Inoltre, dal dendrogramma è possibile rilevare quanto dedotto precedentemente dall'analisi dei fattori di Arricchimento (FA), e cioè che Al, Si, Ca, Ti, Fe hanno come sorgente prevalente la risospensione (natura terrigena), mentre tutti gli altri elementi hanno diverse sorgenti antropiche o formazione prettamente secondaria, come lo zolfo. Infatti, come già ribadito e rilevato dalle stime di emissione di INEMAR, nell'area oggetto di studio vi sono diverse attività industriali e produttive che influiscono sulla qualità dell'aria.

Conclusioni

La campagna di monitoraggio dell'inquinamento atmosferico effettuata dal 15 febbraio al 15 marzo a Lomagna ha consentito una caratterizzazione dell'inquinamento dell'aria da PM10 del sito in studio in relazione ad un contesto territoriale più ampio.

Il monitoraggio delle concentrazioni giornaliere di PM10 non ha evidenziato differenze significative tra Lomagna e i siti di confronto della RRQA confermando che nell'area oggetto di studio l'inquinamento è piuttosto diffuso e dipende da fattori di bacino (elevata urbanizzazione ed industrializzazione), oltre che locali. I valori assoluti delle concentrazioni si collocano infatti nella fascia in cui ricade il 50% delle concentrazioni rilevate nelle stazioni di tutta la Rete di Rilevamento della Qualità dell'Aria della Lombardia. I superamenti del limite giornaliero sono stati registrati contemporaneamente in un ampio territorio regionale.

Le analisi condotte sul particolato danno evidenza di quanto stimato dall'Inventario delle Emissioni INEMAR circa l'impatto sulla qualità dell'aria della combustione di biomassa, di diversi processi produttivi e del traffico veicolare. Infatti, l'80% della varianza delle concentrazioni di benzo(a)pirene di Lomagna è risultata legata alle combustioni di biomasse. La stima della media annua 2017 del B(a)P indica una probabilità di circa il 97% che a Lomagna non si raggiunga il limite normativo annuale, tuttavia la concentrazione media sul periodo è stata tra le più alte registrate nei siti della Lombardia che rispettano il limite annuale.

L'analisi a cluster effettuata tra le concentrazioni medie delle specie determinate ha evidenziato una relativa importanza del traffico veicolare e di alcuni processi produttivi.

Le concentrazioni giornaliere di levoglucosano, marker specifico per i processi di combustioni della legna, si sono mantenute pressoché costanti nei diversi giorni di campagna, mostrando una certa uniformità nella diffusione di processi di combustione di biomasse nell'area in studio.

Lo svolgimento della seconda parte della campagna consentirà di valutare eventuali differenze stagionali per l'inquinamento da polveri.

Ringraziamenti

Si ringrazia l'Amministrazione comunale di Lomagna per la collaborazione apportata durante la campagna di monitoraggio.

DATI INEMAR 2014

Contributi assoluti dei macrosettori al carico emissivo totale dei singoli inquinanti per Lomagna e per il suo bacino aerografico

Lomagna	PM10	IPA-CLTRP	BaP	Ni	Zn	Pb	Cr	Cu
	t/anno	kg/anno	kg/anno	kg/anno	kg/anno	kg/anno	kg/anno	kg/anno
Produzione energia e trasform. combustibili	-	-	-	-	-	-	-	-
Combustione non industriale	3.05	2.74	0.933	0.014	3.62	0.191	0.163	0.043
Combustione nell'industria	0.347	0.285	0.081	0.126	0.365	0.619	0.019	0.043
Processi produttivi	0.202	0.070	0.017	0.012	20.9	3.83	0.151	0.466
Estrazione e distribuzione combustibili	0	0	0	0	0	0	0	0
Uso di solventi	0.655	0	0	0	0	0.000	0.003	0.002
Trasporto su strada	1.89	0.170	0.041	0.194	12.4	3.09	1.17	24.5
Altre sorgenti mobili e macchinari	0.038	0.003	0.001	0.001	0.018	0.001	0.001	0.031
Trattamento e smaltimento rifiuti	0.009	0.000	0	0	0.006	0.000	0	0
Agri cultura	0.046	0	0	0	0	0	0	0
Altre sorgenti e assorbimenti	0.334	0.025	0.011	0.043	0.998	0.294	0.057	0.577
Totale	6.6	3.3	1.1	0.4	38.3	8.0	1.6	25.7

Bacino Aerografico	PM10	IPA-CLTRP	BaP	Ni	Zn	Pb	Cr	Cu
	t/anno	kg/anno	kg/anno	kg/anno	kg/anno	kg/anno	kg/anno	kg/anno
Produzione energia e trasform. combustibili	4.22	0.030	0.006	0.038	0.735	0.088	0.041	0.046
Combustione non industriale	822	700	240	3.42	876	46.0	39.3	10.3
Combustione nell'industria	317	255	70.3	336	645	1713	2835	191
Processi produttivi	124	5.03	1.26	204	3500	455	46.4	67.9
Estrazione e distribuzione combustibili	0	0	0	0	0	0	0	0
Uso di solventi	280	0	0	0.002	0	46.7	4.01	1.81
Trasporto su strada	784	71.9	17.3	73.2	4953	1143	433	8999
Altre sorgenti mobili e macchinari	24.5	1.68	0.372	0.830	11.9	0.322	0.592	20.2
Trattamento e smaltimento rifiuti	0.009	0.000	0	0	0.006	0.000	39.3	0
Agri cultura	16.4	0.089	0.027	0.001	0.014	0.001	0.002	0.001
Altre sorgenti e assorbimenti	138	10.4	4.69	17.9	412	121	23.5	238
Totale	2510	1045	334	635	10397	3526	3421	9528

Contributi percentuali dei macrosettori al carico emissivo totale dei singoli inquinanti per Lomagna e per il suo bacino aerografico

Lomagna	PM10	IPA- CLTRP	BaP	Ni	Zn	Pb	Cr	Cu
	%	%	%	%	%	%	%	%
Produzione energia e trasform. combustibili	-	-	-	-	-	-	-	-
Combustione non industriale	46	83	86	4	9	2	10	0
Combustione nell'industria	5	9	7	32	1	8	1	0
Processi produttivi	3	2	2	3	54	48	10	2
Estrazione e distribuzione combustibili	0	0	0	0	0	0	0	0
Uso di solventi	10	0	0	0	0	0	0	0
Trasporto su strada	29	5	4	50	32	38	75	95
Altre sorgenti mobili e macchinari	1	0	0	0	0	0	0	0
Trattamento e smaltimento rifiuti	0	0	0	0	0	0	0	0
Agricoltura	1	0	0	0	0	0	0	0
Altre sorgenti e assorbimenti	5	1	1	11	3	4	4	2
Totale	100	100	100	100	100	100	100	100

Bacino Aerografico	PM10	IPA- CLTRP	BaP	Ni	Zn	Pb	Cr	Cu
	%	%	%	%	%	%	%	%
Produzione energia e trasform. combustibili	0.17	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00
Combustione non industriale	32.74	67.03	71.87	0.54	8.42	1.30	1.15	0.11
Combustione nell'industria	12.63	24.44	21.05	52.89	6.20	48.59	82.87	2.00
Processi produttivi	4.96	0.48	0.38	32.09	33.66	12.92	1.36	0.71
Estrazione e distribuzione combustibili	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Uso di solventi	11.17	0.00	0.00	0.00	0.00	1.32	0.12	0.02
Trasporto su strada	31.22	6.88	5.17	11.52	47.64	32.41	12.65	94.45
Altre sorgenti mobili e macchinari	0.97	0.16	0.11	0.13	0.11	0.01	0.02	0.21
Trattamento e smaltimento rifiuti	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.15	0.00
Agricoltura	0.65	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Altre sorgenti e assorbimenti	5.49	1.00	1.41	2.82	3.96	3.44	0.69	2.50
Totale	100	100	100	100	100	100	100	100

Comuni della fascia pedemontana di confronto

16003 - ALBANO SANT'ALESSANDRO (BG)	17002 - ADRO (BS)	13003 - ALBAVILLA (CO)	12002 - ALBIZZATE (VA)
16004 - ALBINO (BG)	17008 - AZZANO MELLA (BS)	13004 - ALBESE CON CASSANO (CO)	12005 - ARSAGO SEPRIO (VA)
16008 - ALZANO LOMBARDO (BG)	17014 - BEDIZZOLE (BS)	13005 - ALBIOLO (CO)	12006 - AZZATE (VA)
16018 - BAGNATICA (BG)	17015 - BERLINGO (BS)	13010 - APPIANO GENTILE (CO)	12008 - BARASSO (VA)
16028 - BOLGARE (BG)	17021 - BORGOSATOLLO (BS)	13022 - BEREGAZZO CON FIGLIARO (CO)	12012 - BESNATE (VA)
16042 - BRUSAPORTO (BG)	17023 - BOTTICINO (BS)	13023 - BINAGO (CO)	12016 - BODIO LOMNAGO (VA)
16043 - CALCINATE (BG)	17025 - BOVEZZO (BS)	13024 - BIZZARONE (CO)	12023 - BRUNELLO (VA)
16055 - CAROBBIO DEGLI ANGELI (BG)	17029 - BRESCIA (BS)	13028 - BREGNANO (CO)	12025 - BUGUGGIATE (VA)
16062 - CASTELLI CALEPIO (BG)	17032 - CALCINATO (BS)	13034 - BULGAROGGRASSO (CO)	12029 - CAIRATE (VA)
16066 - CAVERNAGO (BG)	17033 - CALVA GESE DELLA RIVIERA (BS)	13036 - CADORAGO (CO)	12030 - CANTELLO (VA)
16068 - CENATE SOPRA (BG)	17037 - CAPRIANO DEL COLLE (BS)	13038 - CAGNO (CO)	12033 - CARNAGO (VA)
16069 - CENATE SOTTO (BG)	17039 - CARPENEDOLO (BS)	13045 - CARBONATE (CO)	12035 - CARONNO VARESINO (VA)
16073 - CHIUDUNO (BG)	17040 - CASTEGNATO (BS)	13046 - CARIMATE (CO)	12038 - CASCIAGO (VA)
16076 - CIVIDATE AL PIANO (BG)	17042 - CASTEL MELLA (BS)	13055 - CASSINA RIZZARDI (CO)	12039 - CASORATE SEMPIONE (VA)
16079 - COLOGNO AL SERIO (BG)	17041 - CASTELCOVATI (BS)	13059 - CASTELNUOVO BOZZENTE (CO)	12044 - CASTELSEPRIO (VA)
16083 - CORTENUOVA (BG)	17045 - CASTREZZATO (BS)	13061 - CA VALLASCA (CO)	12046 - CASTIGLIONE OLONA (VA)
16084 - COSTA DI MEZZATE (BG)	17046 - CAZZAGO SAN MARTINO (BS)	13064 - CERMENATE (CO)	12047 - CASTRONNO (VA)
16094 - ENTRATICO (BG)	17048 - CELLATICA (BS)	13068 - CIRIMIDO (CO)	12048 - CA VARIA CON PREMEZZO (VA)
16113 - GHISALBA (BG)	17052 - CHIARI (BS)	13084 - CUCCIAGO (CO)	12049 - CAZZAGO BRABBIA (VA)
16114 - GORLAGO (BG)	17056 - COCCAGLIO (BS)	13099 - FALOPPIO (CO)	12055 - COMERIO (VA)
16115 - GORLE (BG)	17057 - COLLEBEATO (BS)	13100 - FENEGRO' (CO)	12057 - CROSIO DELLA VALLE (VA)
16117 - GRASSOBBIO (BG)	17059 - COLOGNE (BS)	13114 - GUANZATE (CO)	12064 - DA VERIO (VA)
16120 - GRUMELLO DEL MONTE (BG)	17061 - CONCESIO (BS)	13128 - LIMIDO COMASCO (CO)	12071 - GALLIATE LOMBARDO (VA)
16133 - MARTINENGO (BG)	17067 - DESENZANO DEL GARDA (BS)	13131 - LOCATE VARESINO (CO)	12072 - GA VIRATE (VA)
16139 - MONTELO (BG)	17069 - ERBUSCO (BS)	13133 - LOMAZZO (CO)	12073 - GAZZADA SCHIANNO (VA)
16141 - MORNICO AL SERIO (BG)	17072 - FLERO (BS)	13135 - LUISAGO (CO)	12077 - GOLASECCA (VA)
16144 - NEMBRO (BG)	17075 - GARDONE VALTROMPIA (BS)	13137 - LURAGO MARINONE (CO)	12080 - GORNATE OLONA (VA)
16157 - PALOSCO (BG)	17077 - GAVARDO (BS)	13138 - LURATE CACCIVIO (CO)	12085 - JERAGO CON ORAGO (VA)
16160 - PEDRENGO (BG)	17081 - GUSSAGO (BS)	13144 - MASLIANICO (CO)	12089 - LONATE CEPPINO (VA)
16173 - PRADALUNGA (BG)	17091 - LOGRATO (BS)	13154 - MONTANO LUCINO (CO)	12091 - LOZZA (VA)
16178 - RANICA (BG)	17092 - LONATO (BS)	13157 - MONTORFANO (CO)	12093 - LUVINATE (VA)
16189 - SAN PAOLO D'ARGON (BG)	17096 - LUMEZZANE (BS)	13165 - OLGiate COMASCO (CO)	12096 - MALNATE (VA)
16194 - SCANZOROSCIATE (BG)	MANERBA DE GARDA	13169 - OLTRONA DI SAN MAMETTE (CO)	12105 - MORAZZONE (VA)
16198 - SERIATE (BG)	17104 - MARCHENO (BS)	13197 - RODERO (CO)	12106 - MORNAGO (VA)
16206 - SPIRANO (BG)	17107 - MAZZANO (BS)	13199 - RONAGO (CO)	12107 - OGGIONA CON SANTO STEFANO (VA)
16212 - TELGATE (BG)	17109 - MONIGA DEL GARDA (BS)	13201 - ROVELLASCA (CO)	12120 - SESTO CALENDE (VA)
16214 - TORRE BOLDONE (BG)	17114 - MONTIRONE (BS)	13202 - ROVELLO PORRO (CO)	12121 - SOLBIATE ARNO (VA)
16216 - TORRE DE ROVERI (BG)	17116 - MUSCOLINE (BS)	13206 - SAN FERMO DELLA BATTAGLIA (CO)	12123 - SOMMA LOMBARDO (VA)
16218 - TRESORE BALNEARIO (BG)	17117 - NA VE (BS)	13215 - SOLBIATE (CO)	12124 - SUMIRAGO (VA)
16222 - URGANO (BG)	17119 - NUVOLENTI (BS)	13222 - TA VERNERIO (CO)	12127 - TRADATE (VA)
16240 - VILLA DI SERIO (BG)	17120 - NUVOLERA (BS)	13228 - UGGIATE TREVANO (CO)	12133 - VARESE (VA)
ARCENE (BG)	17127 - OSPITALETTO (BS)	13232 - VALMOREA (CO)	12134 - VEDANO OLONA (VA)
AZZANO SAN PAOLO (BG)	17129 - PADENGHE SUL GARDA (BS)	13238 - VENIANO (CO)	12136 - VENEGONO INFERIORE (VA)
BERGAMO (BG)	17132 - PAITONE (BS)	13242 - VERTEMATE CON MINOPRIO (CO)	12137 - VENEGONO SUPERIORE (VA)
CASTEL ROZZONE (BG)	17133 - PALAZZOLO SULL'OGLIO (BS)	13245 - VILLA GUARDIA (CO)	12138 - VERGIATE (VA)
COMUN NUOVO (BG)	17136 - PASSIRANO (BS)	17174 - SAREZZO (BS)	
LURANO (BG)	17145 - POLPENAZZE DEL GARDA (BS)	17179 - SIRMIONE (BS)	
ORIO AL SERIO (BG)	17147 - PONCARALE (BS)	17180 - SOIANO DEL LAGO (BS)	
POGNANO (BG)	17150 - PONTOGLIO (BS)	17186 - TORBOLE CASAGLIA (BS)	
PONTERANICA (BG)	17155 - PREVALLE (BS)	17188 - TRAVAGLIATO (BS)	
SORISOLE (BG)	17158 - PUEGNAGO SUL GARDA (BS)	17192 - URAGO D'OGLIO (BS)	
STIZZANO (BG)	17161 - REZZATO (BS)	17199 - VILLA CARCINA (BS)	
VERDELLO (BG)	17164 - ROE VOLCIANO (BS)	17201 - VILLANUOVA SUL CLISI (BS)	
VILLA D'ALME (BG)	17165 - RONCADELLE (BS)		
ZANICA (BG)	17166 - ROVATO (BS)		
108025 - LAZZATE (MB)	17170 - SALO' (BS)		
108054 - LENTATE SUL SEVESO (MB)	17171 - SAN FELICE DEL BENACO (BS)		
108032 - MISINTO (MB)	17173 - SAN ZENO NAVIGLIO (BS)		

Contributi assoluti e percentuali dei macrosettori al carico emissivo totale dei singoli inquinanti per la fascia pedemontana di confronto.

