

## La stima delle sorgenti del PM<sub>2,5</sub>

*Per il particolato primario, le sorgenti del PM<sub>2,5</sub> sono sia naturali (con un apporto minoritario), sia antropiche. Tra queste ultime, le più consistenti sono legate al trasporto stradale, alla combustione di legna, e al settore agricolo-zootecnico. Più difficile l'attribuzione a sorgenti specifiche per il particolato secondario.*

L'analisi dei dati raccolti durante il progetto Supersito ha permesso di eseguire uno studio di *source apportionment* – cioè di stima delle sorgenti che partecipano alla formazione del PM<sub>2,5</sub> e in che misura – tramite l'utilizzo di modelli matematici o di concentrazioni di specifici *marker*, che sono sostanze caratteristiche di determinate sorgenti.

Come è noto, le sorgenti del PM<sub>2,5</sub> sono sia antropiche (trasporto, riscaldamento, produzione di energia, attività produttive ecc.), sia naturali (terreno, sale marino, vegetazione ecc.).

Queste sorgenti possono dare sia un contributo primario, emettere cioè sostanze che si ritrovano immutate nel materiale particolato, sia un contributo secondario, emettere cioè sostanze che si ritrovano nel particolato solo dopo aver subito una trasformazione in atmosfera, in certi casi dopo aver interagito con qualche altra specie liberata da diversa sorgente. Il contributo secondario di una sorgente è più difficile da quantificare perché, trattandosi per definizione di un particolato che ha subito trasformazioni, che possono essere sia chimiche che fisiche, non presenta una caratterizzazione chimica univoca e direttamente riconducibile alla fonte che lo ha emesso.

La componente naturale nelle aree in studio, seppur presente, si è dimostrata di scarso apporto alla massa del PM<sub>2,5</sub>, ad esclusione di episodici fenomeni di trasporto di sabbie sahariane. Questi eventi non sono frequenti in regione, hanno infatti contribuito alla massa del PM in non più di 10-15 occasioni nei 3 anni di studio, soprattutto nei periodi caldi in cui la quantità media di particolato è più bassa rispetto al resto dell'anno.

Tra le altre sorgenti naturali la principale è costituita dal suolo. Il suo contributo è stato quantificato nel PM<sub>2,5</sub>, tramite appositi approfondimenti sul sito urbano di Bologna, in circa 1 µg/m<sup>3</sup> medio annuo (corrispondente a circa il 4% della massa del PM<sub>2,5</sub> in inverno e l'8% in estate). Bisogna però specificare che solo una parte di questo contributo può considerarsi realmente naturale, cioè prodotta dall'erosione ad opera del vento, poiché una quota risulta legata ad attività antropiche quale il traffico

che, con il passaggio dei veicoli, ne provoca la risospensione. Il sale marino contribuisce per meno del 2% della massa del PM<sub>2,5</sub> anche nel sito costiero di Rimini, forse perché più facilmente individuabile in frazioni granulometriche con diametri maggiori a 2.5 µm, oppure perché la conformazione della costa non porta ad avere grandi quantità di spray marino. Altre sorgenti naturali infine, pur osservandone la presenza, non sono di fatto quantificabili: è il caso del contributo biogenico alla frazione organica in estate nel sito rurale, principalmente derivante dalle piante.

Sul PM<sub>2,5</sub> è stato possibile individuare, con un diverso grado di precisione e robustezza, il contributo di 5 sorgenti antropiche, cioè legate all'attività dell'uomo: trasporto su strada, combustione di legna, agricoltura, trasporto navale e attività produttive e di servizio.

Il trasporto su strada o traffico veicolare è un'attività antropica la cui importanza media annua varia tra il 10% e il 20%, a seconda dei siti, di contributo primario

alla massa del PM<sub>2,5</sub> inteso come l'insieme di gas di scarico, usura di freni, frizione e gomme, e sollevamento di materiale crostale dal suolo. La quantità assoluta di PM<sub>2,5</sub> imputabile a questa sorgente diminuisce durante la stagione calda per effetto della maggiore capacità di diluizione dell'atmosfera in tale periodo, ma il contributo percentuale aumenta in seguito al calo di altri fattori con carattere maggiormente stagionale, come la combustione di legna e la concentrazione di nitrato d'ammonio. È l'unica sorgente a mostrare un trend settimanale: si osserva infatti, rispetto agli altri giorni, un calo significativo la domenica, nella quale il suo contributo alla massa di PM<sub>2,5</sub> diminuisce di circa un terzo.

La combustione di legna possiede un forte carattere stagionale: il suo contributo alla massa del PM<sub>2,5</sub> passa da un 25-40%, in inverno, a un 10-15%, in estate, con una media annua di circa 20-25%. Questa sorgente generata dalla combustione della legna e dei suoi derivati, nel periodo freddo è chiaramente collegabile al riscaldamento domestico in maniera preponderante, mentre negli altri periodi sembra legata ai roghi delle potature agricole o alla cottura dei cibi. Un terzo contributo legato alle combustioni, anche se mediamente inferiore al 5% della massa del PM<sub>2,5</sub>, sembra essere dovuto a trasporti di masse d'aria dal Mediterraneo che trascinano



sostanze emesse dall'utilizzo di oli combustibili nei trasporti navali. Questo contributo, comunque contenuto, non è costante nell'anno, ma assume valori maggiori durante l'estate.

