

CHIMICA DEL PARTICOLATO E METEO, UN'ANALISI SUL CAMPO

IL PERIODO TRA GENNAIO E FEBBRAIO 2017 È STATO CARATTERIZZATO IN EMILIA-ROMAGNA DA VALORI ESTREMAMENTE ELEVATI DI PARTICOLATO. ARPAE HA REALIZZATO UNO STUDIO, BASANDOSI SUI DATI DEGLI INQUINANTI RILEVATI DALLA RETE DI MONITORAGGIO E DI QUELLA REALIZZATA TRAMITE IL PROGETTO SUPERSITO, INTEGRATI CON ANALISI METEO E CHIMICA.

“**I** giorni della merla”: così vengono definiti gli ultimi giorni di gennaio. Diverse sono le ipotesi alla base di questa locuzione, ciò che le accomuna è il grande freddo che normalmente contraddistingue tali giorni posti nel bel mezzo dell'inverno. Nel 2017 quei giorni (insieme ai primi di febbraio), più che dal grande freddo, sono stati caratterizzati da un inquinamento da aerosol atmosferico estremamente elevato in tutta la pianura Padana. Per l'Emilia-Romagna i valori sono stati da record rispetto agli ultimi 10 anni, superando, per quanto riguarda il PM_{10} , i $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ in alcune stazioni (in altre aree della pianura Padana i valori sono stati ancora superiori).

È interessante indagare i meccanismi che sono alla base di quanto successo immediatamente prima e durante questi giorni da primato. Di seguito viene quindi riportata un'analisi ai fini interpretativi di quanto successo.

Qualità dell'aria

La seconda metà di gennaio 2017 è stata caratterizzata da valori molto alti degli inquinanti atmosferici in tutta la pianura Padana. In Lombardia, a partire dal 28 gennaio, sono state osservate concentrazioni di PM_{10} maggiori di $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ su gran parte del territorio; nei giorni successivi, l'area interessata si è estesa al settore occidentale dell'Emilia-Romagna e al Veneto; tra il 31 gennaio e il 1 febbraio è stata coinvolta l'intera pianura Padana, con dati che sono arrivati a sfiorare i $300 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Tra il 2 e il 3 febbraio le concentrazioni hanno iniziato a diminuire a partire dalla fascia pedemontana alpina, e sono scese ovunque al di sotto dei limiti di legge il 4 febbraio.

In Emilia-Romagna, le concentrazioni di PM hanno iniziato a crescere dal 19 gennaio, segnando un primo episodio di massimo nelle giornate del 22 e 23 con valori massimi compresi tra $79 \mu\text{g}/\text{m}^3$ nella provincia di Modena e $60 \mu\text{g}/\text{m}^3$ in

FIG. 1
 PM_{10}

Concentrazioni di PM_{10} osservate nei diversi settori dell'Emilia-Romagna (media di tutte le stazioni disponibili).

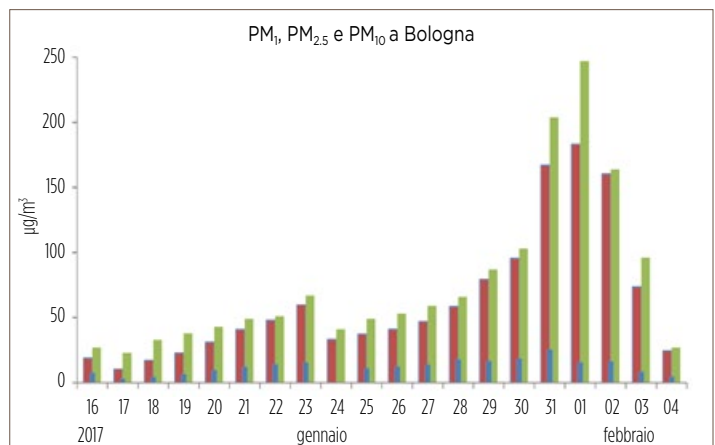
— Settore ovest
— Settore centro est
— Fascia costiera



FIG. 2
FRAZIONI DIMENSIONALI

Concentrazione giornaliera del PM in varie frazioni dimensionali a Bologna: PM_1 misurato al main site del Supersito, PM_{10} nella stazione di Porta San Felice e $PM_{2.5}$ medio tra le due stazioni.