Fascia pedemontana	SO ₂	NO _x	COV	CO	PM2.5	Precurs. O ₃
	t/anno	t/anno	t/anno	t/anno	t/anno	t/anno
Produzione energia e trasform.	0.272	260	22.2	134	2.45	355
Combustione non industriale	124	1673	1513	11743	1245	4860
Combustione nell'industria	76.9	2942	672	3324	201	4628
Processi produttivi	19.0	715	1420	13181	104	3744
Estrazione e distribuzione combustibili	0	0	1178	0	0	1347
Uso di solventi	0.006	9.72	15749	7.79	203	15761
Trasporto su strada	244	11381	2568	12050	614	17782
Altre sorgenti mobili e macchinari	43.1	1798	215	1045	61.1	2524
Trattamento e smaltimento rifiuti	21.7	957	649	501	5.55	2179
Agricoltura	0	36.8	4102	0	48.7	4435
Altre sorgenti e assorbimenti	5.50	5.48	2596	165	90.5	2635
Totale	535	19778	30684	42150	2574	60249

Fascia pedemontana	SO ₂	NO _x	COV	CO	PM2.5	Precurs. O ₃
	%	%	%	%	%	%
Produzione energia e trasform. combustibili	0.05	1.31	0.07	0.32	0.10	0.59
Combustione non industriale	23.23	8.46	4.93	27.86	48.35	8.07
Combustione nell'industria	14.38	14.87	2.19	7.89	7.80	7.68
Processi produttivi	3.56	3.61	4.63	31.27	4.04	6.21
Estrazione e distribuzione combustibili	0.00	0.00	3.84	0.00	0.00	2.24
Uso di solventi	0.00	0.05	51.32	0.02	7.87	26.16
Trasporto su strada	45.64	57.54	8.37	28.59	23.85	29.51
Altre sorgenti mobili e macchinari	8.05	9.09	0.70	2.48	2.37	4.19
Trattamento e smaltimento rifiuti	4.05	4.84	2.11	1.19	0.22	3.62
Agricoltura	0.00	0.19	13.37	0.00	1.89	7.36
Altre sorgenti e assorbimenti	1.03	0.03	8.46	0.39	3.52	4.37
Totale	100	100	100	100	100	100

Allegato 3

Concentrazioni medie giornaliere rilevate a Lomagna

Data camp.	PM10 (µg/m ³)	Si (µg/m ³)	P (µg/m ³)	S (µg/m ³)	Cl (µg/m ³)	K (µg/m ³)	Ca (µg/m ³)	Ti (µg/m ³)	V (µg/m ³)	Cr (µg/m ³)	Mn (µg/m ³)	Fe (µg/m ³)	Ni (µg/m ³)	Cu (µg/m ³)	Zn (µg/m ³)	Br (µg/m ³)	Rb (µg/m ³)	Pb (µg/m ³)
15-feb-18	52	0.776	< 0.048	0.607	0.280	0.826	0.837	0.032	< 0.0024	0.0047	0.021	0.889	0.0031	0.036	0.139	< 0.003	0.0023	0.02
16-feb-18	82	1.354	< 0.048	0.929	0.626	0.841	1.308	0.058	< 0.0024	0.0096	0.030	1.433	0.0060	0.057	0.149	0.005	0.0022	0.04
17-feb-18	88	0.813	< 0.048	0.961	0.605	0.770	1.153	0.040	< 0.0024	0.0097	0.032	1.121	0.0049	0.051	0.175	0.005	0.0021	0.08
18-feb-18	58	0.270	< 0.048	1.205	0.336	0.484	0.298	0.013	< 0.0024	< 0.0023	0.010	0.436	0.0039	0.031	0.098	0.004	0.0012	0.02
19-feb-18	27	0.238	< 0.048	0.943	0.366	0.409	0.348	0.015	< 0.0024	0.0041	0.010	0.358	< 0.001	0.009	0.084	< 0.003	< 0.0009	< 0.006
20-feb-18	41	0.364	< 0.048	1.211	0.167	0.349	0.442	0.020	< 0.0024	0.0029	0.011	0.398	0.0037	0.027	0.133	< 0.003	< 0.0009	0.01
21-feb-18	48	0.681	< 0.048	1.215	0.196	0.444	0.746	0.026	< 0.0024	0.0030	0.011	0.618	0.0039	0.018	0.076	< 0.003	0.0018	0.01
22-feb-18	42	0.332	< 0.048	1.328	0.323	0.355	0.457	0.017	< 0.0024	0.0035	0.011	0.467	0.0019	0.015	0.143	0.003	0.0010	0.02
23-feb-18	34	0.170	< 0.048	1.325	0.201	0.449	0.195	0.014	< 0.0024	0.0039	0.010	0.376	0.0017	0.015	0.040	< 0.003	< 0.0009	0.02
24-feb-18	37	0.249	< 0.048	1.292	0.249	0.461	0.269	0.017	< 0.0024	< 0.0023	0.010	0.399	< 0.001	0.014	0.064	< 0.003	0.0019	0.02
25-feb-18	21	0.148	< 0.048	1.071	0.214	0.384	0.221	0.007	< 0.0024	< 0.0023	0.006	0.130	< 0.001	< 0.004	0.038	0.004	0.0014	< 0.006
26-feb-18	26	0.455	< 0.048	0.847	0.901	0.281	0.846	0.017	< 0.0024	< 0.0023	0.008	0.250	< 0.001	0.005	0.219	< 0.003	< 0.0009	0.01
27-feb-18	31	0.478	< 0.048	1.321	0.707	0.451	0.545	0.021	< 0.0024	0.0028	0.010	0.459	0.0016	0.012	0.356	< 0.003	0.0016	0.02
28-feb-18	47	0.640	< 0.048	1.787	0.808	0.611	0.777	0.031	< 0.0024	0.0034	0.015	0.534	0.0022	0.014	0.322	0.003	0.0019	0.02
01-mar-18	63	0.182	< 0.048	2.373	0.338	0.559	0.248	0.017	< 0.0024	< 0.0023	0.013	0.345	0.0047	0.023	0.092	0.004	0.0016	0.02
02-mar-18	87	0.148	< 0.048	2.017	0.609	0.999	0.127	0.030	< 0.0024	< 0.0023	0.014	0.400	0.0029	0.014	0.083	0.007	0.0027	0.02
03-mar-18	44	0.056	< 0.048	1.123	0.152	0.583	0.085	0.006	< 0.0024	0.0026	0.009	0.262	0.0016	0.009	0.075	0.004	0.0011	0.01
04-mar-18	38	0.070	< 0.048	0.714	0.148	0.493	0.074	0.004	< 0.0024	< 0.0023	< 0.004	0.154	< 0.001	0.007	0.090	0.005	0.0011	0.01
05-mar-18	58	0.354	< 0.048	1.183	0.437	0.669	0.392	0.017	< 0.0024	0.0039	0.010	0.615	0.0030	0.032	0.161	0.006	0.0011	0.01
06-mar-18	53	0.262	< 0.048	1.415	0.360	0.658	0.241	0.017	< 0.0024	0.0033	0.009	0.477	0.0016	0.018	0.052	0.003	0.0018	0.01
07-mar-18	37	0.196	< 0.048	0.844	0.197	0.587	0.245	0.013	< 0.0024	0.0028	0.011	0.465	0.0018	0.016	0.107	0.003	0.0014	0.01
08-mar-18	28	0.479	< 0.048	0.376	0.204	0.493	0.552	0.023	< 0.0024	0.0047	0.012	0.563	0.0017	0.020	0.200	< 0.003	0.0010	0.02
09-mar-18	34	0.576	< 0.048	0.530	0.858	0.698	0.696	0.025	< 0.0024	< 0.0023	0.012	0.606	0.0012	0.018	0.259	0.004	0.0017	0.03
10-mar-18	27	0.159	< 0.049	0.617	0.593	0.615	0.247	0.009	< 0.0025	0.0027	0.008	0.345	0.0022	0.021	0.046	0.004	< 0.0009	0.11
11-mar-18	27	0.041	< 0.048	0.440	0.078	0.508	0.073	< 0.002	< 0.0024	< 0.0023	< 0.004	0.123	0.0016	0.015	0.043	< 0.003	0.0016	0.01
12-mar-18	17	0.279	< 0.048	0.451	0.070	0.378	0.310	0.015	< 0.0024	0.0026	0.007	0.404	0.0011	0.013	0.043	< 0.003	0.0012	0.01
13-mar-18	32	0.534	< 0.048	0.532	0.186	0.471	0.591	0.027	< 0.0024	0.0048	0.014	0.659	0.0032	0.020	0.294	< 0.003	0.0014	0.02
14-mar-18	25	0.529	< 0.048	0.364	0.412	0.287	0.582	0.023	< 0.0024	0.0036	0.012	0.557	0.0023	0.017	0.096	< 0.003	< 0.0009	0.01
15-mar-18	24	0.192	< 0.048	0.451	0.815	0.237	0.350	0.010	< 0.0024	< 0.0023	0.010	0.274	0.0013	0.008	0.049	0.003	< 0.0009	0.01

	PM10	B(a)P	B(a)A	B(b)F	B(k)F+B(j)F	(1,2,3,c,d)P	dB(a,h)A	Arabitolo	Mannitolo	Levoglucosano	Mannosano	Galattosano
Data camp.	(µg/m ³)	(ng/m ³)	(ng/m ³)	(ng/m ³)	(ng/m ³)	(ng/m ³)	(ng/m ³)	(µg/m ³)	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³
15-feb-18	52	0.865	0.310	0.827	0.371	0.784	< 0.210	<0.02	<0.02	0.86	<0.02	0.02
16-feb-18	82	1.228	0.464	1.327	0.600	1.165	< 0.210	<0.02	<0.02	1.12	0.02	<0.02
17-feb-18	88	1.019	0.386	1.191	0.517	1.045	< 0.210	<0.02	<0.02	1.110	0.018	0.016
18-feb-18	58	0.442	< 0.210	0.618	0.273	0.543	< 0.210	<0.02	<0.02	0.620	<0.02	<0.02
19-feb-18	27	0.593	0.300	0.658	0.303	0.582	< 0.210	<0.02	<0.02	0.620	<0.02	<0.02
20-feb-18	41	0.462	< 0.210	0.542	0.242	0.446	< 0.210	<0.02	<0.02	0.409	<0.02	<0.02
21-feb-18	48	0.472	0.212	0.588	0.250	0.507	< 0.210	<0.02	<0.02	0.446	<0.02	<0.02
22-feb-18	42	0.456	< 0.210	0.542	0.242	0.451	< 0.210	<0.02	<0.02	0.527	<0.02	<0.02
23-feb-18	34	0.532	0.282	0.638	0.290	0.585	< 0.210	<0.02	<0.02	0.464	<0.02	0.033
24-feb-18	37	0.575	0.222	0.737	0.333	0.643	< 0.210	<0.02	<0.02	0.610	<0.02	<0.02
25-feb-18	21	0.603	0.432	0.891	0.368	0.568	< 0.210	<0.02	<0.02	0.269	<0.02	<0.02
26-feb-18	26	0.298	0.255	0.543	< 0.210	0.420	< 0.210	<0.02	<0.02	0.203	<0.02	<0.02
27-feb-18	31	0.499	0.280	0.610	0.270	0.482	< 0.210	<0.02	<0.02	0.412	<0.02	<0.02
28-feb-18	47	0.628	0.344	0.779	0.342	0.696	< 0.210	<0.02	<0.02	0.582	<0.02	<0.02
01-mar-18	63	0.866	0.401	1.035	0.452	0.848	< 0.210	<0.02	<0.02	0.637	<0.02	<0.02
02-mar-18	87	1.611	0.825	2.057	0.899	2.009	< 0.210	<0.02	<0.02	1.568	0.019	0.018
03-mar-18	44	1.060	0.452	1.265	0.550	1.257	< 0.210	<0.02	<0.02	1.116	0.018	<0.02
04-mar-18	38	0.573	0.262	0.742	0.328	0.744	< 0.210	<0.02	<0.02	0.983	<0.02	<0.02
05-mar-18	58	0.892	0.320	0.975	0.456	1.016	< 0.210	<0.02	<0.02	1.027	<0.02	0.019
06-mar-18	53	0.648	0.267	0.562	0.366	0.805	< 0.210	<0.02	<0.02	0.751	<0.02	<0.02
07-mar-18	37	0.706	0.275	0.737	0.348	0.691	< 0.210	<0.02	<0.02	0.732	<0.02	0.018
08-mar-18	28	0.908	0.340	0.928	0.454	0.913	< 0.210	<0.02	<0.02	0.779	<0.02	<0.02
09-mar-18	34	0.562	< 0.210	0.643	0.295	0.663	< 0.210	<0.02	<0.02	0.595	<0.02	<0.02
10-mar-18	27	0.477	< 0.210	0.576	0.271	0.621	< 0.210	<0.02	<0.02	0.485	<0.02	<0.02
11-mar-18	27	0.527	< 0.210	0.651	0.295	0.603	< 0.210	<0.02	<0.02	0.693	<0.02	<0.02
12-mar-18	17	0.363	< 0.210	0.411	< 0.210	0.420	< 0.210	<0.02	<0.02	0.453	<0.02	0.015
13-mar-18	32	0.618	0.212	0.658	0.318	0.706	< 0.210	<0.02	<0.02	0.829	<0.02	0.058
14-mar-18	25	0.214	< 0.210	0.305	< 0.210	0.420	< 0.210	<0.02	<0.02	0.360	<0.02	0.016
15-mar-18	24	< 0.210	< 0.210	0.278	< 0.210	0.420	< 0.210	<0.02	<0.02	0.237	<0.02	<0.02

CAMPAGNA DI MONITORAGGIO DELLA QUALITÀ DELL'ARIA

COMUNE DI LOMAGNA (LC)

15 febbraio 2018 – 15 marzo 2018
15 giugno 2018 – 13 luglio 2018

Autori:

Laura Carroccio
Anna De Martini

Campagna di Misura della Qualità dell’Aria

COMUNE DI LOMAGNA

Gestione e manutenzione tecnica della strumentazione:

Luca Vergani

Testo ed elaborazione dei dati:

Laura Carroccio, Anna De Martini

Attività analitica di laboratorio

Umberto Dal Santo, Eleonora Cuccia

Visto

Il Responsabile del CRMQA

Vorne Gianelle

Campagna di Misura della Qualità dell'Aria

COMUNE DI LOMAGNA

Introduzione	pag. 3
Misure e strumentazione	pag. 3
Gli inquinanti monitorati	pag. 4
Il particolato aerodisperso	pag. 4
Gli elementi	Pag. 5
Gli idrocarburi policiclici aromatici	Pag. 5
Normativa	pag. 6
Sito di Misura	pag. 8
Emissioni sul territorio	pag. 10
La situazione meteorologica	Pag. 14
Andamento degli inquinanti in fase particolato nel periodo di misura e confronto con i dati rilevati nelle postazioni fisse	pag. 16
Il PM10	pag. 16
Stima della media annuale del PM10 di Lomagna	pag. 20
Le sorgenti del particolato	pag. 21
Confronto tra PM misurato e stimato nelle mappe NRT	pag. 26
Conclusioni	Pag. 28
Allegato 1. Dati INEMAR 2014	Pag. 29
Allegato 2. I comuni della fascia pedemontana di confronto	Pag. 31
Allegato 3. Classificazione della tipologia delle stazioni di monitoraggio	Pag. 33
Allegato 4. Concentrazioni medie giornaliere rilevate a Lomagna	pag.34

Introduzione

Su richiesta dell'Amministrazione comunale, il Centro Regionale di Monitoraggio della Qualità dell'Aria (CRMQA) di ARPA Lombardia ha svolto nel territorio di Lomagna una campagna di rilevamento della qualità dell'aria, per approfondire gli eventuali impatti dei contributi delle principali sorgenti emissive, in particolare della combustione della legna di cui si fa largo impiego nel comune, anche nel riscaldamento residenziale.

Il monitoraggio, pertanto, è stato rivolto al rilevamento del particolato aerodisperso per valutare sia i possibili legami tra la composizione del PM10 e alcuni traccianti delle combustioni di biomasse, sia eventuali anomalie nello stato di qualità dell'aria di Lomagna rispetto al contesto territoriale nonché, più in generale, rispetto alla realtà del bacino padano.

Per verificare l'incidenza delle differenti condizioni meteorologiche stagionali sulle concentrazioni del particolato aerodisperso, la campagna è stata svolta in due fasi, una invernale ed una estiva. Questa relazione integra i risultati del primo periodo di monitoraggio già pubblicati sul sito istituzionale ed effettuato in inverno 2018, con quelli del secondo periodo di misura svolto in estate.

Misure e strumentazione

La misura del particolato atmosferico è stata effettuata mediante campionatore sequenziale dotato di apposita testa di prelievo per la frazione PM10. La concentrazione in massa del particolato atmosferico, raccolto su opportuni filtri, è stata determinata mediante metodo gravimetrico, descritto nella norma UNI EN 1234:2014 e indicato come riferimento dalla legislazione vigente (D. Lgs. 155/2010).

Inoltre, mediante lo spettrometro XRF (X-Ray Fluorescence) in dotazione ad ARPA Lombardia è stato possibile individuare nel PM10 la presenza, e relativa concentrazione, di alcuni elementi chimici con numero atomico $Z > 11$. Solo nel periodo invernale sono state determinate le concentrazioni degli IPA e del Levoglucosano (vedi relazione della prima parte della campagna).

Il sito di misura prescelto rispetta i criteri di rappresentatività indicati per il posizionamento delle stazioni di rilevamento nell'Allegato III del D.lgs. 155/2010.

In particolare, in riferimento all'ubicazione su microscala del punto di monitoraggio, si stabilisce che:

- l'ingresso della sonda di prelievo deve essere libero da qualsiasi ostruzione per un angolo di almeno 270° e il campionatore deve essere posto a una distanza di alcuni metri rispetto edifici, balconi, alberi e altri ostacoli;
- il punto di ingresso della sonda di prelievo deve essere collocato ad un'altezza compresa tra 1.5 e 4 m sopra il livello del suolo;
- il punto di ingresso della sonda non deve essere posizionato nelle immediate vicinanze di fonti di emissione al fine di evitare l'aspirazione diretta di emissioni non disperse nell'aria ambiente.

Gli inquinanti che si trovano dispersi in atmosfera possono essere divisi schematicamente in due gruppi: inquinanti primari e inquinanti secondari. I primi sono emessi nell'atmosfera direttamente da sorgenti di emissione antropiche o naturali, mentre gli altri si formano in atmosfera in seguito a reazioni chimiche che coinvolgono altre specie siano esse primarie o secondarie.

Le concentrazioni di un inquinante primario dipendono significativamente dalla distanza tra il punto di misura e le sorgenti, mentre le concentrazioni di un inquinante secondario, essendo prodotto dai suoi precursori già dispersi nell'aria ambiente, risultano in genere diffuse in modo più omogeneo sul territorio.

Il particolato atmosferico aerodisperso

È costituito da una miscela di particelle allo stato solido o liquido, esclusa l'acqua, presenti in sospensione nell'aria per tempi sufficientemente lunghi da subire fenomeni di diffusione e trasporto. Tali particelle possono avere diverse caratteristiche chimico-fisiche e diverse dimensioni. Esse possono essere di origine primaria, cioè emesse direttamente in atmosfera da processi naturali o antropici, o secondaria, cioè formate in atmosfera a seguito di reazioni chimiche e fisiche. Le principali sorgenti naturali sono l'erosione e il successivo risollevarsi di polvere del suolo, incendi, pollini, spray marino, eruzioni vulcaniche; le sorgenti antropiche si possono ricondurre principalmente a processi di combustione (traffico autoveicolare, uso di combustibili, emissioni industriali); non vanno tuttavia trascurati i fenomeni di risospensione causati dalla circolazione dei veicoli, le attività di cantiere e alcune attività agricole.

La composizione delle particelle aerodisperse può essere molto varia; infatti si ha la presenza di particelle organiche primarie di vario tipo, particelle minerali cristalline, particelle metalliche, particelle biologiche; in atmosfera, a partire da precursori e inquinanti gassosi si ha la formazione di particelle secondarie, sia organiche che inorganiche. Anche il destino delle particelle in atmosfera è molto vario, in relazione alla loro dimensione e composizione; tuttavia il fenomeno di deposizione secca e umida sono quelli principali per la rimozione delle polveri aerodisperse.

Partendo dalla definizione di particella, ovvero un aggregato di molecole, anche eterogenee, in grado di mantenere le proprie caratteristiche fisiche e chimiche per un tempo sufficientemente lungo da poterle osservare e tale da consentire alle stesse di partecipare a processi fisici e/o chimici come entità a sé stanti, va sottolineato che esse possono avere dimensioni che variano anche di 5 ordini di grandezza (da 10 nm a 100 µm), così come forme diverse e per lo più irregolari. Al fine di valutare l'impatto del particolato sulla salute umana, è quindi necessario individuare uno o più sottoinsiemi di particelle che, in base alla loro dimensione, abbiano maggiore capacità di penetrazione nelle prime vie respiratorie (naso, faringe, laringe) piuttosto che nelle parti più profonde dell'apparato respiratorio (trachea, bronchi, alveoli polmonari). Per poter procedere alla classificazione in relazione alla dimensione è stato quindi necessario definire un diametro aerodinamico equivalente, ovvero il diametro di una particella sferica di densità unitaria che ha le stesse caratteristiche aerodinamiche (velocità di sedimentazione) della particella in esame.

Fatte le dovute premesse, considerata la normativa tecnica europea (UNI EN12341/2014), si definisce PM₁₀ la frazione di particelle raccolte con strumentazione avente efficienza di selezione e raccolta stabilita dalla norma e pari al 50% a 10 µm (diametro aerodinamico). In modo del tutto analogo viene definito il PM_{2.5} (UNI EN12341/2014).