L'agricoltura, ampiamente diffusa e di grande importanza in regione, è un comparto produttivo che determina l'unico contributo antropogenico – individuato nel progetto – sicuramente non legato a un impatto diretto o indiretto delle combustioni. Durante tutto l'anno infatti circa il 10-15% della massa del  $PM_{2,5}$  è formato da ammonio, che deriva dall'ammoniaca, un gas emesso quasi esclusivamente dalle attività agricole o zootecniche, perciò l'agricoltura risulta un'importante sorgente indiretta, in quanto da essa proviene una quota di particolato secondario, cioè quello che si forma in atmosfera.

Infine è possibile individuare un ulteriore fattore antropogenico riconducibile all'insieme di tutte le attività produttive e di servizio e non meglio suddivisibile, che contribuisce direttamente fino ad un massimo del 10% della massa del  $PM_{2,5}$ .

Il contributo secondario all'aerosol è fatto sia di sali inorganici che di sostanze organiche ed è dovuto alle trasformazioni subite in atmosfera dalle sostanze inquinanti emesse direttamente. La dinamica delle trasformazioni è molto influenzata dalle condizioni meteorologiche: ne sono esempio la temperatura e la radiazione solare che favoriscono le trasformazioni fotochimiche, o il vento e l'altezza dello strato rimescolato che, agendo sulle capacità dispersive dell'atmosfera,

TAB. 1  
SORGENTI PRIMARIE

Attribuzione del  $PM_{2,5}$  osservato alle sorgenti individuate, risultati medi del progetto Supersito.

SORGENTE	PERCENTUALE
Traffico (più risospensione e abrasione)	20-25%
Combustione di legane e suoi derivati	20-25%
Attività agricole e zootecniche	10-15%
Mix antropogenico	< 10-15%
Traffico navale	< 5%

ne determinano la maggiore o minore diluizione e quindi lo stato di invecchiamento. Il particolato secondario può essere distinto in uno caratteristico del periodo invernale, legato principalmente al nitrato d'ammonio, che contribuisce per circa il 25-30% alla massa del  $PM_{2,5}$ , e uno costante tutto l'anno che diventa percentualmente importante soprattutto in estate, legato principalmente al solfato d'ammonio, che contribuisce per il 15-30% alla massa del  $PM_{2,5}$ .

Al fine di attribuire una quota di secondario, sia invernale che estivo, alle principali sorgenti di emissione, sono state formulate alcune ipotesi sui principali ioni secondari in un ragionamento – che di seguito si riporta – simile a quello fatto per l'agricoltura, anche se per questa sorgente è più semplice essendo sostanzialmente caratterizzata da un *marker* specifico: l'ammoniaca.

Dall'inventario delle emissioni 2013 della Regione Emilia-Romagna (Inemar, Inventario 2013 Emissioni in Atmosfera in Emilia-Romagna, Arpa Emilia-Romagna) si ricava che gli ossidi di azoto provengono per quasi il 60% dal traffico veicolare. Lo ione nitrato, presente sul particolato, si forma per reazione in atmosfera a partire dagli ossidi di azoto,

passando attraverso le forme acide. È necessario introdurre l'ipotesi che in tali processi di trasformazione si mantengano i rapporti percentuali tra le sorgenti dirette riportati dall'inventario, cioè che, come presumibile, gli ossidi di azoto prodotti, ad esempio, dal riscaldamento si trasformino allo stesso modo di quelli prodotti dal traffico. Se si accetta questa approssimazione si può affermare che il 60% del nitrato in fase solida derivi dal traffico veicolare. Questo permette di attribuire il 60% della massa dello ione nitrato presente nel particolato secondario alla sorgente traffico, portando l'importanza media di questa fonte dal 10-20% al 20-25% della massa del  $PM_{2,5}$ . Il restante 40% degli ossidi di azoto è suddiviso tra numerose altre fonti (riscaldamento, attività produttive ecc). Applicando la stessa approssimazione fatta per il traffico si otterrebbero per le singole sorgenti apporti di pochi decimi di  $\mu g/m^3$  per ognuna, equivalenti a valori inferiori a 1-2% della massa del  $PM_{2,5}$ , anche considerando apporti stagionali. Per lo ione solfato non è possibile imputare il particolato secondario alle maggiori sorgenti del suo gas precursore principale, che è il biossido di zolfo, poiché non è noto il contributo extraterritoriale (extraregionale, ma anche trans-frontaliero) che sembrerebbe essere quello predominante. Volendo fare comunque questa ipotesi, pur nella consapevolezza di commettere una sovrastima, si troverebbe che la quasi totalità dello ione solfato misurato deriverebbe da combustione industriale e processi produttivi di scala regionale, in quanto l'inventario 2013 della Regione Emilia-Romagna attribuisce a queste fonti circa il 97% del biossido di zolfo emesso in regione. Anche accettando questa approssimazione, si otterrebbe un incremento inferiore al 5% del contributo alla massa del  $PM_{2,5}$  della sorgente legata a queste attività, che passerebbe quindi da un valore diretto massimo del 10% a una quantità non superiore al 15%.

Fabiana Scotto, Dimitri Bacco,  
Arianna Trentini, Vanes Poluzzi

Arpa Emilia-Romagna