■ $PM_{2.5}$ Media main site Supersito-Porta San Felice
■ PM_{10} Porta San Felice
■ PM_1 main site Supersito



quella di Rimini. Successivamente a tale evento, nel periodo 25-26 gennaio, i dati osservati hanno subito una lieve flessione, per poi tornare a crescere nelle giornate successive.

Tra il 27 e il 30 gennaio le concentrazioni sono progressivamente aumentate, inizialmente nell'area centro occidentale (province di Piacenza, Parma, Reggio Emilia, Modena) e successivamente in gran parte del territorio regionale (figura 1). Il 31 gennaio i valori si sono bruscamente innalzati, mantenendosi per 3 giorni su livelli eccezionali: tra Modena e Bologna, sono state osservate

concentrazioni di PM_{10} maggiori di $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ in tutte e tre le giornate, con un massimo di $247 \mu\text{g}/\text{m}^3$ nella stazione di Bologna S. Felice (il valore limite è $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Negli stessi giorni, i dati osservati nelle stazioni appenniniche sono diminuiti, portandosi ovunque su livelli molto bassi. Il 3 febbraio le concentrazioni sono sensibilmente diminuite, per portarsi ovunque su valori bassi sabato 4.

Anche le concentrazioni di particolato $PM_{2.5}$ hanno seguito l'andamento del PM_{10} e sono risultate molto alte, con valori

mai inferiori a $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e con percentuali, rispetto al PM_{10} , che in alcune giornate sono arrivate a superare il 90%.

Il PM_{10} , i cui dati sono disponibili nei siti di Bologna e San Pietro Capofiume della rete realizzata tramite il progetto Supersito, ha mostrato, al contrario, incrementi poco significativi in tutto il periodo considerato.

È interessante notare come per tutta la durata dell'evento, in buona parte della pianura Padana, non si siano verificate differenze importanti tra i dati misurati in campagna e quelli osservati all'interno delle città, anche dalle stazioni poste a bordo strada: i valori elevati di PM sono stati legati a dinamiche che hanno coinvolto l'intero bacino padano, mentre il contributo diretto delle sorgenti emissive è stato relativamente modesto.

Condizioni meteorologiche

Nei primi giorni dell'episodio, l'Italia è stata interessata da un campo di pressione in quota livellata, che ha determinato condizioni di tempo stabile con venti generalmente deboli. A partire dal 31 gennaio, sul Mediterraneo occidentale si è instaurato un promontorio di alta pressione, che ha fatto affluire verso l'Italia aria più calda nella bassa troposfera (figura 3): questo ha determinato un ulteriore indebolimento dei venti e un aumento della stabilità atmosferica sulla pianura Padana. A partire dal 3 febbraio, il transito di una serie di deboli onde depressionarie ha permesso un completo ricambio della massa d'aria, inizialmente nel territorio a nord del fiume Po, e successivamente nell'intero bacino.

Le giornate centrali dell'episodio sono quindi state caratterizzate da un'eccezionale stabilità atmosferica sulla pianura Padana, associata a valori molto bassi dell'altezza di rimescolamento: le sostanze inquinanti presenti sono state schiacciate in un volume sempre più piccolo, permettendo la formazione di grandi quantità di particolato secondario, che si è distribuito in modo quasi uniforme sull'intero territorio.

Questa situazione è stata probabilmente determinata dalla presenza concomitante di diversi fattori:

- subsidenza dovuta al promontorio di alta pressione
- presenza di un'inversione termica in quota, persistente anche nelle ore diurne sull'intero bacino (oltre all'inversione termica al suolo), motivo per il quale si sono osservati valori particolarmente elevati di PM_{10} nelle stazioni appenniniche nei giorni precedenti il

FIG. 3
METEO

Situazione meteorologica a scala sinottica alle ore 00Z del 1 febbraio 2017; geopotenziale a 500 hPa (isolinee, dam) e temperatura a 850 hPa (colori, °C).