Gli elementi

Mediante lo spettrometro a raggi X di fluorescenza (XRF) in dotazione ad ARPA Lombardia è stato possibile determinare la presenza, e relativa concentrazione, dei seguenti elementi con numero atomico $Z > 11$ ¹: alluminio (Al), silicio (Si), zolfo (S), cloro (Cl), potassio (K), calcio (Ca), titanio (Ti), cromo (Cr), manganese (Mn), ferro (Fe), nichel (Ni), rame (Cu), zinco (Zn), bromo (Br), rubidio (Rb), piombo (Pb).

La composizione delle polveri può essere sensibilmente diversa a seconda del sito di campionamento e dipende strettamente dalla tipologia delle sorgenti di emissione.

Elementi come alluminio, calcio, ferro, silicio e titanio, con i loro principali ossidi, si trovano prevalentemente in particelle di grandi dimensioni e forme irregolari, provenienti dall'erosione della crosta terrestre.

Il ferro può avere origine, assieme al rame, allo zinco e altri metalli, anche dall'usura delle parti meccaniche dei mezzi di trasporto (a esempio i freni) e pertanto può essere associato alla sorgente traffico. Altri come potassio e rubidio possono avere origine sia minerale (crosta terrestre) sia da combustione di biomassa; nichel, cromo, zinco, piombo possono individuare la presenza di qualche industria.

Gli elementi citati e i loro composti si possono trovare in atmosfera, in fase particolata, essendo costituenti naturali della crosta terrestre. Le sorgenti antropiche, in prevalenza combustioni e processi industriali, possono alterare le loro normali concentrazioni in aria dovute a sorgenti naturali come le eruzioni vulcaniche, gli incendi boschivi, lo spray marino, l'erosione del vento e delle maree, etc., interferendo così nei processi in cui sono coinvolti.

Non esiste una definizione ufficiale di metallo leggero o pesante; spesso l'aggettivo pesante viene associato al concetto di tossicità anche se la densità non ha un legame diretto con effetti sul corpo umano. Metalli indicati come pesanti in relazione alla loro tossicità e bioaccumulazione sono, a esempio: mercurio, cromo, cadmio, arsenico, piombo e recentemente uranio. A volte, convenzionalmente, per metalli pesanti si intendono quelli che hanno una densità maggiore di 4,5 grammi per centimetro cubo come, ad esempio, arsenico, cadmio, cromo, mercurio, nichel, piombo, tallio, vanadio, etc.

La rilevanza ambientale legata ai metalli è la loro tendenza, comune agli inquinanti organici persistenti, di accumularsi all'interno di alcuni tessuti degli esseri viventi (bioaccumulo) determinando effetti negativi sulla salute. Oltre al piombo, i metalli più rappresentativi per il rischio ambientale a causa della loro tossicità sono il cadmio, il nichel e l'arsenico, classificati dalla IARC (Agenzia Internazionale di Ricerca sul Cancro) come cancerogeni per l'uomo. Per tali motivi la normativa vigente (D. Lgs. 155/2010) ha previsto un valore limite per il piombo e valori obiettivo per arsenico, cadmio e nichel.

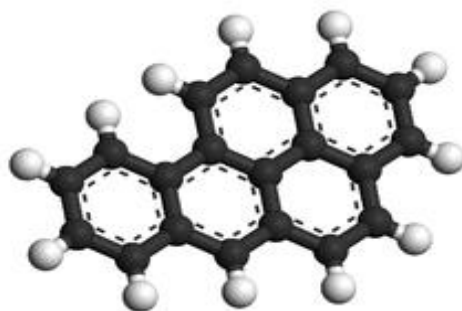
Gli idrocarburi policiclici aromatici (IPA)

Sono idrocarburi aventi la struttura molecolare planare costituita da uno o più anelli di 6 atomi di carbonio e con atomi di idrogeno che saturano i legami rimasti disponibili. Ai fini della qualità dell'aria sono evidenziati e trattati per il loro impatto sanitario. I principali idrocarburi considerati nel campo dell'inquinamento atmosferico sono i 7 IPA citati dal D.lgs. 155/10: benzo(a)pirene, benzo(a)antracene, benzo(b)fluorantene, benzo(j)fluorantene, benzo(k)fluorantene, indeno(1,2,3-cd)pirene, dibenzo(a,h)antracene. Questi IPA sono presenti in atmosfera per lo più in fase particolato alle basse temperature invernali, mentre nei periodi più caldi dell'anno può diventare prevalente la fase gassosa e comunque sono soggetti a degradazione

¹ Z è il numero atomico, che indica il numero di protoni all'interno di un atomo. Lo spettrometro a fluorescenza X utilizzato permette una quantificazione attendibile, in tempi ragionevoli, di elementi con $Z > 11$.

fotochimica. La loro presenza comporta un potenziale rischio per la salute umana: sotto il profilo tossicologico, le osservazioni sperimentali indicano che la condizione necessaria, ma non sufficiente, per la cancerogenicità degli IPA è una struttura in cui vi siano almeno quattro anelli condensati.

La loro origine è associata a combustioni in genere di idrocarburi composti da lunghe catene di atomi di carbonio, in particolare se avvengono in condizioni non ottimali. Le principali sorgenti sono quindi da identificarsi nel traffico autoveicolare, nelle combustioni di biomasse e in diverse attività industriali (fonderie, acciaierie, ecc.). In particolare, il più noto idrocarburo appartenente a questa classe è il benzo(a)pirene, B(a)P, classificato dallo IARC come cancerogeno per l'uomo.



Benzo(a)Pirene
C₂₀H₁₂

Figura 1. I cinque anelli aromatici benzenici del benzo(a)pirene.

Nella Tabella 1 sono riassunte, per ciascuno degli inquinanti atmosferici misurati, le principali sorgenti di emissione.

Tabella 1. Sorgenti emissive degli inquinanti misurati in campagna.

Inquinanti	Principali sorgenti di emissione
Particolato Fine*/** PM10	È prodotto principalmente da combustioni e per azioni meccaniche (erosione, attrito, ecc.) ma anche per processi chimico-fisici che avvengono in atmosfera a partire da precursori anche in fase gassosa.
Idrocarburi non Metanici* (IPA, Benzene)	Traffico autoveicolare (processi di combustione incompleta, in particolare di combustibili derivati dal petrolio), evaporazione dei carburanti, alcuni processi industriali

* = Inquinante Primario (generato da emissioni dirette in atmosfera dovute a fonti naturali e/o antropogeniche)

** = Inquinante Secondario (prodotto in atmosfera attraverso reazioni chimiche)

Normativa

Il Decreto Legislativo n. 155 del 13/08/2010 recepisce la Direttiva Europea 2008/50/CE istituendo un quadro normativo unitario in materia di valutazione e gestione della qualità dell'aria.

Al fine di salvaguardare la salute umana e l'ambiente, stabilisce limiti di concentrazione, a lungo e a breve termine, a cui attenersi.

Per valore limite si intende il livello di un inquinante, ovvero la concentrazione, fissato in base alle conoscenze scientifiche al fine di evitare, prevenire o ridurre gli effetti nocivi per la salute umana o per l'ambiente nel suo complesso e che non deve essere superato.

Il valore obiettivo è il livello fissato per evitare, prevenire o ridurre gli effetti nocivi per la salute umana o per l'ambiente nel suo complesso da conseguire, ove possibile, entro una data prestabilita.

La Tabella 2 riassume i limiti previsti dalla normativa per il PM10 e gli inquinanti rilevati nella campagna di monitoraggio: da questa si capisce che per alcuni inquinanti non è possibile esprimersi formalmente sul superamento di valori limite/obiettivo con campagne di breve durata, essendo questi riferiti a medie annuali. Tuttavia, il confronto tra quanto rilevato nella campagna e quanto misurato con continuità da anni nelle diverse stazioni fisse della RRQA consente di valutare le differenze tra i siti e quindi la probabilità di superamento anche dei valori limiti annuali.

Tabella 2. Valori limite e obiettivo degli inquinanti esaminati secondo il D.lgs. 155/10.

Particolato	Valore limite ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Periodo di mediazione
PM10	Valore limite protezione salute umana (da non superare più di 35 volte per anno civile) 50	24 ore
	Valore limite protezione salute umana 40	Anno civile
Metalli	Valore limite (ng/m^3)	Periodo di mediazione
Nichel	Valore obiettivo protezione salute umana 20	Anno civile
Piombo	Valore limite protezione salute umana 500	Anno civile
IPA	Valore limite (ng/m^3)	Periodo di mediazione
Benzo(a)pirene	Valore obiettivo protezione salute umana 1	Anno civile

Campagna di Misura Sito di Misura

Il comune di Lomagna presenta un profilo altimetrico quasi pianeggiante. Sorge in Brianza, ai margini del Parco regionale di Montevecchia e della Valle del Curone, all'estremo meridione della provincia di Lecco al confine con quella di Monza e Brianza.

L'economia si basa principalmente sull'industria, che è molto sviluppata soprattutto nel comparto metallurgico ed in quello chimico. In misura minore sono presenti anche fabbriche che operano nel comparto tessile, cartario, edile e della fabbricazione di cicli e motocicli.

I collegamenti stradali vengono assicurati dalla strada statale n. 342 diramazione Briantea, che corre a un chilometro dal centro abitato.

Relativamente alla zonizzazione del territorio ai sensi dell'art. 3 del D.lgs. 155/10, il comune di Lomagna ricade nell'Agglomerato di Milano.

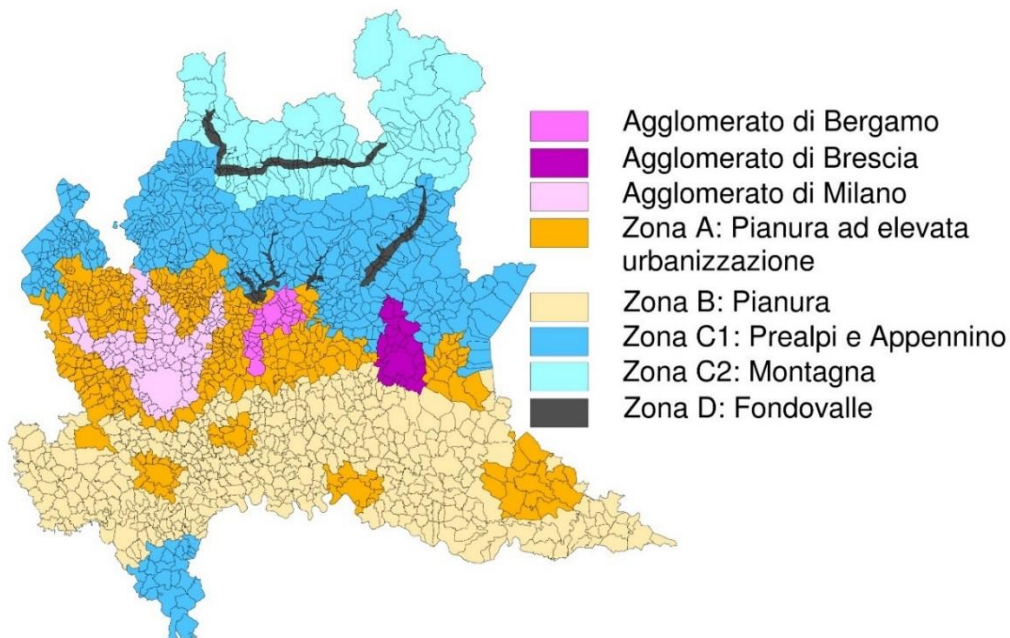


Figura 2. Zonizzazione del territorio ai sensi dell'art. 3 del D.Lgs. 155/10.

La scelta del sito di misura all'interno del territorio comunale è stata fatta cercando di rispettare determinati criteri. Prima di tutto bisogna tenere conto di qual è lo scopo della campagna che si deve effettuare, cioè quali inquinanti e sorgenti si intendono monitorare e quali sono i ricettori da considerare. Individuata la zona si deve verificare quali posizioni rispondono alle necessità dettate dalla normativa (Allegato III del D.lgs. 155/10 riguardo all'ubicazione delle stazioni di misura) e dalla logistica (spazi e alimentazione per gli strumenti, accessibilità, etc.). Infine, è importante che il luogo individuato rispetti tutte le norme di sicurezza, sia per le persone che per gli strumenti. Tenuto conto di quanto detto e delle finalità del campionamento, il campionario sequenziale è stato posizionato all'interno dell'area verde di pertinenza della scuola primaria A. Volta di via Matteotti, in una zona residenziale lontana da fonti emissive dirette (Latitudine: 45°40'1.16"N, Longitudine: 9°22'25.99"E).



Figura 3. Lomagna. Posizione del campionatore sequenziale nel centro abitato.



Vista verso Est



Vista verso Nord



Vista verso Ovest



Vista verso Sud

Figura 4. Lomagna. Viste dal campionatore sequenziale all'interno dell'area della scuola A. Volta.

Emissioni sul territorio

Per la stima delle principali sorgenti emissive sul territorio è stato utilizzato l'inventario regionale delle emissioni INEMAR (INventario EMissioni ARia), nella sua versione più recente "Inventario 2014".

L'inventario INEMAR, seguendo le impostazioni derivanti dalle esperienze nazionali e internazionali, è realizzato in base alle informazioni bibliografiche e tramite la partecipazione ai gruppi di coordinamento nazionali e internazionali. Le stime delle emissioni in atmosfera sono tipicamente soggette a incertezze, dovute a numerose cause distribuite lungo tutta la procedura di stima. In particolare, un inventario regionale, per sua natura, non può considerare tutte le specificità locali e può soffrire di una incompleta qualità delle informazioni statistiche disponibili, inoltre, il soggetto delle emissioni è in continuo "movimento" cioè in trasformazione.

L'inventario INEMAR fornisce dunque una "fotografia" delle emissioni e va considerato come un "database anagrafico" delle sorgenti presenti sul territorio con relativa stima delle quantità emesse.

Pertanto, non può essere utilizzato come un puro e unico indicatore della qualità dell'aria di una specifica zona, in quanto non può tenere conto dell'interazione che le sostanze emesse possono avere con l'atmosfera, la meteorologia o l'orografia del territorio. In particolare, il vento, la pioggia, etc. trasportano, disperdono o depositano gli inquinanti emessi alla fonte in tutto il territorio circostante, così che la qualità dell'aria di un sito dipende non solo dalle sorgenti locali ma dall'insieme degli inquinanti emessi in tutto il bacino aereografico e dalle loro interazioni.

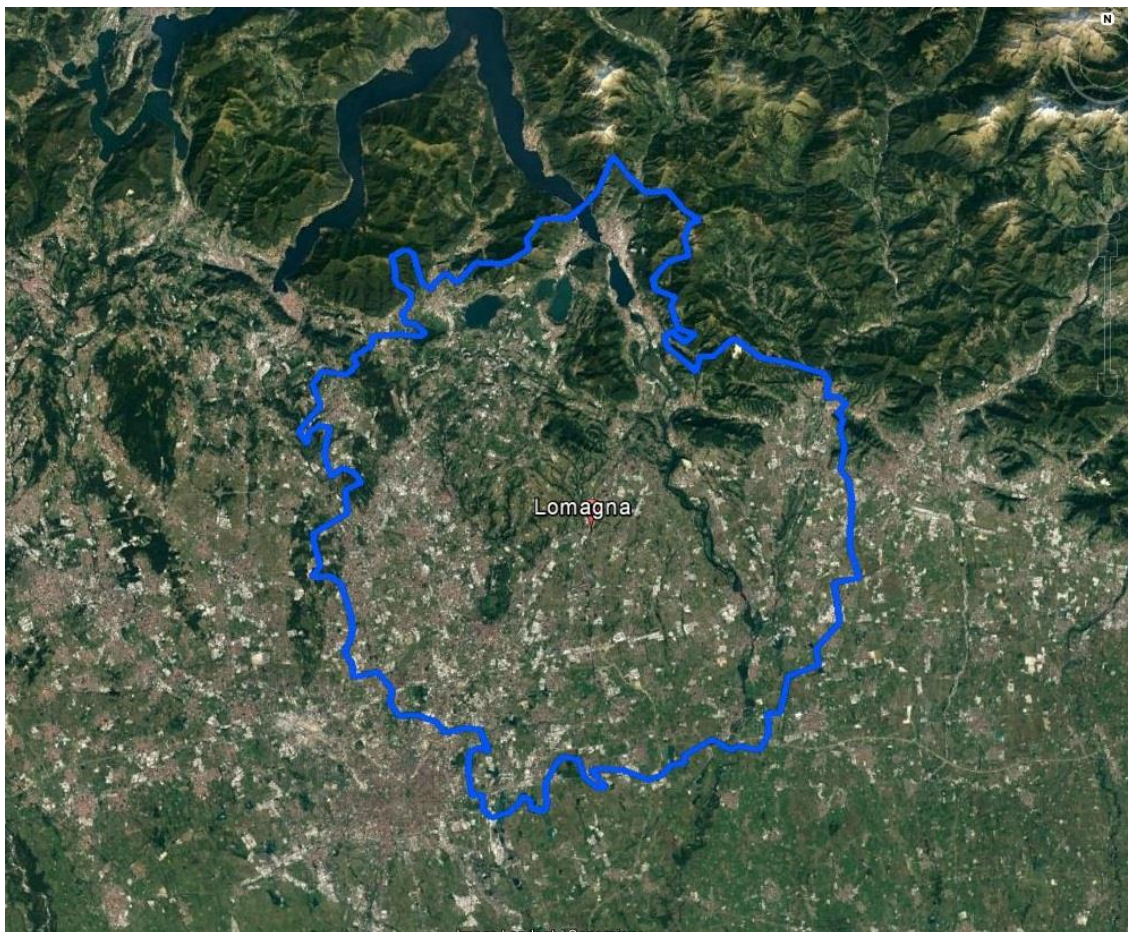


Figura 5. Bacino aereografico di Lomagna.

Per bacino aereografico si intende la porzione di territorio le cui emissioni possono incidere sulla qualità dell'aria del sito considerato ed è qui individuato dall'insieme dei comuni ricadenti entro una distanza di circa 20 km dal comune oggetto di studio, in relazione all'orografia del territorio.

Nel caso specifico di Lomagna la presenza di una vasta area montuosa poco urbanizzata determina un bacino irregolare verso Nord Est.

Tabella 3. I comuni del bacino aereografico di Lomagna.