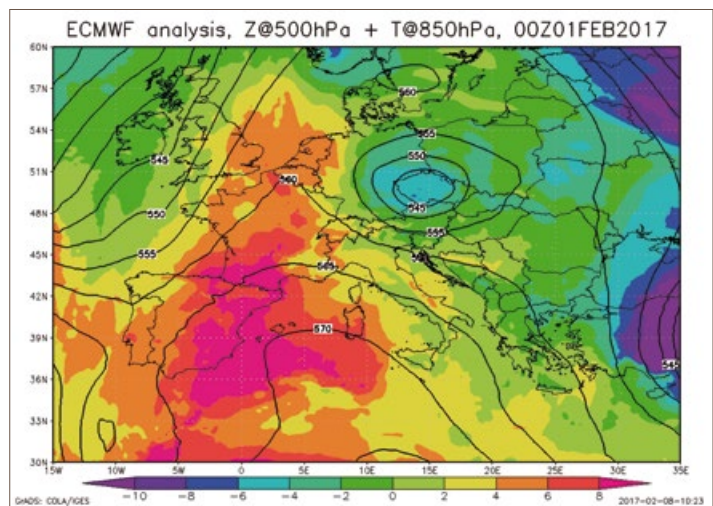
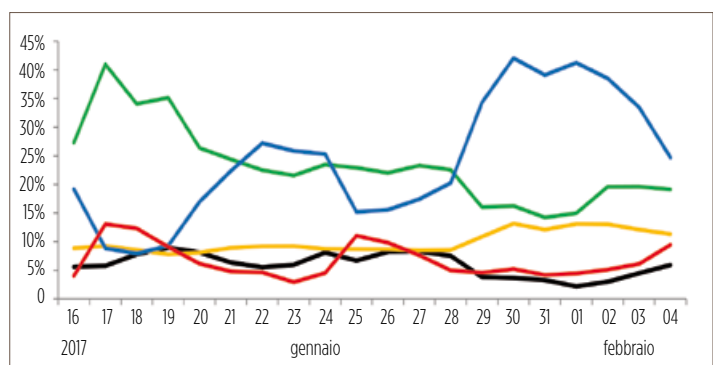


FIG. 4
COMPONENTI CHIMICI

Concentrazione percentuale dei principali componenti chimici del $\text{PM}_{2.5}$ al main site del Supersito a Bologna.

- Carbonio organico
- Carbonio elementare
- Ammonio
- Nitrato
- Solfato



picco di polveri registrato in pianura (la stazione di Corte Brugnatella situata a 765 m ha superato la soglia di $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ il 28 gennaio). Dai profili di temperatura e velocità del vento misurati dal radiosondaggio di San Pietro Capofiume, emerge la presenza di uno strato d'aria vicino alla superficie, caratterizzato da venti calmi, e disaccoppiato rispetto all'atmosfera sovrastante, che si abbassa progressivamente con il passare dei giorni. I dati del radiosondaggio di Milano Linate mostrano lo stesso tipo di andamento

- nei giorni centrali dell'episodio, il vento alla superficie è sempre calmo (valori medi $< 1 \text{ m/s}$); inoltre la presenza di copertura nuvolosa persistente inibisce il rimescolamento termico dell'atmosfera, riducendo ulteriormente l'altezza di rimescolamento

- a partire dal 30 gennaio, sull'Italia inizia ad affluire una massa d'aria relativamente calda proveniente da sud-sudovest: quest'aria scavalca gli Appennini, e scivola sull'aria più fredda presente nella pianura, determinando un ulteriore schiacciamento di quest'ultima e compattando verso il suolo gli strati di inversione termica sottostanti. Questo cambiamento di regime è confermato dall'aumento della velocità del vento e dalla parallela riduzione dei valori di

PM_{10} osservati sull'Appennino a partire da mezzogiorno del 30 gennaio.

Composizione chimica del particolato

Per approfondire la comprensione degli eventi che hanno condotto a tali livelli di concentrazione sono state considerate anche le composizioni chimiche del particolato raccolto dalla rete Supersito in tre siti di fondo urbano (a Bologna, Parma e Rimini) e in un sito di fondo rurale (San Pietro Capofiume, in provincia di Bologna). In particolare si sono misurate le concentrazioni della componente carboniosa e dei principali composti ionici del particolato di dimensioni inferiori a $2,5 \mu\text{m}$, oltre che la concentrazione di una specie (il levoglucosano) considerata indicatore specifico dell'utilizzo di combustibili contenenti cellulosa, cioè legna o pellet per riscaldamento, una sorgente rilevante nel periodo freddo.

Considerando sia la similitudine osservata in tutta la regione nei trend di concentrazione di PM_{10} e $\text{PM}_{2.5}$, sia l'omogeneità dei risultati delle analisi chimiche, ove disponibili, si presenta nel dettaglio l'analisi della sola città di Bologna, che ha registrato il massimo assoluto di PM_{10} .

La crescita del PM è evidente nelle frazioni dimensionali $\text{PM}_{2.5}$ e PM_{10} .

I rapporti tra le frazioni mostrano infatti comportamenti differenti. La percentuale di $PM_{2,5}$ su PM_{10} risulta nel periodo in esame quasi sempre superiore al 70% mentre i valori $PM_1/PM_{2,5}$ decrescono fino ad arrivare a un minimo (8%) il 1 febbraio. Questo indica come la crescita dei valori di PM sia legata soprattutto a un arricchimento del particolato con diametri superiori a $1 \mu m$, ma inferiori a $2,5 \mu m$ ($PM_{1-2,5}$).

Una conferma di tale condizione è fornita anche dai dati del fotometro di Venezia (rete Aeronet). Questi mostrano come la torbidità atmosferica sia dovuta per buona parte a frazioni non grossolane del particolato: nelle giornate centrali dell'evento, i valori osservati alle diverse lunghezze d'onda sono stati molto diversi (AOD alto per lunghezze d'onda corte, AOD basso per lunghezze d'onda lunghe), caratteristica peculiare di situazioni in cui le frazioni meno grossolane del particolato sono predominanti.

La maggior parte delle emissioni dirette da combustione (traffico veicolare e diverse tipologie di impianti di riscaldamento) riguardano particelle di diametro inferiori a $1 \mu m$, mentre la parte compresa tra $2,5 \mu m$ e $10 \mu m$ è sostanzialmente legata a particelle cristalline (o di sale marino). La frazione intermedia ($1-2,5 \mu m$) è normalmente legata all'aerosol secondario, cioè a quelle specie solide che si sono formate in atmosfera per trasformazione di composti emessi da diverse sorgenti, quali ad esempio gli ossidi di azoto (in fase gas) prodotti dal traffico o dal riscaldamento. Questo porterebbe a ipotizzare un evento prevalentemente legato all'accumulo di particolato secondario.

L'andamento della composizione chimica (figura 4) avalla questa interpretazione. Infatti le uniche sostanze che incrementano percentualmente le loro concentrazioni sono ammonio e nitrato, due ioni che concorrono a formare il nitrato d'ammonio, un sale inorganico tipico rappresentante della frazione secondaria del $PM_{2,5}$ durante l'inverno. Al contrario, indicatori specifici di sorgenti antropogeniche di combustione come il black carbon e il levoglucosano (misurati rispettivamente a Piacenza e Bologna) mostrano un minimo di contributo percentuale al PM in concomitanza dei giorni di picco (figura 5).

L'ulteriore abbassamento dello strato di rimescolamento nei giorni 1 e 2 febbraio ha ridotto la dispersione dei precursori gassosi lungo la colonna d'aria spingendoli a reagire maggiormente per formare la fase solida. La trasformazione

FIG. 5
SORGENTI SPECIFICHE

Concentrazione percentuale di specie caratterizzanti contribuiti diretti di sorgenti specifiche. Il black carbon è prodotto dall'utilizzo di combustibili carboniosi, solitamente associato al traffico veicolare. Il levoglucosano è marcatore specifico della combustione della cellulosa (riscaldamento a legna o derivati).

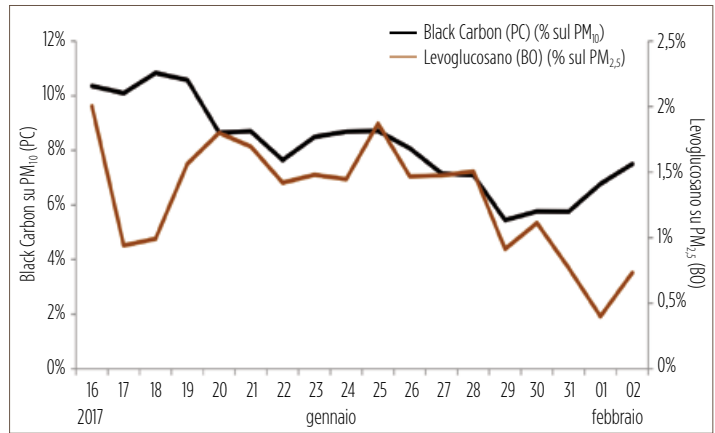


FIG. 6
IONI NEL PARTICOLATO

Concentrazione relativa, in equivalenti, degli ioni principalmente responsabili della massa di PM raggiunta nei giorni di picco rispetto ai propri gas precursori.