Agrate Brianza	Busnago	Cremella	Merone	Roncello
Aicurzio	Bussero	Curno	Mezzago	Ronco Briantino
Airuno	Cabiate	Cusano Milanino	Missaglia	Rovagnate
Albate	Calco	Dalmine	Molteno	Santa Maria Hoè
Almè	Calolziocorte	Desio	Monguzzo	Segrate
Almenno San Bartolomeo	Calusco d'Adda	Dolzago	Monte Marengo	Seregno
Almenno San Salvatore	Cambiago	Ello	Montevecchia	Sesto San Giovanni
Alserio	Camparada	Erba	Monticello Brianza	Seveso
Alzate Brianza	Canonica d'Adda	Eupilio	Monza	Sirone
Ambivere	Cantù	Fara Gera d'Adda	Mozzo	Sirtori
Annone di Brianza	Caponago	Figino Serenza	Muggiò	Solza
Anzano del Parco	Capriate San Gervasio	Filago	Nibionno	Sotto il Monte Giovanni XXIII
Arcore	Caprino Bergamasco	Galbiate	Nova Milanese	Sovico
Arosio	Carate Brianza	Garbagnate Monastero	Novedrate	Suello
Barlassina	Carnate	Garlate	Oggiono	Suisio
Barzago	Carugate	Gessate	Olgiate Molgora	Sulbiate
Barzana	Carugo	Giussano	Olginate	Terno d'Isola
Barzanò	Carvico	Gorgonzola	Ornago	Treviolo
Basiano	Casatenovo	Grezzago	Orsenigo	Trezzano Rosa
Bellinzago Lombardo	Cassago Brianza	Imbersago	Osio Sopra	Trezzano sull'Adda
Bellusco	Cassano d'Adda	Inverigo	Osio Sotto	Triuggio
Bernareggio	Cassina de' Pecchi	Inzago	Osnago	Usmate Velate
Besana in Brianza	Castello di Brianza	Lallio	Paderno d'Adda	Valbrembo
Biassono	Cavenago di Brianza	Lambrugo	Paderno Dugnano	Valgrehentino
Boltiere	Cernusco Lombardone	Lesmo	Paladina	Valmadrera
Bonate Sopra	Cernusco sul Naviglio	Levate	Palazzago	Vaprio d'Adda
Bonate Sotto	Cesana Brianza	Lissone	Perego	Varedo
Bosisio Parini	Cesano Maderno	Longone al Segrino	Pescate	Vedano al Lambro
Bottanuco	Chignolo d'Isola	Lurago d'Erba	Pessano con Bornago	Veduggio con Colzano
Bovisio-Masciago	Cinisello Balsamo	Macherio	Pioltello	Verano Brianza
Brembate	Cisano Bergamasco	Madone	Ponte San Pietro	Vercurago
Brembate di Sopra	Ciserano	Malgrate	Pontida	Verdellino
Brenna	Civate	Mapello	Pontirolo Nuovo	Verderio Inferiore
Bresso	Colle Brianza	Mariano Comense	Pozzo d'Adda	Verderio Superiore
Briosco	Cologno Monzese	Masate	Pozzuolo Martesana	Viganò
Brivio	Concorezzo	Meda	Presezzo	Vignate
Brugherio	Cornate d'Adda	Medolago	Pusiano	Villa d'Adda
Bulciago	Correzzana	Melzo	Renate	Villasanta
Burago di Molgora	Costa Masnaga	Merate	Robbiate	Vimercate
			Rogeno	Vimodrone

Nell'ambito dell'inventario INEMAR la suddivisione delle sorgenti avviene per attività emmissive. La classificazione utilizzata fa riferimento ai macrosettori definiti secondo la metodologia CORINAIR (CORE INventory of AIR emissions) dell'Agenzia Europea per l'Ambiente:

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

Maggiori informazioni e una descrizione più dettagliata in merito all'inventario regionale sono disponibili sul sito web <http://www.inemar.eu/xwiki/bin/view/Inemar/WebHome>.

Considerati i motivi sopra esposti, per avere un'idea del potenziale impatto delle emissivo a cui è soggetto il comune di Lomagna, è stata considerata la stima del carico emissivo complessivo dell'intero bacino aereografico per i soli inquinanti di interesse nel presente studio:

- Particolato atmosferico (PM10)
- IPA-CLRTP¹ (Convention on Long Range Transport of Air Pollution), B(a)P
- Cr, Ni, Zn, Pb e Cu

I dati sono riportati in tabella 4.

Tabella 4. Stima delle emissioni assolute annue per ciascun inquinante.

INEMAR 2014	PM10	IPA-CLRTP	BaP	Ni	Zn	Pb	Cr	Cu
	t/anno	kg/anno	kg/anno	kg/anno	kg/anno	kg/anno	kg/anno	kg/anno
carico emissivo stimato del bacino aereografico	2510	1045	334	635	10397	3526	3421	9528

Per completezza di informazione, le tabelle con i contributi assoluti e percentuali dei macrosettori al carico emissivo totale dei singoli inquinanti sia per il comune di Lomagna che per l'intero bacino aereografico sono riportate nell'Allegato 1.

1. Gli IPA-CLRTP (o IPA-4) fanno riferimento alla convenzione internazionale sull'inquinamento atmosferico transfrontaliero a lunga distanza nella quale si considera la somma dei seguenti quattro idrocarburi: benzo(b)fluorantene, benzo(k)fluorantene, benzo(a)pirene, indeno(1,2,3-cd)pirene.

Per comprendere se le emissioni stimate per il bacino aerografico sono elevate o meno, si è fatto un confronto con quelle della fascia di territorio larga circa 15-20 Km omogenea al bacino considerato dal punto di vista orografico, vedi figura 6. Lomagna si trova infatti in una fascia di transizione tra la zona di pianura e quella montuosa della Lombardia. I comuni della fascia pedemontana ed i relativi carichi emissivi assoluti e percentuali sono riportati nell'Allegato 2.

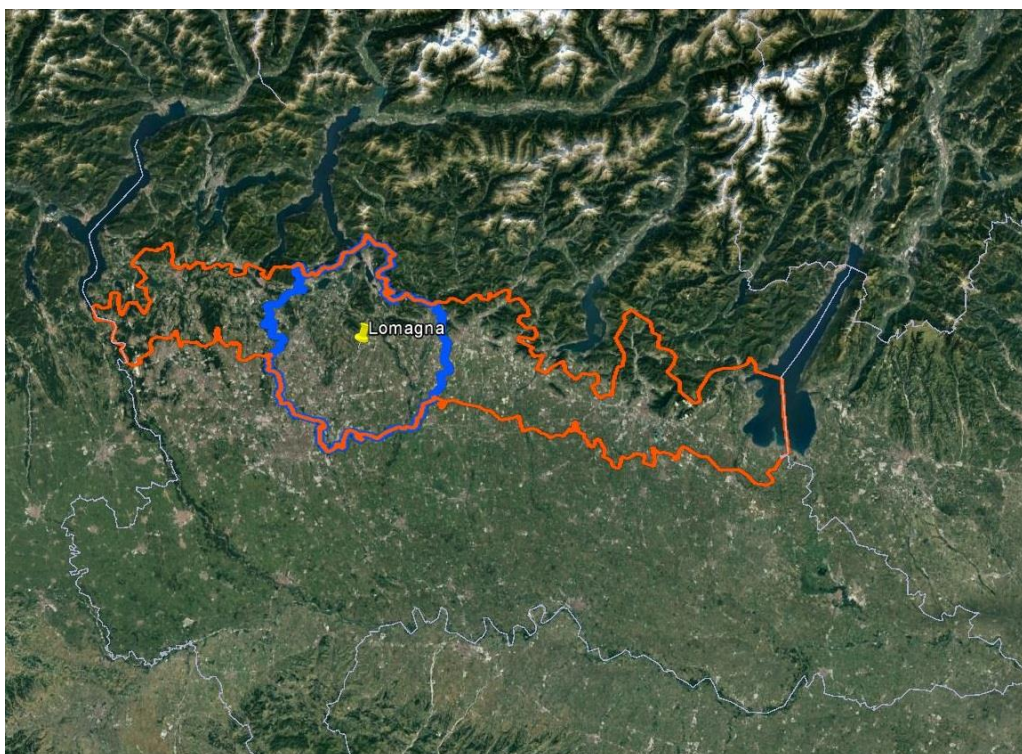


Figura 6. Bacino aerografico di Lomagna e fascia territoriale con orografia simile.

Infatti, il confronto tra le emissioni dei due contesti territoriali può essere effettuato se si considerano le emissioni specifiche, ovvero le emissioni rapportate all'unità di superficie e/o al numero di abitanti. Effettuando il rapporto tra il carico emissivo assoluto ed i parametri sopra riportati è possibile ricavare delle emissioni specifiche per abitante e per Km². Nel grafico seguente vengono esplicitati i rapporti tra le emissioni specifiche dell'intero bacino aerografico e quelle della fascia. Risulta che le specifiche sono confrontabili indicando pressioni antropiche confrontabili sul tutto l'ampio territorio considerato.

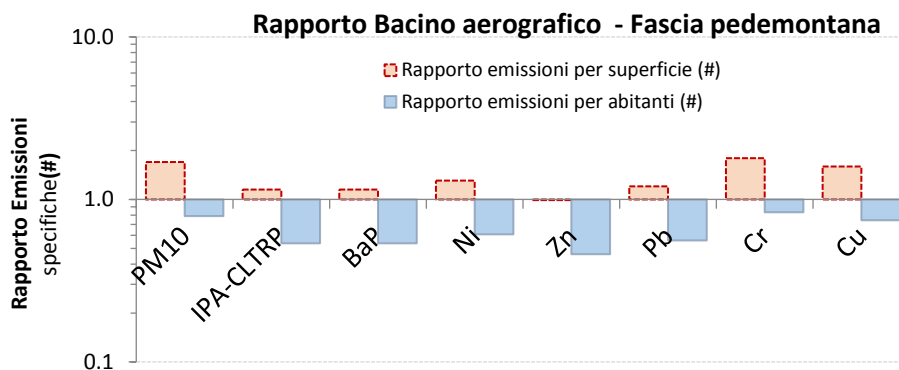


Figura 7. Rapporto tra le emissioni specifiche per km² e per abitante del bacino aerografico e della fascia pedemontana.

Tutto ciò non comporta direttamente che la qualità dell'aria del bacino aerografico di Lomagna sia migliore/peggiore rispetto a quella del resto della Lombardia. Infatti, gli inquinanti subiscono il fenomeno della diffusione, trasporto e di trasformazione fisico-chimica in atmosfera così da avere un potenziale impatto non esclusivamente nei punti o nelle aree in cui vengono emessi ma anche nelle aree circostanti, distanti anche alcuni chilometri, in relazione alle caratteristiche orografiche e meteo-climatiche della regione. Quanto le emissioni e la meteorologia effettivamente influiscano sulla qualità dell'aria di Lomagna è oggetto dell'analisi delle misure degli inquinanti (immissioni) effettuate sul territorio, esposte nel paragrafo "Andamento inquinanti in fase particolato nel periodo di misura e confronto con i dati rilevati da postazioni fisse".

Situazione meteorologica nel periodo di misura

I livelli di concentrazione degli inquinanti atmosferici in un sito dipendono, come è evidente, dalla quantità e dalle modalità di emissione degli inquinanti stessi nell'area, mentre le condizioni meteorologiche influiscono sia sulle condizioni di dispersione e di accumulo degli inquinanti, sia sulla formazione di alcune sostanze nell'atmosfera stessa. È pertanto importante che i livelli di concentrazione osservati, soprattutto durante una campagna di breve durata, siano valutati alla luce delle condizioni meteorologiche verificatesi nel periodo del monitoraggio.

Si discutono nel seguito le condizioni meteorologiche nel periodo di monitoraggio. Non essendo stati rilevati a Lomagna i parametri meteo, quelli ritenuti più rappresentativi per il sito di monitoraggio sono stati misurati nelle seguenti postazioni ARPA:

- Temperatura (°C), Intensità della radiazione solare globale (W/m²) a Casatenovo
- Precipitazione (mm) e Pressione Atmosferica (hPa) a Osnago
- Umidità relativa (%) Velocità (m/s) e direzione del vento a Montevecchia

Fase estiva

Durante la campagna estiva si è assistito ad un lungo periodo di stabilità, interrotto a tratti da fasi perturbate con piogge abbondanti serali o notturne che hanno favorito il rimescolamento dell'aria.

Le temperature non hanno subito variazioni di rilievo. Le massime si sono attestate attorno alla media stagionale e sono state mediamente comprese tra 26 e 34°, mentre le temperature minime hanno registrato valori lievemente superiori alla norma e sostanzialmente stazionari tra 12 e 22°C.

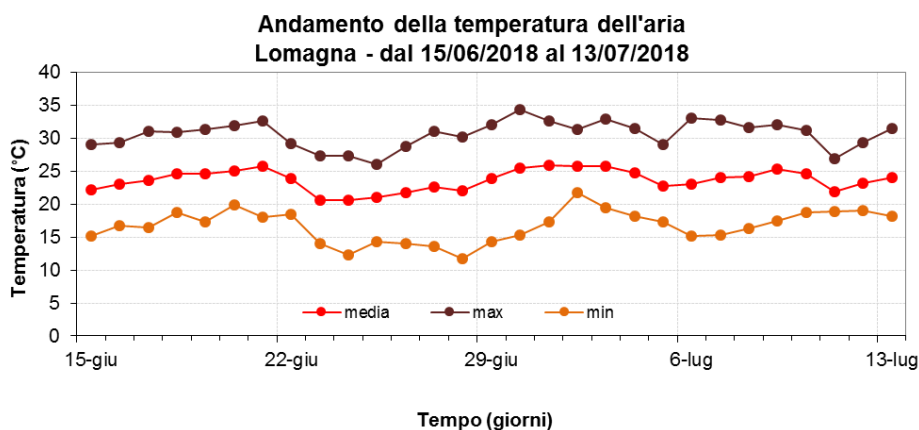


Figura 8. Andamento della temperatura dell'aria.

Escludendo le piogge, i diversi parametri meteo si sono mantenuti piuttosto stazionari durante l'intera fase della campagna.

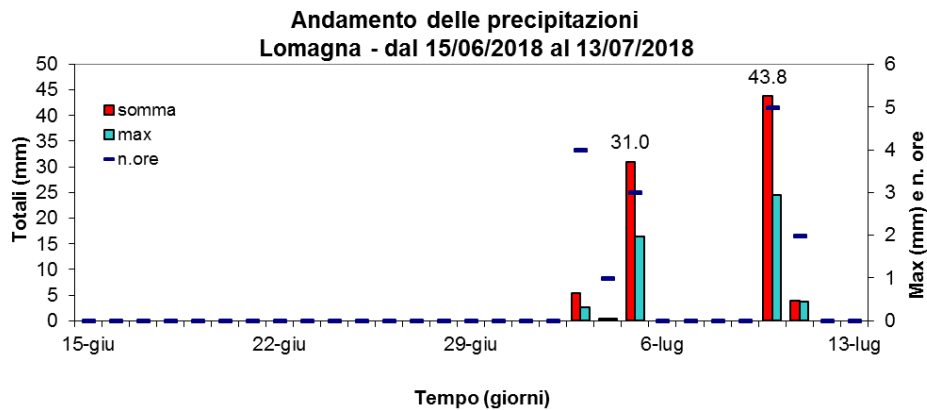


Figura 9. Andamento delle precipitazioni.

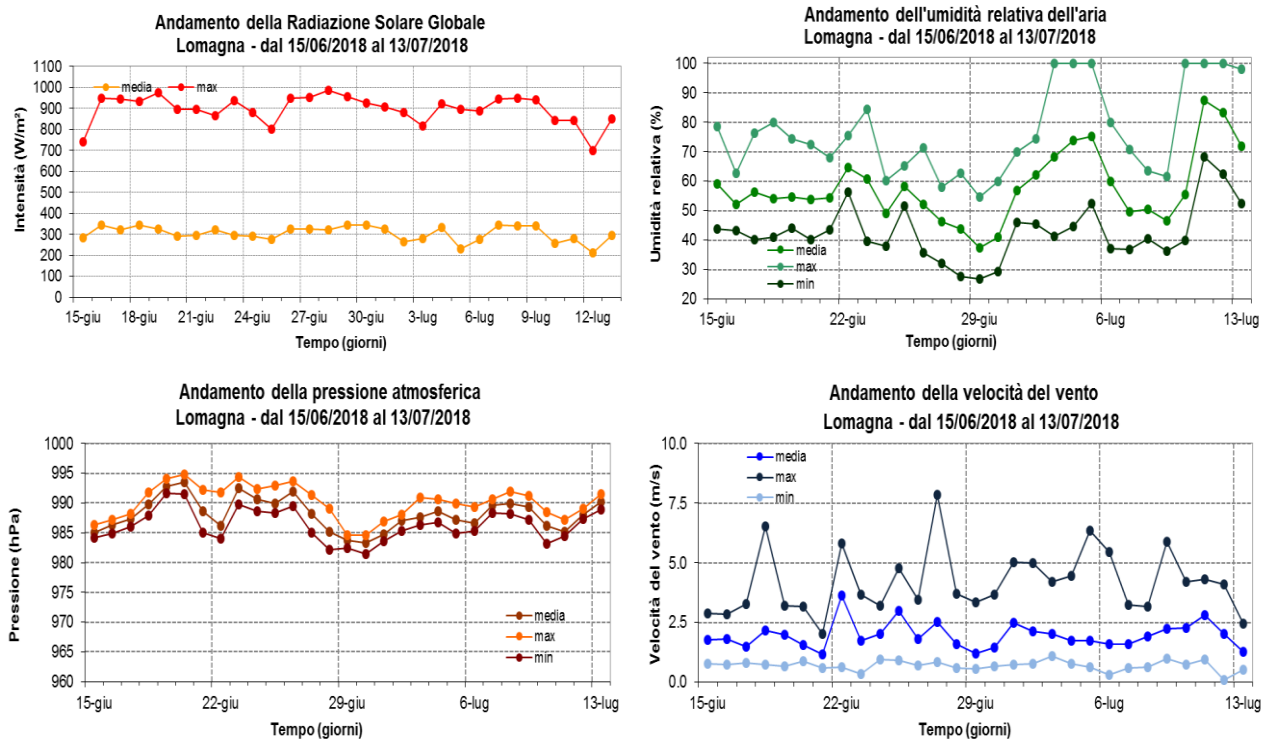


Figura 10. Andamento dei principali parametri meteorologici.

Durante la fase estiva della campagna, i venti si sono mantenuti deboli, a tratti moderati, con regime di brezza dai quadranti meridionali nelle ore centrali della giornata e da quelli settentrionali durante le ore notturne, favorendo comunque un buon rimescolamento dell'aria.

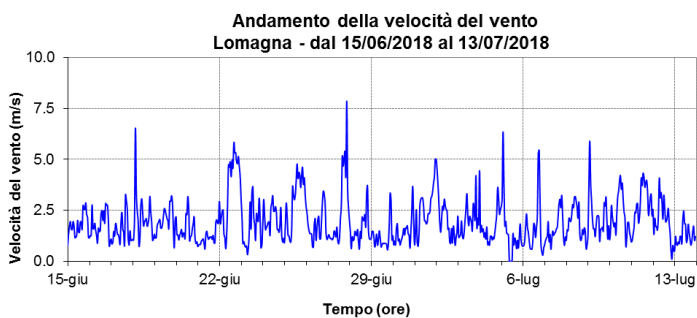


Figura 11. Andamento orario della velocità del vento.

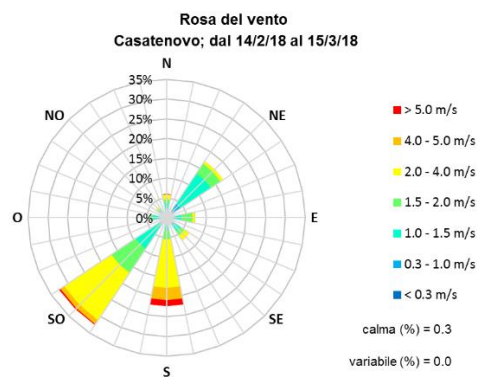


Figura 12. Rosa del vento.

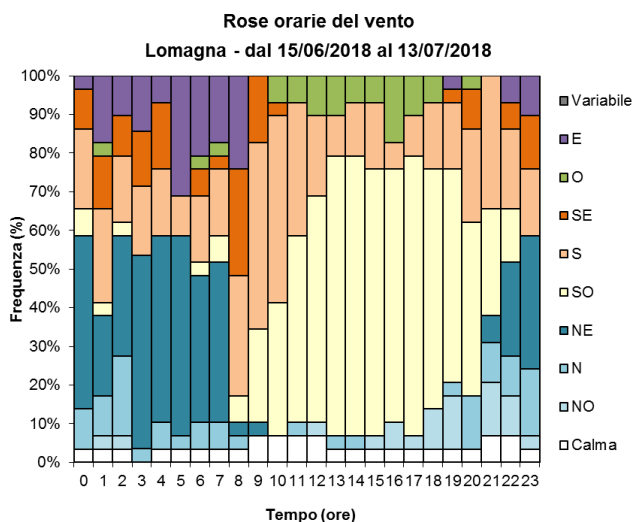


Figura 13. Distribuzione oraria della direzione del vento.

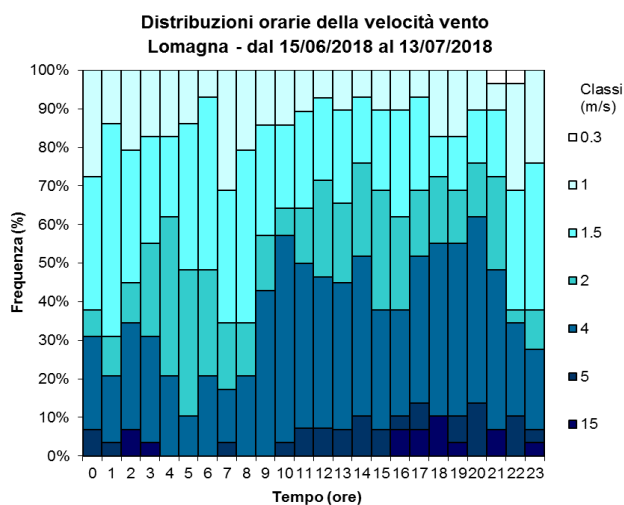


Figura 14. Distribuzione oraria della velocità del vento.

Andamento inquinanti in fase particolato nel periodo di misura e confronto con i dati rilevati da postazioni fisse

Il PM10

Come nella prima fase di campionamento è stato monitorato il PM10 per determinarne la speciazione.

Dato che, come già descritto in precedenza, il particolato ha fonti primarie ma anche formazione secondaria e poiché i livelli di concentrazione degli inquinanti in atmosfera dipendono fortemente dalle differenti sorgenti emissive, durante il periodo di misura, ma anche dalle condizioni meteorologiche verificatesi, è importante confrontare i dati misurati con quelli rilevati nello stesso periodo dalle stazioni fisse della Rete di Rilevamento della Qualità dell'Aria (RRQA).

Per tale motivo le concentrazioni rilevate a Lomagna sono state confrontate prioritariamente con quelle misurate in tutte le stazioni del Piano di Valutazione della Lombardia, di seguito PdV (vedi http://www.arpalombardia.it/sites/QAria/_layouts/15/QAria/ReteDiRilevamento.aspx) della RRQA della Lombardia, e secondariamente solo con quelle rilevate nelle postazioni più vicine e ricadenti all'interno del bacino aerografico di Lomagna, sia per osservarne le eventuali differenze e poter individuare l'impatto sulla

qualità dell'aria di eventuali sorgenti locali, sia per verificarne la rappresentatività in assenza del monitoraggio a Lomagna.

Il Piano di Valutazione è il programma di monitoraggio della qualità dell'aria coerente con il D.lgs. 155/2010, sia in termini di numero di stazione che di inquinanti da rilevare, che ogni Regione deve predisporre ed attuare dopo approvazione da parte del Ministero dell'Ambiente. In Lombardia il piano dopo tutte le approvazioni previste si è reso operativo dall'estate 2018.

Nella tabella 5 si riporta la classificazione delle stazioni utilizzate per il confronto.

Tabella 5. Stazioni della rete della qualità dell'aria situate vicino ai siti di misura.

Nome stazione	Rete	Tipo zona	Tipo Stazione	Altitudine [m s.l.m.]
Calusco d'Adda	PRIV	Suburbana	Ind./Fondo	273
Merate	PUB	Urbana	Traffico	292
Bergamo-Meucci	PUB	Urbana	Fondo	249
Lecco via Amendola	PUB	Urbana	Traffico	214
Bergamo -Garibaldi	PUB	Urbana	Traffico	249
Lecco via Sora	PUB	Suburbana	Fondo	214
Monza Parco	PUB	Suburbana	Fondo	189
Valmadrera	PRIV	Suburbana	Fondo	237

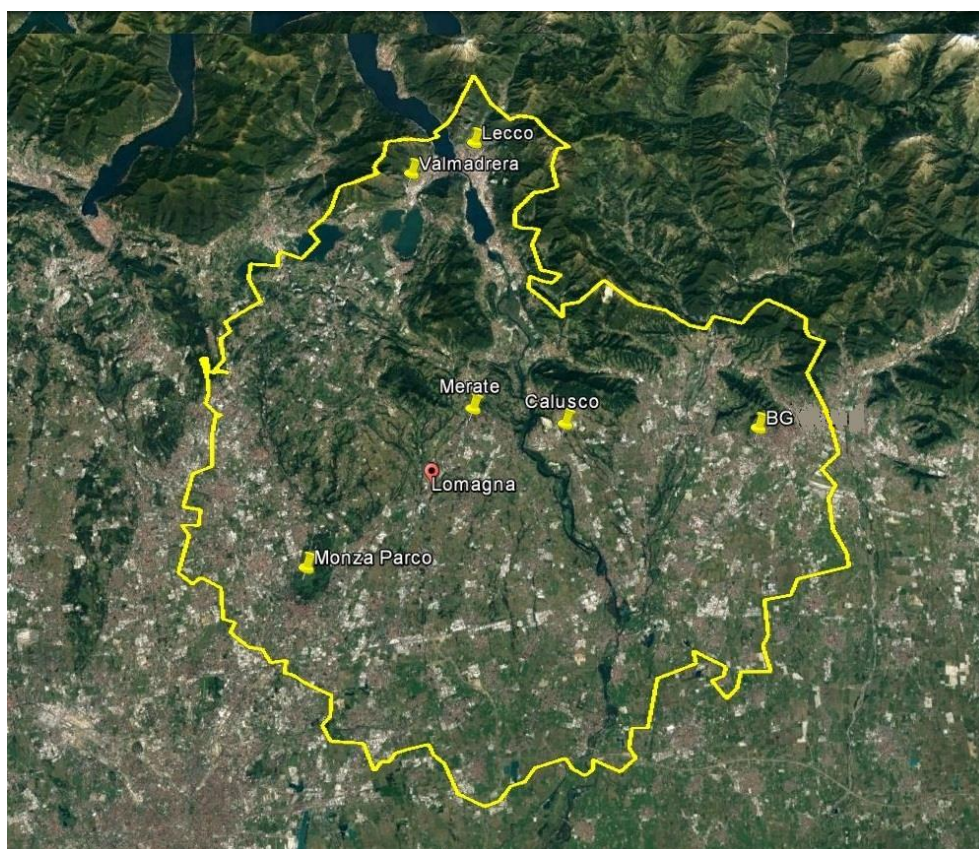


Figura 15. Mappa con individuazione di Lomagna e dei siti presi a confronto.

Nel grafico seguente si riporta il confronto tra le concentrazioni di PM10 di Lomagna e di tutti i siti del PdV. In particolare, l'area indicata come "Max-Min RRQA" rappresenta per ogni giorno la variabilità delle concentrazioni di inquinante registrate su tutta la rete di rilevamento, prendendo come estremi il massimo e minimo valore. Sono stati inoltre inseriti la mediana ed il 25° e il 75° percentile di tali dati. L'area indicata come "25°-75° percentile RRQA" rappresenta per ogni giorno la variabilità delle concentrazioni prendendo come estremi il 75° ed il 25° percentile dei valori. L'intervallo tra il 25° e il 75° percentile corrisponde ai valori di concentrazione dell'inquinante entro il quale si colloca la metà della totalità dei siti di monitoraggio della regione Lombardia.

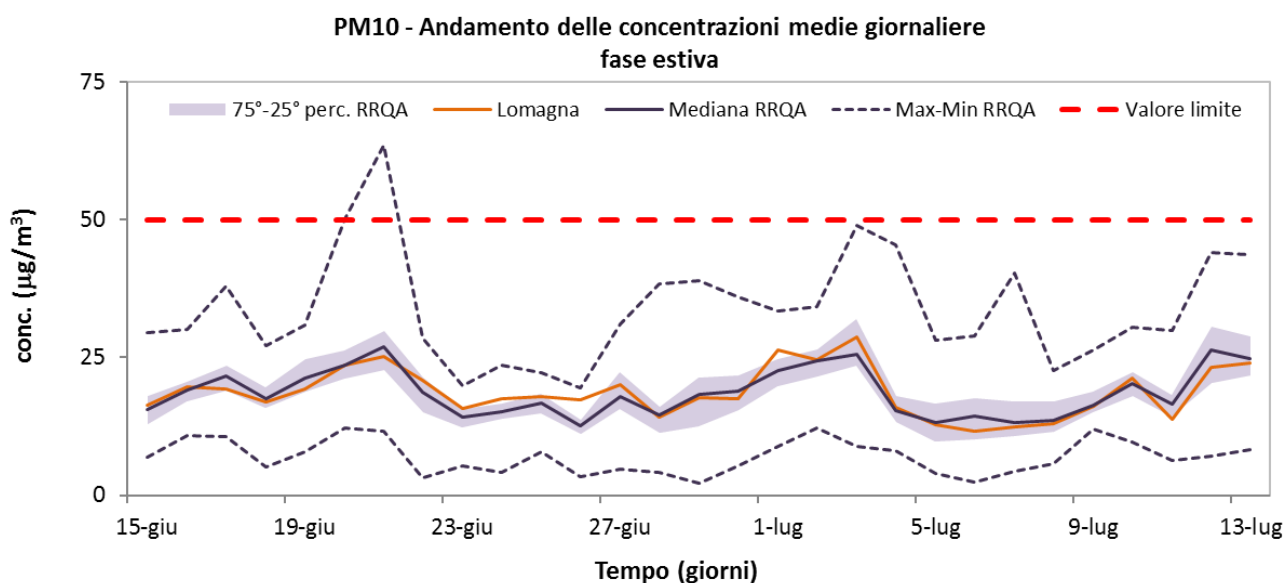


Figura 16. Confronto tra le concentrazioni di PM10 di Lomagna e quelle di tutte le stazioni del PdV della Lombardia.

Come per la fase invernale di monitoraggio, la Figura 16 mostra una diffusa omogeneità del PM10 nel territorio regionale, indicata dalla ristretta fascia tra il 25° ed il 75° percentile, e si evidenzia come anche nel periodo estivo le concentrazioni di Lomagna ricadano praticamente sempre all'interno della fascia in cui si colloca il 50% delle stazioni della RRQA.

Come atteso, sia dal grafico di figura 17 che dalla Tabella 6 si evince come le concentrazioni di PM10 misurate a Lomagna si siano sempre mantenute sostanzialmente simili, in valore ed in andamento, a quelle delle stazioni del PdV più vicine, senza alcuna variazione di rilievo.

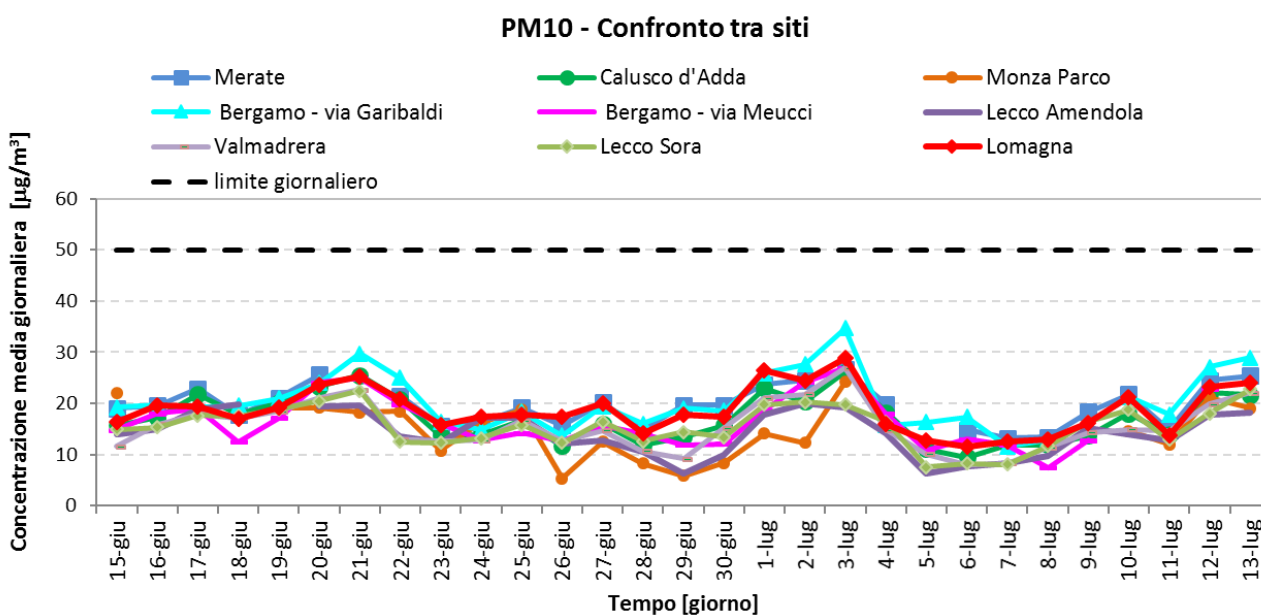


Figura 17. Confronto delle concentrazioni medie giornaliere di PM10 nella fase estiva.

Tabella 6. Statistiche essenziali relative al PM10 nella fase estiva.

dal 15 giugno 2018 al 13 luglio 2018	Lomagna	Merate	Calusco d'Adda	Monza Parco	Valmadrera	Bergamo - via Garibaldi	Lecco Amendola	Lecco Sora	Bergamo - via Meucci
PM10 media periodo [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	19	19	17	15	16	20	14	16	16
deviazione standard della media [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	1	1	1	1	1	1	1	1	1
PM10 max conc. 24h [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	29	27	26	24	27	35	20	23	27
n. gg superamento limite 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	0	0	0	0	0	0	0	0	0
rendimento	100%	93%	100%	69%	100%	100%	97%	100%	90%

Ciò conferma quanto sostenuto nel paragrafo sulle emissioni e cioè che la qualità dell'aria di un sito dipende non solo dalle sorgenti locali ma dall'insieme degli inquinanti emessi in tutto il bacino aereografico e dalle loro interazioni.

Come atteso, le concentrazioni estive di particolato sono state più basse rispetto a quelle del periodo invernale sia a causa della minor presenza delle sorgenti emissive, p.es. il riscaldamento domestico, sia a causa delle diverse condizioni meteorologiche più favorevoli alla dispersione degli inquinanti.

Generalmente, un maggior irraggiamento solare produce un maggior riscaldamento della superficie terrestre e di conseguenza un aumento della temperatura dell'aria a contatto con essa. Questo instaura moti convettivi nel primo strato di atmosfera (PBL) che hanno il duplice effetto di rimescolare le sostanze in esso presenti e di innalzare lo strato stesso. Conseguenza di tutto questo è una diluizione in un volume maggiore di tutti gli inquinanti, e quindi una diminuzione della loro concentrazione. Viceversa, condizioni fredde portano a una forte stabilità dell'aria e allo schiacciamento verso il suolo del primo strato atmosferico, il quale funge da trappola per le sostanze in esso presenti, favorendo così l'accumulo degli inquinanti e l'aumento della loro concentrazione.

Stima della media annuale del PM10 di Lomagna

La normativa fornisce un limite annuo per il PM10 pari a $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Al fine di valutare la possibilità o meno del superamento del limite a Lomagna, è stata effettuata una stima della media annuale di PM10 riferita al 2017, considerando le concentrazioni misurate nel 2018 all'interno dell'anno precedente.

Verificata l'omoschedasticità della serie delle medie annuali 2017 del PM10, è stata costruita la retta di regressione lineare di figura 18 tra le concentrazioni medie sul periodo di campagna, considerato nel 2017, e le medie annuali per tutti i siti del PdV della RRQA aventi un rendimento sul periodo maggiore del 75% (64 su 64 totali). Il coefficiente di correlazione $R^2=0.89$ indica una correlazione altamente significativa. Ciò ha permesso la stima della concentrazione media annuale per Lomagna che è risultata pari a $34 \mu\text{g}/\text{m}^3$, con associata una deviazione standard di $2.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ che garantisce una probabilità del 99.3% che il limite annuale del PM10 non sia stato superato nel 2017.

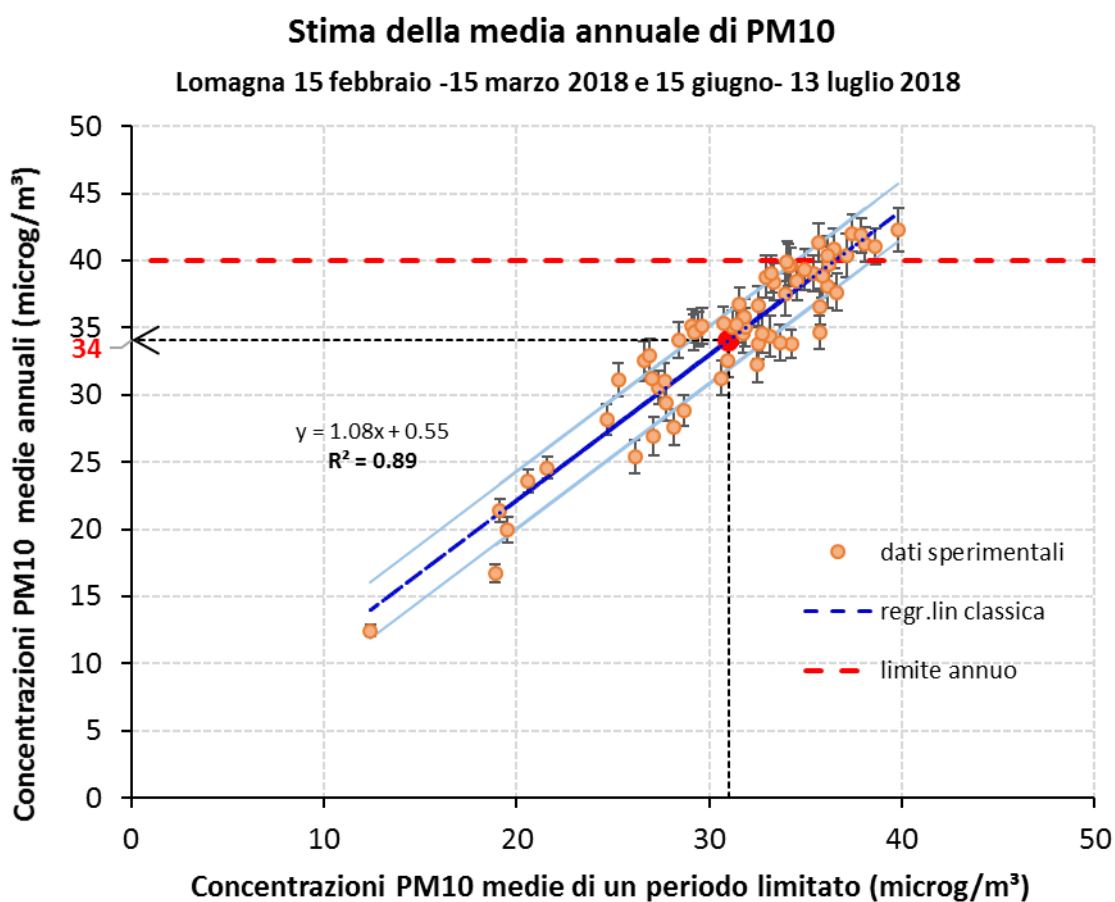


Figura 18. Stima annuale del PM10 per Lomagna nel 2017.