— Ammonio/Ammoniaca
— Nitrato/Monossido d'azoto
— Nitrato/Biossido d'azoto

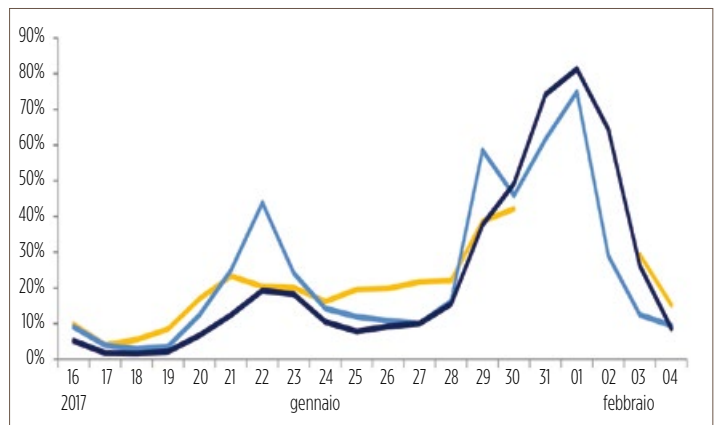
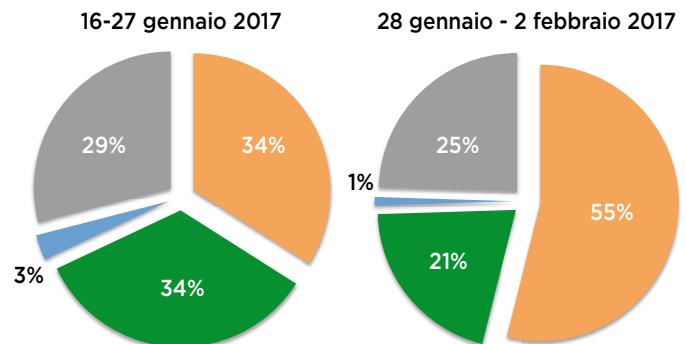


FIG. 7
 $PM_{2,5}$

Chiusura di massa percentuale del $PM_{2,5}$ del main site del Supersito a Bologna sulle medie dei giorni precedenti al picco e durante il picco.

■ Aerosol inorganico secondario
■ Carbonio totale
■ Altre specie ioniche
■ N.D.



di ossidi d'azoto e ammoniaca in nitrato d'ammonio era inoltre permessa dalle condizioni di temperatura (più elevata rispetto ai giorni precedenti) mentre i meccanismi di rimozione (precipitazioni, avvezione e/o turbolenza) erano limitati dal protrarsi della stabilità. La disponibilità dei precursori gassosi è confermata dai valori misurati nei giorni precedenti al picco: la concentrazione di ammoniaca misurata a Parma – unica misura a disposizione – nella seconda quindicina di gennaio variava tra i 16 e i $30 \mu g/m^3$ come media giornaliera, contemporaneamente gli ossidi d'azoto misurati a Bologna sono arrivati a superare i $60 \mu g/m^3$. Che le condizioni atmosferiche instauratesi favorissero la conversione a nitrato d'ammonio è

ulteriormente suffragato (figure 6 e 7) dal rapporto tra ossidi d'azoto e nitrato o tra ammoniaca e ammonio (nitrato e ammonio sono le forme ioniche presenti nel PM). Si passa da un minimo del 10% nei giorni di minimo di PM a un 80% circa nei giorni del picco.

Dimitri Bacco, Arianna Trentini, Enrico Minguzzi, Roberta Amorati, Claudia Zigola, Marco Deserti, Vanes Poluzzi

Arpae Emilia-Romagna

Gli autori desiderano ringraziare, per l'attività svolta in urgenza, i gestori della rete delle Sezioni provinciali Arpae, il Laboratorio integrato di Ravenna, gli Sportelli delle accettazioni coinvolte e tutti i membri dei Ctr Aree urbane e Qualità dell'aria.