Le sorgenti del particolato

Per avere una prima indicazione di quali siano le principali sorgenti emissive che incidono sulla qualità dell'aria di Lomagna è stato utilizzato l'inventario regionale delle emissioni INEMAR.

Come già ribadito, l'inventario, non può essere utilizzato come un puro e unico indicatore della qualità dell'aria di una specifica zona.

Come mostra la figura 19, INEMAR stima che nel bacino di Lomagna le fonti emissive prevalenti per il PM10 siano le combustioni non industriali ed il trasporto su strada; le prime si riferiscono all'uso della legna per il riscaldamento domestico, le seconde sono legate soprattutto all'usura degli pneumatici e delle parti metalliche, al risollevarimento e alle emissioni degli automezzi diesel (specialmente mezzi pesanti). Minori contributi sono comunque da attribuirsi alle combustioni industriali e all'uso dei solventi nell'industria ed ancora più bassi ad altre sorgenti ed assorbimenti ai diversi processi produttivi presenti sul territorio considerato.

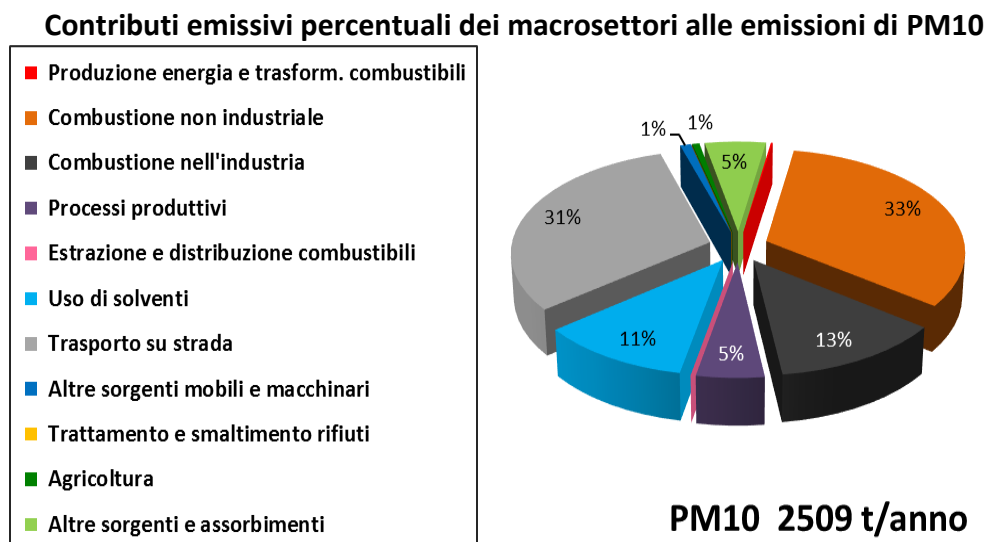


Figura 19. Bacino aerografico. Contributi percentuali dei macrosettori alle emissioni di PM10.

Per individuare le possibili sorgenti del particolato attraverso misurazioni ambientali e potersi confrontare con quanto stimato in INEMAR, i filtri utilizzati per la determinazione della concentrazione di massa del PM10 a Lomagna sono stati sottoposti ad analisi specifiche.

Nel periodo estivo non sono state fatte le analisi per il rilevamento degli IPA, poiché campagne svolte negli anni precedenti in comuni vicini hanno sempre mostrato che le concentrazioni di questa classe di inquinanti sono sempre risultate al di sotto del limite di rilevabilità delle tecniche analitiche. Ciò si spiega sia perché viene a ridursi significativamente la loro principale fonte emmissiva, le combustioni di biomassa da parte degli impianti di riscaldamento domestici, sia per la loro elevata fotodegradabilità nel periodo estivo.

Con la spettrometria XRF è stata individuata la presenza e la relativa concentrazione dei seguenti elementi con numero atomico $Z > 11$: Al, Si, P, S, Cl, K, Ca, Ti, Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, Br, Rb, Pb, V.

Come nel periodo invernale, è stato fatto un confronto con quanto rilevato nella stazione di Bergamo Meucci le cui concentrazioni assolute di particolato, si è già visto, sono confrontabili con quelle del sito in studio.

Nella tabella 7 vengono riportati alcune statistiche essenziali degli elementi le cui concentrazioni hanno superato il limite di rilevabilità strumentale (Imr) in almeno il 60% dei giorni di rilevamento.

Dato che gli strumenti utilizzati nei siti per la raccolta dei campioni di PM10 sono diversi, gravimetrico a Lomagna e un automatico ad assorbimento di raggi beta a Bergamo Meucci ed utilizzano volumi di campionamento diversi, lo sono anche i lmr per i siti.

Tabella 7. Statistiche essenziali degli elementi con indicazione del numero dei dati maggiore del limite di rilevabilità.

Lomagna		Al	Si	S	Cl	K	Ca	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Ni	Cu	Zn	Br	Rb	Pb
periodo estivo	n. camp.effettivi	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29
	%>l.m.r.	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	0%	55%	100%	100%	93%	100%	100%	3%	38%	48%
	media ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	0.190	0.631	0.807	0.031	0.169	0.529	0.024	<0.0024	<0.0023	0.009	0.391	0.003	0.016	0.140	<0.003	<0.0009	<0.006
	dev.st.della media ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	0.018	0.048	0.063	0.005	0.011	0.038	0.002	---	---	0.001	0.019	0.000	0.001	0.045	---	---	---
BG Meucci		Al	Si	S	Cl	K	Ca	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Ni	Cu	Zn	Br	Rb	Pb
periodo estivo	n. camp.effettivi	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16
	%>l.m.r.	100%	100%	100%	63%	100%	100%	100%	31%	13%	88%	100%	19%	100%	100%	69%	38%	31%
	media ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	0.159	0.568	0.822	0.036	0.127	0.500	0.019	<0.0045	<0.003	0.007	0.365	<0.0009	0.010	0.027	0.002	<0.0007	<0.004
	dev.st.della media ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	0.027	0.066	0.094	0.008	0.009	0.049	0.002	---	---	0.001	0.025	---	0.001	0.002	0.000	---	---

Dalle concentrazioni elementali rilevate nel PM10 a Lomagna risulta che il fosforo ed il vanadio sono sempre stati al disotto del proprio lmr, mentre Br, Rb e Pb lo sono stati in più del 60% dei giorni di campionamento. Gli elementi risultati frequentemente al di sotto del proprio lmr non verranno utilizzati nelle successive elaborazioni. Gli unici elementi normati su scala annuale, il Pb ed il Ni, hanno registrato una media su tutto il periodo rispettivamente pari a $0.021 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e $0.002 \mu\text{g}/\text{m}^3$, valori minori di un ordine di grandezza rispetto ai propri limiti di legge, lasciandone intendere il non raggiungimento.

In figura 20 vengono rappresentate le medie delle concentrazioni elementali assolute calcolate solo per i giorni in cui si ha disponibilità del dato in entrambi i siti a confronto ed è rappresentata anche la deviazione standard della media.

Per un confronto, in figura 21 si riportano anche le medie del periodo invernale dalla campagna.

In entrambi i periodi, non risultano differenze statisticamente significative tra le medie dei due siti a sottolineare come l'inquinamento a Lomagna dipenda da fattori di bacino e non solo locali.

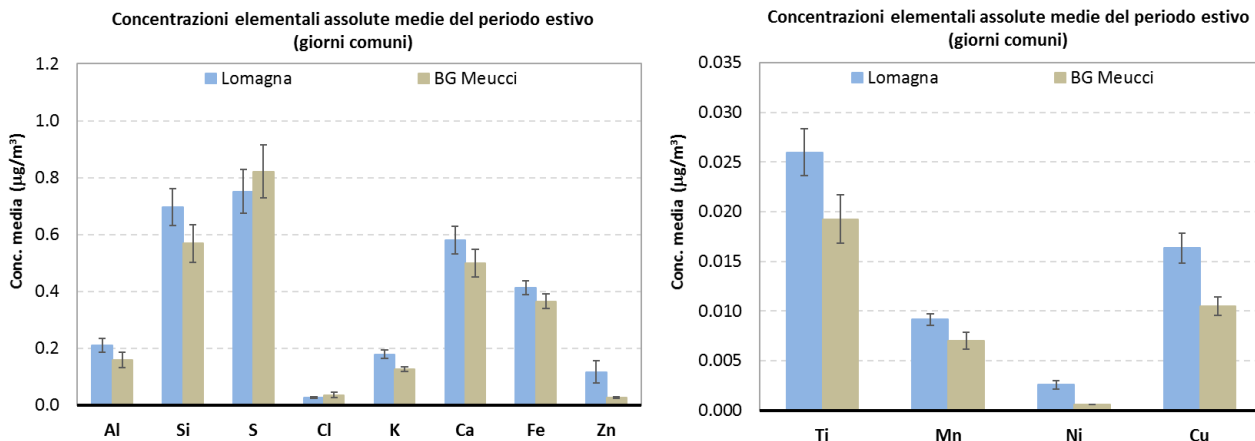


Figura 20. Confronto delle medie delle concentrazioni elementali assolute nella fase estiva della campagna.

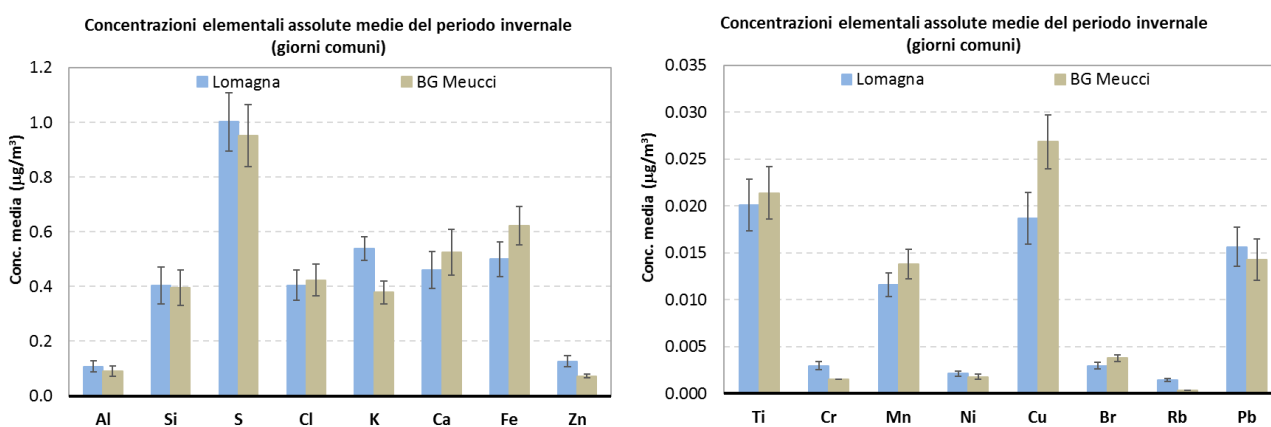


Figura 21. Confronto delle medie delle concentrazioni elementali assolute nella fase invernale della campagna.

È invece da evidenziare che a Lomagna nel periodo estivo, rispetto a quello invernale, sono sensibilmente diminuiti: il piombo attribuibile alle attività industriali, il rubidio ed il potassio attribuibili alle combustioni di biomasse, ed il cloro avente diverse sorgenti sia naturali che antropiche, tra cui lo spargimento del sale per lo scioglimento del ghiaccio nelle strade. Ni, Cu, Mn e Zn mantengono sostanzialmente la stessa media in entrambi i periodi di campagna ad indicare delle sorgenti emittive presenti durante tutto l'anno.

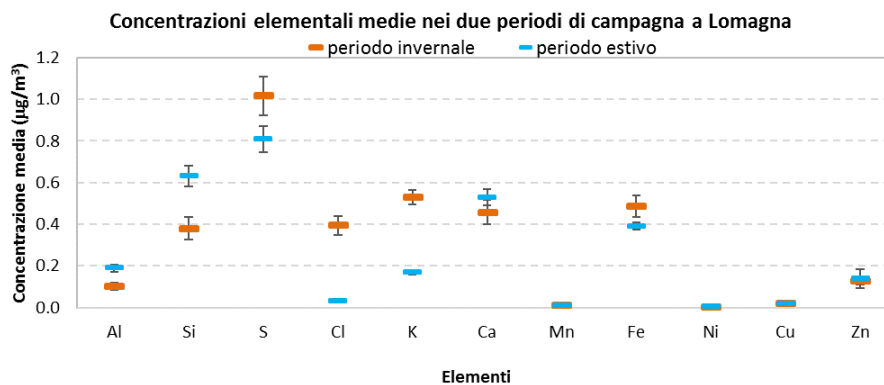


Figura 22. Confronto delle medie delle concentrazioni elementali assolute a Lomagna nelle due fasi della campagna.

Proprio per avere una indicazione di quanto le concentrazioni dei diversi elementi presenti nel particolato atmosferico risultino alterate per la presenza di emissioni antropiche, sono stati calcolati i fattori di arricchimento che esprimono quanto un elemento in aria, risulti arricchito rispetto alla sua naturale concentrazione nel terreno. Il FA è il rapporto tra la concentrazione in aria di un elemento e quella dell'elemento di riferimento diviso l'analogo rapporto tra le concentrazioni nel suolo dell'elemento considerato e l'elemento di riferimento.

$$FA = \frac{[C_{i,ARIA}]/[C_{ref,ARIA}]}{[C_{i,SUOLO}]/[C_{ref,SUOLO}]}$$

Il FA è stato calcolato usando come riferimento il Silicio (considerato avente unica sorgente il terreno), utilizzando la composizione elementale del suolo media.

Essendo il silicio nel PM prevalentemente di origine crostale, i fattori di arricchimento danno un'indicazione di quanto le proporzioni tra i diversi elementi si avvicinino ai rapporti medi nella crosta terrestre: quanto più il fattore di arricchimento di un determinato elemento è prossimo a 1, tanto più si può ritenere l'elemento legato al fenomeno della risospensione, poiché il rapporto tra la sua concentrazione e quella del Si è simile a quello riscontrato nella crosta terrestre. Viceversa, quanto più è alto questo rapporto, tanto maggiore sarà il contributo di origine antropica all'elemento considerato. Come da letteratura (Per esempio Douglas R. Lawson, John W. Winchester, "A standard crustal aerosol as reference for elemental enrichment factors", Atmospheric Environment 1979), dei fattori di arricchimento è significativo l'ordine di grandezza e non il valore assoluto.

In Tabella 8 sono riportati i fattori di arricchimento per i due siti, calcolati utilizzando come riferimento le concentrazioni determinate nel suolo dell'area di Milano, non avendo a disposizione misure locali.

Partendo dalle conoscenze acquisite sul territorio in esame, sulla tipologia di sorgenti e basandosi su lavori precedentemente fatti, si è stabilito ragionevole un valore di riferimento pari a 4 per la suddivisione tra elementi di origine tipicamente crostale ed elementi antropogenici.

Tabella 8. Confronto tra siti dei Fattori di Arricchimento.

		Al	Si	S	Cl	K	Ca	Ti	Cr	Mn	Fe	Ni	Cu	Zn	Rb	Pb
Lomagna	F.A. medio invernale	1	1	299	755	26	3	3	19	8	8	20	37	164	10	32
	F.A. medio estivo	1	1	97	31	3	2	2	---	3	3	11	15	96	---	---
BG Meucci	F.A. medio invernale	1	1	283	848	19	3	4	---	10	11	16	48	119	---	19
	F.A. medio estivo	1	1	100	38	2	2	2	---	3	4	---	11	20	---	---

Dalla tabella è possibile evidenziare che i fattori di arricchimento nei due siti risultano simili in ordine di grandezza con FA elevati per S, Cl, Zn soprattutto nel periodo invernale; lo Zolfo prende parte nella formazione di particolato secondario inorganico, in particolare di solfato d'ammonio; Nichel, Rame e Zinco sono in prevalenza di origine industriale; per Rame e Zinco anche le emissioni da traffico possono essere significative; il Cloro ha varie origini sia naturali che antropiche legate ad attività industriali e nel periodo invernale può essere un indicatore non specifico della combustione da legna oltre ad essere dovuto allo spargimento del sale per lo scioglimento del ghiaccio nelle strade.

In entrambi i periodi di campagna, elementi come Al, Si, Ca, Ti presentano FA prossimi all'unità confermando quindi una chiara origine naturale (o perlomeno crostale). Ad essi si uniscono Mn, Fe nel periodo estivo.

I fattori di arricchimento di Cr, Ni, Cu, e Pb suggeriscono la presenza di sorgenti di natura mista, sia antropica che naturale.

Il potassio (K) è un tracciante non specifico delle combustioni di biomasse, ma in assenza di esse ha natura terrigena. In inverno, infatti, il FA del potassio è risultato più elevato rispetto all'estate, e la buona correlazione tra la sua frazione di origine antropica calcolata come:

$$K_{terr} = K/FA \quad K_{no\ terr} = K - K_{terr}$$

ed il levoglucosano, ha evidenziato la presenza di combustioni di biomasse a cui si lega circa l'80% della varianza delle concentrazioni di benzo(a)pirene di Lomagna.

Per il dettaglio visionare la relazione della prima parte della campagna.

Si fa notare che a Lomagna zinco e nichel sono più arricchiti rispetto al sito di fondo di Bergamo probabilmente a causa della presenza di qualche specifica attività industriale.

Quanto rilevato per gli elementi nella parte invernale della campagna, trova conferma anche nella fase estiva così come mostrato nell'analisi a cluster di figura 23.

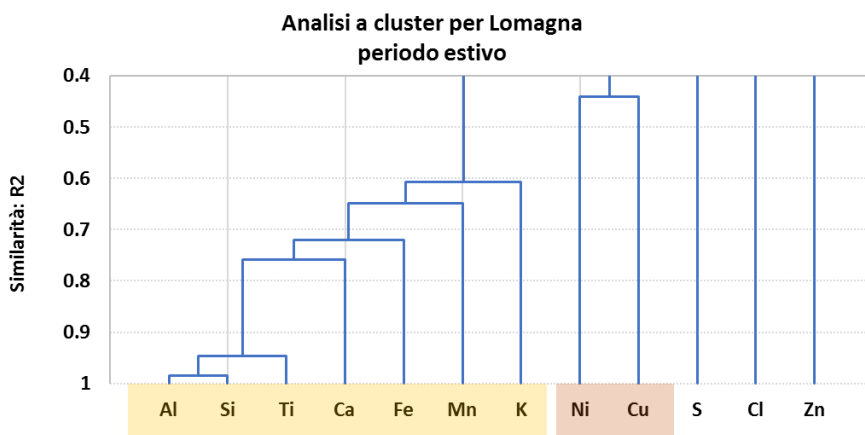


Figura 23. Analisi a cluster delle medie delle concentrazioni elementali assolute nel periodo estivo.

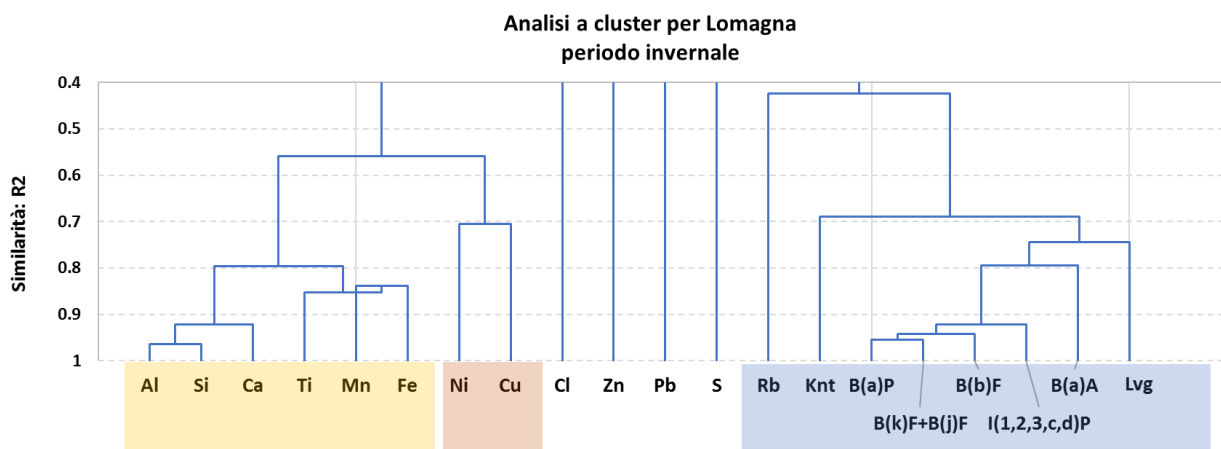


Figura 24. Analisi a cluster delle medie delle concentrazioni elementali assolute, degli IPA e del levoglucosano nel periodo invernale.

Escludendo gli IPA ed il levoglucosano che individuano le combustioni nel periodo invernale, elementi quali Al, Si, Ca, Ti, Mn, Fe ed anche il potassio nel periodo estivo sono legati alla risospensione; nichel e rame individuano la componente da traffico, legata all'usura delle parti meccaniche degli automezzi.

Rimangono separati dal resto e pertanto hanno fonti emissive diverse Zn, Pb probabilmente come stimato da INEMAR dovuti ad attività industriali e produttive presenti sul territorio, mentre lo zolfo ha come già detto natura secondaria, ed il Cloro origini varie sia naturali che antropiche.

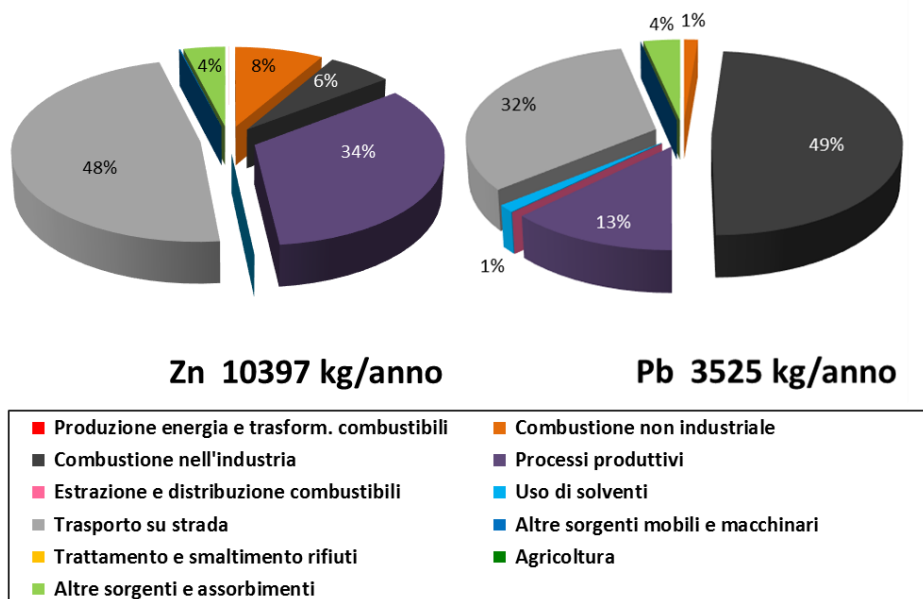


Figura 31. Bacino aerografico. Contributi percentuali dei macrosettori alle emissioni di Zn e Pb.

Confronto tra PM misurato e stimato nelle mappe NRT

Su sito di ARPA Lombardia vengono pubblicate quotidianamente le mappe di distribuzione degli inquinanti normati (mappe NRT – Near Real Time – Quasi in Tempo Reale). È infatti disponibile un archivio in cui sono raccolti i valori aggregati comunali calcolati a partire dai risultati delle simulazioni su scala regionale eseguite con un modello chimico-fisico di qualità dell'aria. Non si tratta pertanto di misure, ma di stime modellistiche. Per approfondimenti sulle modalità di calcolo si rimanda al link <http://www.arpalombardia.it/sites/QAria/layouts/15/QAria/Modellistica.aspx>.

I dati elaborati sono poi archiviati e resi disponibili al pubblico così che, anche in mancanza della classica stazione di monitoraggio è possibile avere ugualmente una informazione sulla qualità dell'aria nel proprio comune.

In figura 32 e 33 viene fatto un confronto tra le medie giornaliere di PM10 misurate durante la campagna di monitoraggio di Lomagna e i dati stimati delle mappe NRT, riportando rispettivamente l'andamento e la retta di regressione generalizzata tra le concentrazioni rilevate e le corrispondenti stimate per la medesima giornata, utilizzando tutti i dati utili disponibili.

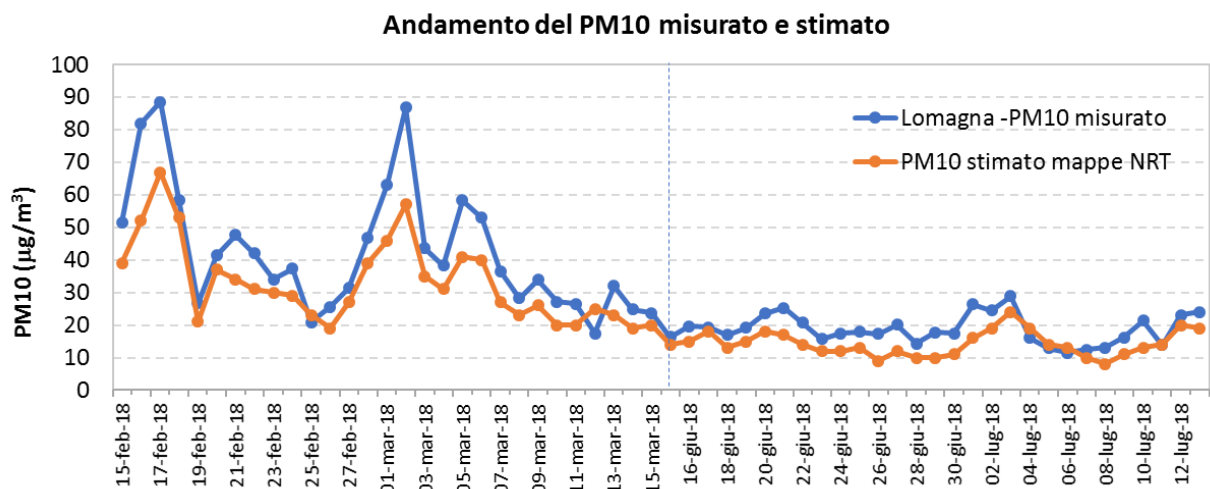


Figura 32. Andamento dei dati giornalieri di PM10 nei due periodi della campagna di Lomagna.

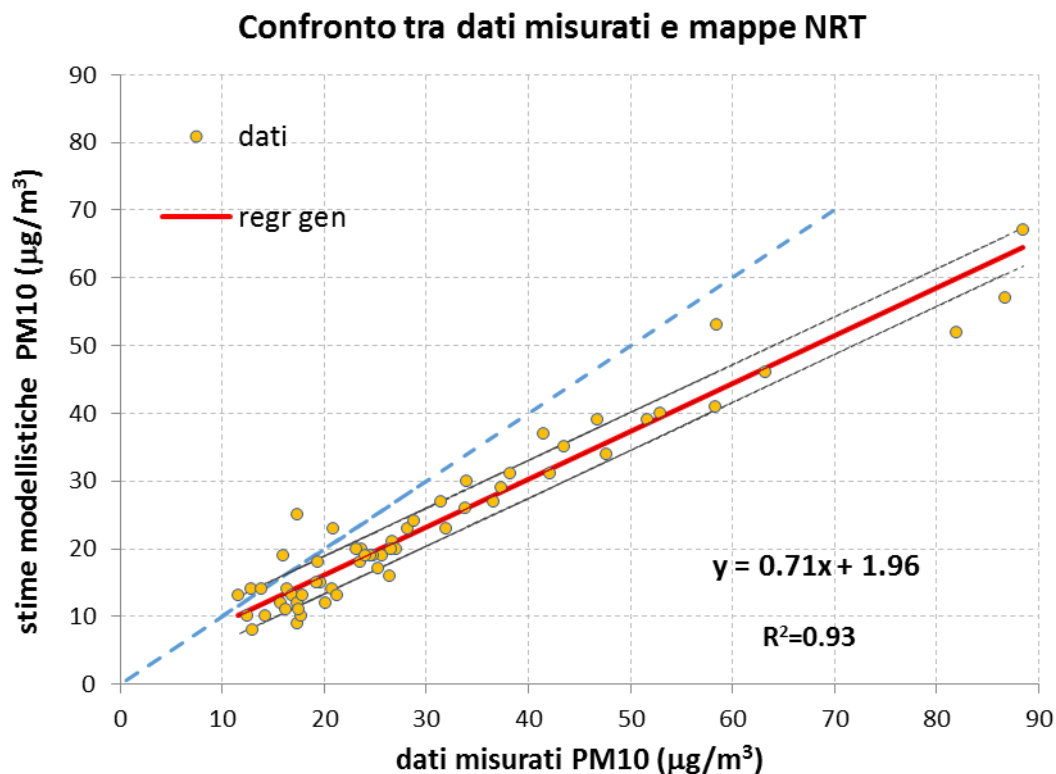


Figura 33. Confronto tra PM10 misurato e stimato dalle mappe NRT.

Nel grafico di figura 33 viene riportata tratteggiata la retta di identità e la retta di regressione generalizzata (considerando un errore statistico del modello doppio rispetto a quello delle misure) tra i dati misurati e i dati stimati dalle mappe NRT, mentre l'incertezza associata a y (cioè la σ_y) è risultata pari a $2.80 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ed è rappresentata con le linee in grigio.

L'intercetta è risultata $1.96 \mu\text{g}/\text{m}^3$ con una deviazione standard di $1.19 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Ciò vuol dire che l'origine degli assi si trova ad una distanza di circa 1.65 deviazione standard dall'intercetta calcolata che indica una

probabilità minore del 5% che essa sia significativamente diversa da zero e pertanto può essere considerata nulla.

Pur essendo il coefficiente di Pearson elevato, pari a 0.93, indice di un ottimo accordo nell'andamento tra le concentrazioni misurate e stimate, alla luce dei calcoli effettuati, e dai due precedenti grafici è possibile desumere che le mappe NRT sottostimano i valori medi giornalieri di PM10 di Lomagna in media del 29%.

Per una valutazione di questo risultato occorre tener presente la complessità del calcolo modellistico sottostante; infatti, le stime modellistiche utilizzano l'inventario delle emissioni che, a sua volta, è il risultato di una lunga serie calcoli a partire sia da dati reali che da dati di letteratura. In ogni caso, sulla base dei risultati fino ad ora ottenuti si è avviato un processo di revisione degli algoritmi di calcolo per migliorare l'accuratezza delle stime modellistiche.

Conclusioni

La campagna di monitoraggio dell'inquinamento atmosferico effettuata a febbraio-marzo e a giugno-luglio 2018 a Lomagna ha consentito una caratterizzazione dell'inquinamento dell'aria da PM10 del sito in studio in relazione ad un contesto territoriale più ampio.

Il monitoraggio delle concentrazioni giornaliere di PM10 non ha evidenziato differenze significative tra Lomagna e i siti di confronto della RRQA confermando che nell'area oggetto di studio l'inquinamento è piuttosto diffuso e dipende da fattori di bacino (elevata urbanizzazione ed industrializzazione), oltre che locali. I valori assoluti delle concentrazioni si collocano infatti nella fascia in cui ricade il 50% delle concentrazioni rilevate nelle stazioni di tutta la Rete di Rilevamento della Qualità dell'Aria della Lombardia. I superamenti del limite giornaliero, registrati durante il periodo invernale, sono stati rilevati contemporaneamente in un ampio territorio regionale.

La stima della media annuale di PM10 per i 2017 indica una probabilità del 99.3% di rispetto del limite normativo.

Le analisi condotte sul particolato danno evidenza di quanto stimato dall'Inventario delle Emissioni INEMAR circa l'impatto sulla qualità dell'aria della combustione di biomassa, di diversi processi produttivi e del traffico veicolare.

Lo studio condotto durante il periodo invernale di campionamento ha indicato che l'80% della varianza delle concentrazioni di benzo(a)pirene di Lomagna è legata alle combustioni di biomasse.

Le concentrazioni giornaliere di levoglucosano, marker specifico per i processi di combustioni della legna, si sono mantenute pressoché costanti nei diversi giorni di campagna, mostrando una certa uniformità nella diffusione di processi di combustione di biomasse nell'area in studio.

Ringraziamenti

Si ringrazia l'Amministrazione comunale di Lomagna per la collaborazione apportata durante la campagna di monitoraggio.

DATI INEMAR 2014

Contributi assoluti dei macrosettori al carico emissivo totale dei singoli inquinanti per Lomagna e per il suo bacino aerografico

Lomagna	PM10	IPA-CLTRP	BaP	Ni	Zn	Pb	Cr	Cu
	t/anno	kg/anno	kg/anno	kg/anno	kg/anno	kg/anno	kg/anno	kg/anno
Produzione energia e trasform. combustibili	-	-	-	-	-	-	-	-
Combustione non industriale	3.05	2.74	0.933	0.014	3.62	0.191	0.163	0.043
Combustione nell'industria	0.347	0.285	0.081	0.126	0.365	0.619	0.019	0.043
Processi produttivi	0.202	0.070	0.017	0.012	20.9	3.83	0.151	0.466
Estrazione e distribuzione combustibili	0	0	0	0	0	0	0	0
Uso di solventi	0.655	0	0	0	0	0.000	0.003	0.002
Trasporto su strada	1.89	0.170	0.041	0.194	12.4	3.09	1.17	24.5
Altre sorgenti mobili e macchinari	0.038	0.003	0.001	0.001	0.018	0.001	0.001	0.031
Trattamento e smaltimento rifiuti	0.009	0.000	0	0	0.006	0.000	0	0
Agri cultura	0.046	0	0	0	0	0	0	0
Altre sorgenti e assorbimenti	0.334	0.025	0.011	0.043	0.998	0.294	0.057	0.577
Totale	6.6	3.3	1.1	0.4	38.3	8.0	1.6	25.7

Bacino Aerografico	PM10	IPA-CLTRP	BaP	Ni	Zn	Pb	Cr	Cu
	t/anno	kg/anno	kg/anno	kg/anno	kg/anno	kg/anno	kg/anno	kg/anno
Produzione energia e trasform. combustibili	4.22	0.030	0.006	0.038	0.735	0.088	0.041	0.046
Combustione non industriale	822	700	240	3.42	876	46.0	39.3	10.3
Combustione nell'industria	317	255	70.3	336	645	1713	2835	191
Processi produttivi	124	5.03	1.26	204	3500	455	46.4	67.9
Estrazione e distribuzione combustibili	0	0	0	0	0	0	0	0
Uso di solventi	280	0	0	0.002	0	46.7	4.01	1.81
Trasporto su strada	784	71.9	17.3	73.2	4953	1143	433	8999
Altre sorgenti mobili e macchinari	24.5	1.68	0.372	0.830	11.9	0.322	0.592	20.2
Trattamento e smaltimento rifiuti	0.009	0.000	0	0	0.006	0.000	39.3	0
Agri cultura	16.4	0.089	0.027	0.001	0.014	0.001	0.002	0.001
Altre sorgenti e assorbimenti	138	10.4	4.69	17.9	412	121	23.5	238
Totale	2510	1045	334	635	10397	3526	3421	9528

Contributi percentuali dei macrosettori al carico emissivo totale dei singoli inquinanti per Lomagna e per il suo bacino aerografico

Lomagna	PM10	IPA-CLTRP	BaP	Ni	Zn	Pb	Cr	Cu
	%	%	%	%	%	%	%	%
Produzione energia e trasform. combustibili	-	-	-	-	-	-	-	-
Combustione non industriale	46	83	86	4	9	2	10	0
Combustione nell'industria	5	9	7	32	1	8	1	0
Processi produttivi	3	2	2	3	54	48	10	2
Estrazione e distribuzione combustibili	0	0	0	0	0	0	0	0
Uso di solventi	10	0	0	0	0	0	0	0
Trasporto su strada	29	5	4	50	32	38	75	95
Altre sorgenti mobili e macchinari	1	0	0	0	0	0	0	0
Trattamento e smaltimento rifiuti	0	0	0	0	0	0	0	0
Agricoltura	1	0	0	0	0	0	0	0
Altre sorgenti e assorbimenti	5	1	1	11	3	4	4	2
Totale	100	100	100	100	100	100	100	100

Bacino Aerografico	PM10	IPA-CLTRP	BaP	Ni	Zn	Pb	Cr	Cu
	%	%	%	%	%	%	%	%
Produzione energia e trasform. combustibili	0.17	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00
Combustione non industriale	32.74	67.03	71.87	0.54	8.42	1.30	1.15	0.11
Combustione nell'industria	12.63	24.44	21.05	52.89	6.20	48.59	82.87	2.00
Processi produttivi	4.96	0.48	0.38	32.09	33.66	12.92	1.36	0.71
Estrazione e distribuzione combustibili	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Uso di solventi	11.17	0.00	0.00	0.00	0.00	1.32	0.12	0.02
Trasporto su strada	31.22	6.88	5.17	11.52	47.64	32.41	12.65	94.45
Altre sorgenti mobili e macchinari	0.97	0.16	0.11	0.13	0.11	0.01	0.02	0.21
Trattamento e smaltimento rifiuti	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.15	0.00
Agricoltura	0.65	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Altre sorgenti e assorbimenti	5.49	1.00	1.41	2.82	3.96	3.44	0.69	2.50
Totale	100	100	100	100	100	100	100	100

Comuni della fascia pedemontana di confronto

16003 - ALBANO SANT'ALESSANDRO (BG)	17002 - ADRO (BS)	13003 - ALBAVILLA (CO)	12002 - ALBIZZATE (VA)
16004 - ALBINO (BG)	17008 - AZZANO MELLA (BS)	13004 - ALBESE CON CASSANO (CO)	12005 - ARSAGO SEPRIO (VA)
16008 - ALZANO LOMBARDO (BG)	17014 - BEDIZZOLE (BS)	13005 - ALBIOLO (CO)	12006 - AZZATE (VA)
16018 - BAGNATICA (BG)	17015 - BERLINGO (BS)	13010 - APPIANO GENTILE (CO)	12008 - BARASSO (VA)
16028 - BOLGARE (BG)	17021 - BORGOSATOLLO (BS)	13022 - BEREGAZZO CON FIGLIARO (CO)	12012 - BESNATE (VA)
16042 - BRUSAPORTO (BG)	17023 - BOTTICINO (BS)	13023 - BINAGO (CO)	12016 - BODIO LOMNAGO (VA)
16043 - CALCINATE (BG)	17025 - BOVEZZO (BS)	13024 - BIZZARONE (CO)	12023 - BRUNELLO (VA)
16055 - CAROBBIO DEGLI ANGELI (BG)	17029 - BRESCIA (BS)	13028 - BREGNANO (CO)	12025 - BUGUGGIATE (VA)
16062 - CASTELLI CALEPIO (BG)	17032 - CALCINATO (BS)	13034 - BULGAROGGRASSO (CO)	12029 - CAIRATE (VA)
16066 - CAVERNAGO (BG)	17033 - CALVA GESE DELLA RIVIERA (BS)	13036 - CADORAGO (CO)	12030 - CANTELLO (VA)
16068 - CENATE SOPRA (BG)	17037 - CAPRIANO DEL COLLE (BS)	13038 - CAGNO (CO)	12033 - CARNAGO (VA)
16069 - CENATE SOTTO (BG)	17039 - CARPENEDOLO (BS)	13045 - CARBONATE (CO)	12035 - CARONNO VARESINO (VA)
16073 - CHIUDUNO (BG)	17040 - CASTEGNATO (BS)	13046 - CARIMATE (CO)	12038 - CASCIAGO (VA)
16076 - CIVIDATE AL PIANO (BG)	17042 - CASTEL MELLA (BS)	13055 - CASSINA RIZZARDI (CO)	12039 - CASORATE SEMPIONE (VA)
16079 - COLOGNO AL SERIO (BG)	17041 - CASTELCOVATI (BS)	13059 - CASTELNUOVO BOZZENTE (CO)	12044 - CASTELSEPRIO (VA)
16083 - CORTENUOVA (BG)	17045 - CASTREZZATO (BS)	13061 - CA VALLASCA (CO)	12046 - CASTIGLIONE OLONA (VA)
16084 - COSTA DI MEZZATE (BG)	17046 - CAZZAGO SAN MARTINO (BS)	13064 - CERMENATE (CO)	12047 - CASTRONNO (VA)
16094 - ENTRATICO (BG)	17048 - CELLATICA (BS)	13068 - CIRIMIDO (CO)	12048 - CA VARIA CON PREMEZZO (VA)
16113 - GHISALBA (BG)	17052 - CHIARI (BS)	13084 - CUCCIAGO (CO)	12049 - CAZZAGO BRABBIA (VA)
16114 - GORLAGO (BG)	17056 - COCCAGLIO (BS)	13099 - FALOPPIO (CO)	12055 - COMERIO (VA)
16115 - GORLE (BG)	17057 - COLLEBEATO (BS)	13100 - FENEGRO' (CO)	12057 - CROSIO DELLA VALLE (VA)
16117 - GRASSOBBIO (BG)	17059 - COLOGNE (BS)	13114 - GUANZATE (CO)	12064 - DA VERIO (VA)
16120 - GRUMELLO DEL MONTE (BG)	17061 - CONCESIO (BS)	13128 - LIMIDO COMASCO (CO)	12071 - GALLIATE LOMBARDO (VA)
16133 - MARTINENGO (BG)	17067 - DESENZANO DEL GARDA (BS)	13131 - LOCATE VARESINO (CO)	12072 - GA VIRATE (VA)
16139 - MONTELO (BG)	17069 - ERBUSCO (BS)	13133 - LOMAZZO (CO)	12073 - GAZZADA SCHIANNO (VA)
16141 - MORNICO AL SERIO (BG)	17072 - FLERO (BS)	13135 - LUISAGO (CO)	12077 - GOLASECCA (VA)
16144 - NEMBRO (BG)	17075 - GARDONE VALTROMPIA (BS)	13137 - LURAGO MARINONE (CO)	12080 - GORNATE OLONA (VA)
16157 - PALOSCO (BG)	17077 - GAVARDO (BS)	13138 - LURATE CACCIVIO (CO)	12085 - JERAGO CON ORAGO (VA)
16160 - PEDRENGO (BG)	17081 - GUSSAGO (BS)	13144 - MASLIANICO (CO)	12089 - LONATE CEPPINO (VA)
16173 - PRADALUNGA (BG)	17091 - LOGRATO (BS)	13154 - MONTANO LUCINO (CO)	12091 - LOZZA (VA)
16178 - RANICA (BG)	17092 - LONATO (BS)	13157 - MONTORFANO (CO)	12093 - CAZZAGO (VA)
16189 - SAN PAOLO D'ARGON (BG)	17096 - LUMEZZANE (BS)	13165 - OLGiate COMASCO (CO)	12096 - MALNATE (VA)
16194 - SCANZOROSCIATE (BG)	MANERBA DE GARDA	13169 - OLTRONA DI SAN MAMETTE (CO)	12105 - MORAZZONE (VA)
16198 - SERIATE (BG)	17104 - MARCHENO (BS)	13197 - RODERO (CO)	12106 - MORNAGO (VA)
16206 - SPIRANO (BG)	17107 - MAZZANO (BS)	13199 - RONAGO (CO)	12107 - OGGIONA CON SANTO STEFANO (VA)
16212 - TELGATE (BG)	17109 - MONIGA DEL GARDA (BS)	13201 - ROVELLASCA (CO)	12120 - SESTO CALENDE (VA)
16214 - TORRE BOLDONE (BG)	17114 - MONTIRONE (BS)	13202 - ROVELLO PORRO (CO)	12121 - SOLBIATE ARNO (VA)
16216 - TORRE DE ROVERI (BG)	17116 - MUSCOLINE (BS)	13206 - SAN FERMO DELLA BATTAGLIA (CO)	12123 - SOMMA LOMBARDO (VA)
16218 - TRESORE BALNEARIO (BG)	17117 - NAVE (BS)	13215 - SOLBIATE (CO)	12124 - SUMIRAGO (VA)
16222 - URGANO (BG)	17119 - NUVOLENTI (BS)	13222 - TA VERNERIO (CO)	12127 - TRADATE (VA)
16240 - VILLA DI SERIO (BG)	17120 - NUVOLERA (BS)	13228 - UGGIATE TREVANO (CO)	12133 - VARESE (VA)
ARCENE (BG)	17127 - OSPITALETTO (BS)	13232 - VALMOREA (CO)	12134 - VEDANO OLONA (VA)
AZZANO SAN PAOLO (BG)	17129 - PADENGHE SUL GARDA (BS)	13238 - VENIANO (CO)	12136 - VENEGONO INFERIORE (VA)
BERGAMO (BG)	17132 - PAITONE (BS)	13242 - VERTEMATE CON MINOPRIO (CO)	12137 - VENEGONO SUPERIORE (VA)
CASTEL ROZZONE (BG)	17133 - PALAZZOLO SULL'OGLIO (BS)	13245 - VILLA GUARDIA (CO)	12138 - VERGIATE (VA)
COMUN NUOVO (BG)	17136 - PASSIRANO (BS)	17174 - SAREZZO (BS)	
LURANO (BG)	17145 - POLPENAZZE DEL GARDA (BS)	17179 - SIRMIONE (BS)	
ORIO AL SERIO (BG)	17147 - PONCARALE (BS)	17180 - SOIANO DEL LAGO (BS)	
POGNANO (BG)	17150 - PONTOGLIO (BS)	17186 - TORBOLE CASAGLIA (BS)	
PONTERANICA (BG)	17155 - PREVALLE (BS)	17188 - TRAVAGLIATO (BS)	
SORISOLE (BG)	17158 - PUEGNAGO SUL GARDA (BS)	17192 - URAGO D'OGLIO (BS)	
STIZZANO (BG)	17161 - REZZATO (BS)	17199 - VILLA CARCINA (BS)	
VERDELLO (BG)	17164 - ROE VOLCIANO (BS)	17201 - VILLANUOVA SUL CLISI (BS)	
VILLA D'ALME (BG)	17165 - RONCADELLE (BS)		
ZANICA (BG)	17166 - ROVATO (BS)		
108025 - LAZZATE (MB)	17170 - SALO' (BS)		
108054 - LENTATE SUL SEVESO (MB)	17171 - SAN FELICE DEL BENACO (BS)		
108032 - MISINTO (MB)	17173 - SAN ZENO NAVIGLIO (BS)		

Contributi assoluti e percentuali dei macrosettori al carico emissivo totale dei singoli inquinanti per la fascia pedemontana di confronto.

Fascia pedemontana	SO ₂	NO _x	COV	CO	PM2.5	Precurs. O ₃
	t/anno	t/anno	t/anno	t/anno	t/anno	t/anno
Produzione energia e trasform.	0.272	260	22.2	134	2.45	355
Combustione non industriale	124	1673	1513	11743	1245	4860
Combustione nell'industria	76.9	2942	672	3324	201	4628
Processi produttivi	19.0	715	1420	13181	104	3744
Estrazione e distribuzione combustibili	0	0	1178	0	0	1347
Uso di solventi	0.006	9.72	15749	7.79	203	15761
Trasporto su strada	244	11381	2568	12050	614	17782
Altre sorgenti mobili e macchinari	43.1	1798	215	1045	61.1	2524
Trattamento e smaltimento rifiuti	21.7	957	649	501	5.55	2179
Agricoltura	0	36.8	4102	0	48.7	4435
Altre sorgenti e assorbimenti	5.50	5.48	2596	165	90.5	2635
Totale	535	19778	30684	42150	2574	60249

Fascia pedemontana	SO ₂	NO _x	COV	CO	PM2.5	Precurs. O ₃
	%	%	%	%	%	%
Produzione energia e trasform. combustibili	0.05	1.31	0.07	0.32	0.10	0.59
Combustione non industriale	23.23	8.46	4.93	27.86	48.35	8.07
Combustione nell'industria	14.38	14.87	2.19	7.89	7.80	7.68
Processi produttivi	3.56	3.61	4.63	31.27	4.04	6.21
Estrazione e distribuzione combustibili	0.00	0.00	3.84	0.00	0.00	2.24
Uso di solventi	0.00	0.05	51.32	0.02	7.87	26.16
Trasporto su strada	45.64	57.54	8.37	28.59	23.85	29.51
Altre sorgenti mobili e macchinari	8.05	9.09	0.70	2.48	2.37	4.19
Trattamento e smaltimento rifiuti	4.05	4.84	2.11	1.19	0.22	3.62
Agricoltura	0.00	0.19	13.37	0.00	1.89	7.36
Altre sorgenti e assorbimenti	1.03	0.03	8.46	0.39	3.52	4.37
Totale	100	100	100	100	100	100

Classificazione della tipologia delle stazioni di monitoraggio

TIPO ZONA (Allegato III del D. Lgs. 155/2010):

- **URBANA:** sito inserito in aree edificate in continuo o almeno in modo predominante.
- **SUBURBANA:** sito inserito in aree largamente edificate in cui sono presenti sia zone edificate, sia zone non urbanizzate.
- **RURALE:** sito inserito in tutte le aree diverse da quelle urbane e suburbane.

TIPO STAZIONE (Allegato III del D. Lgs. 155/2010):

- **TRAFFICO:** stazione ubicata in posizione tale che il livello di inquinamento sia influenzato prevalentemente da emissioni da traffico, provenienti da strade limitrofe con intensità di traffico medio alta.
- **INDUSTRIALE:** stazione ubicata in posizione tale che il livello di inquinamento sia influenzato prevalentemente da singole fonti industriali o da zone industriali limitrofe.
- **FONDO:** stazione ubicata in posizione tale che il livello di inquinamento non sia influenzato prevalentemente da emissioni da specifiche fonti (industrie, traffico, riscaldamento residenziale, etc.), ma dal contributo integrato di tutte le fonti poste sopravvento alla stazione rispetto alle direzioni predominanti dei venti nel sito.

Concentrazioni medie giornaliere rilevate a Lomagna

Data camp.	PM10 (µg/m ³)	Al (µg/m ³)	Si (µg/m ³)	P (µg/m ³)	S (µg/m ³)	Cl (µg/m ³)	K (µg/m ³)	Ca (µg/m ³)	Ti (µg/m ³)	V (µg/m ³)	Cr (µg/m ³)	Mn (µg/m ³)	Fe (µg/m ³)	Ni (µg/m ³)	Cu (µg/m ³)	Zn (µg/m ³)	Br (µg/m ³)	Rb (µg/m ³)	Pb (µg/m ³)
15-giu-18	16	0.108	0.425	< 0.047	0.525	0.073	0.146	0.437	0.016	< 0.0024	0.0041	0.008	0.393	0.0025	0.011	0.642	0.004	< 0.0009	< 0.006
16-giu-18	20	0.150	0.537	< 0.048	0.756	0.016	0.220	0.465	0.022	< 0.0024	< 0.0023	0.008	0.387	< 0.001	0.009	0.049	< 0.003	< 0.0009	< 0.006
17-giu-18	19	0.149	0.560	< 0.048	1.048	0.015	0.148	0.416	0.020	< 0.0024	< 0.0023	0.006	0.351	< 0.001	0.010	0.030	< 0.003	< 0.0009	< 0.006
18-giu-18	17	0.178	0.602	< 0.048	0.709	0.014	0.137	0.458	0.026	< 0.0024	< 0.0023	0.008	0.361	0.0012	0.008	0.170	< 0.003	< 0.0009	< 0.006
19-giu-18	19	0.187	0.627	< 0.048	0.776	0.021	0.241	0.605	0.024	< 0.0024	0.0032	0.011	0.439	0.0028	0.009	0.061	< 0.003	< 0.0009	< 0.006
20-giu-18	24	0.256	0.773	< 0.048	0.845	0.021	0.325	0.886	0.030	< 0.0024	0.0027	0.014	0.513	0.0032	0.011	0.157	< 0.003	0.0009	< 0.006
21-giu-18	25	0.279	0.892	< 0.048	1.064	0.023	0.247	0.737	0.033	< 0.0024	0.0034	0.011	0.537	0.0011	0.012	0.060	< 0.003	< 0.0009	0.007
22-giu-18	21	0.229	0.758	< 0.048	0.933	0.034	0.166	0.779	0.028	< 0.0024	< 0.0023	0.012	0.387	0.0019	0.008	0.025	< 0.003	< 0.0009	0.006
23-giu-18	16	0.143	0.503	< 0.048	0.600	0.143	0.130	0.453	0.018	< 0.0024	< 0.0023	0.008	0.314	0.0032	0.020	0.028	< 0.003	< 0.0009	0.006
24-giu-18	17	0.180	0.655	< 0.048	0.633	0.039	0.225	0.544	0.020	< 0.0024	< 0.0023	0.007	0.335	0.0026	0.019	0.030	< 0.003	0.0012	< 0.006
25-giu-18	18	0.212	0.671	< 0.048	0.743	0.026	0.178	0.752	0.024	< 0.0024	0.0030	0.009	0.350	0.0022	0.017	0.078	< 0.003	< 0.0009	< 0.006
26-giu-18	17	0.255	0.743	< 0.048	0.410	0.076	0.159	0.532	0.029	< 0.0024	0.0029	0.011	0.398	0.0035	0.021	1.227	< 0.003	0.0010	< 0.006
27-giu-18	20	0.333	1.003	< 0.048	0.493	0.032	0.192	0.828	0.036	< 0.0024	0.0028	0.013	0.556	0.0023	0.023	0.229	< 0.003	0.0013	0.007
28-giu-18	14	0.212	0.711	< 0.048	0.413	0.017	0.134	0.538	0.027	< 0.0024	0.0032	0.007	0.411	0.0032	0.021	0.054	< 0.003	< 0.0009	< 0.006
29-giu-18	18	0.258	0.782	< 0.048	0.342	0.022	0.162	0.594	0.028	< 0.0024	< 0.0023	0.011	0.435	0.0026	0.018	0.029	< 0.003	0.0014	0.007
30-giu-18	17	0.292	0.895	< 0.048	0.607	0.022	0.164	0.537	0.031	< 0.0024	0.0025	0.010	0.477	0.0021	0.018	0.026	< 0.003	0.0009	0.007
01-lug-18	26	0.314	1.009	< 0.048	1.276	0.030	0.231	0.632	0.036	< 0.0024	< 0.0023	0.010	0.432	0.0031	0.022	0.025	< 0.003	0.0013	0.006
02-lug-18	25	0.322	1.012	< 0.048	1.209	0.027	0.213	0.697	0.037	< 0.0024	0.0038	0.012	0.459	0.0030	0.022	0.098	< 0.003	0.0021	0.007
03-lug-18	29	0.419	1.242	< 0.048	1.485	0.032	0.270	0.975	0.047	< 0.0024	0.0025	0.012	0.617	0.0082	0.026	0.251	< 0.003	0.0009	0.008
04-lug-18	16	0.134	0.444	< 0.048	0.761	0.013	0.119	0.254	0.019	< 0.0024	< 0.0023	0.006	0.305	0.0032	0.021	0.034	< 0.003	< 0.0009	0.020
05-lug-18	13	0.099	0.314	< 0.048	0.745	0.014	0.122	0.251	0.016	< 0.0024	0.0029	0.008	0.328	0.0030	0.020	0.027	< 0.003	0.0011	0.006
06-lug-18	12	0.055	0.296	< 0.048	0.427	0.013	0.088	0.276	0.013	< 0.0024	0.0029	0.005	0.347	0.0026	0.022	0.029	< 0.003	< 0.0009	< 0.006
07-lug-18	12	0.072	0.304	< 0.048	0.521	0.015	0.096	0.232	0.012	< 0.0024	< 0.0023	0.005	0.250	0.0025	0.019	0.027	< 0.003	< 0.0009	0.012
08-lug-18	13	0.078	0.335	< 0.048	0.566	0.017	0.128	0.259	0.014	< 0.0024	< 0.0023	0.005	0.238	0.0021	0.019	0.034	< 0.003	< 0.0009	< 0.006
09-lug-18	16	0.151	0.518	< 0.048	0.664	0.022	0.130	0.488	0.020	< 0.0024	< 0.0023	0.008	0.327	0.0025	0.020	0.110	< 0.003	< 0.0009	< 0.006
10-lug-18	21	0.196	0.677	< 0.048	0.846	0.029	0.180	0.673	0.027	< 0.0024	< 0.0023	0.013	0.406	0.0013	0.009	0.120	< 0.003	< 0.0009	< 0.006
11-lug-18	14	0.033	0.154	< 0.048	0.939	0.021	0.074	0.224	0.016	< 0.0024	0.0029	0.005	0.157	0.0013	0.005	0.131	< 0.003	< 0.0009	< 0.006
12-lug-18	23	0.058	0.302	< 0.048	1.430	0.050	0.119	0.331	0.015	< 0.0024	0.0041	0.009	0.317	0.0025	0.011	0.237	< 0.003	< 0.0009	0.007
13-lug-18	24	0.155	0.567	< 0.048	1.643	0.027	0.148	0.480	0.023	< 0.0024	0.0050	0.011	0.513	0.0050	0.027	0.051	< 0.003	0.0010	0.008