

QUALI SONO LE ORIGINI DEL PARTICOLATO?

PER STILARE UNA GRADUATORIA DEI SETTORI EMISSIVI PIÙ RILEVANTI IN TERMINI DI INQUINAMENTO ATMOSFERICO SI USANO TRADIZIONALMENTE GLI INVENTARI DELLE EMISSIONI, MA NE DERIVA UN QUADRO PARZIALE. ALLO STUDIO UNA PROPOSTA METODOLOGICA PER CLASSIFICARE LE ATTIVITÀ CHE MAGGIORMENTE CONTRIBUISCONO ALL'INQUINAMENTO DA PM₁₀.

Se ci si chiede quali siano le attività umane che maggiormente contribuiscono all'inquinamento atmosferico, la fonte principale di informazione sono gli inventari delle emissioni¹. Tuttavia, azzardare una graduatoria dell'importanza dei settori emissivi, basandosi solo sugli inventari, porta in certi casi a un quadro parziale e distorto.

Ad esempio, nel caso del materiale particolato (*particulate matter*, PM) le concentrazioni presenti in atmosfera dipendono sia dalle emissioni dirette di PM in quanto tale (PM primario), sia dalla formazione di particolato a partire da gas precursori, in seguito a trasformazioni fisico-chimiche in atmosfera (PM secondario). In questo caso dunque, una graduatoria basata sulle emissioni tal quali darebbe la massima importanza a quelle attività che emettono PM primario (per esempio, la combustione di legna), trascurando settori cruciali per le elevate emissioni di precursori chimici (come l'ammoniaca degli allevamenti).

Per colmare tale lacuna informativa occorre conoscere le complesse dinamiche dell'atmosfera. Utilizzando i modelli fotochimici² siamo in grado di valutare sia la diffusione e la dispersione, sia la formazione degli inquinanti secondari, a partire dalle trasformazioni dei precursori. È così possibile stimare le concentrazioni su tutto il territorio, tenendo conto sia del PM primario, sia di quello secondario e si possono quantificare gli effetti sull'inquinamento delle variazioni nel contributo emissivo dei vari settori. Tuttavia, pur guadagnando in accuratezza e completezza, l'informazione perde così l'efficacia della sintesi.

Allora, proviamo qui a sintetizzare i risultati delle nostre valutazioni modellistiche a scala regionale, con l'obiettivo di rispondere con efficacia e semplicità alla domanda "quali sono le attività umane che maggiormente contribuiscono all'inquinamento da PM₁₀?".

Per far questo, ci ispireremo al metodo di de Leeuw (2002), adattandolo alla specificità emiliano-romagnola. L'idea è stimare, per ciascuno dei principali precursori del PM₁₀, quale sia il suo contributo alla formazione di PM₁₀, così da poter esprimere tutte le emissioni in tonnellate di PM₁₀-equivalenti. Per stimare il contributo relativo di ciascun settore emissivo al PM₁₀ (primario+secondario) de Leeuw (2002) ha definito l'indicatore "emissioni annue di PM₁₀ equivalenti" in modo da rendere commensurabili le emissioni dei precursori con quelle del PM₁₀ stesso, in analogia con quanto già si fa per le emissioni di gas clima-alteranti, le quali sono espresse tutte in "tonnellate di CO₂ equivalenti". Mentre però per i gas clima-alteranti la scala spaziale di interesse è quella globale, per i precursori del PM₁₀ la scala spaziale di interesse è regionale o sovragionale. Pertanto, a seconda della regione di studio, i metodi di stima possono variare e non esiste uno standard universale. Non possiamo dunque applicare tal quale il metodo "de Leeuw", che è calibrato sulla scala continentale europea. Lo assumiamo come punto di partenza. Per ciascuno dei principali gas precursori (ammoniaca, ossidi di azoto, biossido di

zolfo, composti organici volatili) si può stimare il fattore di formazione di aerosol (*aerosol formation factor*)

$$AF = \frac{M_s}{M_p} \cdot Y \cdot F$$

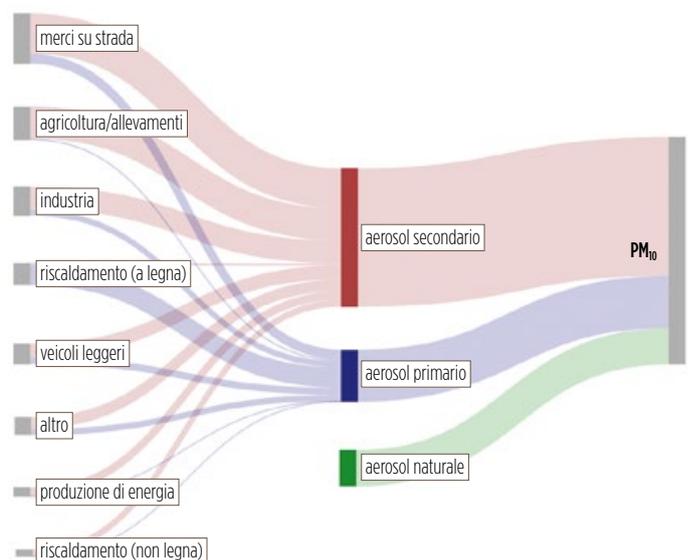
dove M_p è la massa molecolare del precursore emesso e M_s la massa molecolare della specie ionica a cui esso dà luogo nell'aerosol; Y è la frazione di gas che effettivamente porta alla formazione di aerosol; F è la frazione di massa emessa convertita in aerosol secondario.

Per il contesto europeo, prendiamo come riferimento i lavori di de Leeuw (2002) e di Johansson et al. (2003). Con metodi modellistici, de Leeuw (2002) stima i valori di AF_{EU} riferiti al dominio europeo:

- per l'ammoniaca 0.64
 - per gli ossidi di azoto 0.88
 - per il biossido di zolfo 0.54
 - per i composti organici volatili 0.02
- assumendo Y pari a 0.25 per i composti organici volatili, 1 per gli altri precursori. In altri termini, su scala europea si stima che una tonnellata di ammoniaca emessa dia luogo alla formazione di 640 kg di PM₁₀, una tonnellata di ossidi di azoto dia luogo alla formazione di 880 kg di PM₁₀,

FIG. 1
ORIGINE DEL PM₁₀

La stima dei vari contributi alla concentrazione di PM₁₀ in Emilia-Romagna è realizzata come descritto nel testo, e proposta con un diagramma di Sankey, nel quale lo spessore delle fasce è proporzionale ai PM₁₀-equivalenti. La fascia verde rappresenta il contributo dell'aerosol naturale. Le fasce blu rappresentano i contributi delle emissioni di aerosol primario dai vari settori. Le fasce rosse rappresentano i contributi all'aerosol secondario, che si origina per trasformazioni chimico-fisiche dei precursori emessi dai vari settori emissivi.



TAB. 1
PM₁₀ E PRECURSORI

Emissioni in Emilia-Romagna di PM₁₀ e dei suoi precursori e contributo dei precursori alla formazione di PM₁₀ in Emilia-Romagna. In evidenza i contributi superiori alle 3.000 t/anno di PM₁₀ equivalenti.

Sorgente	PM ₁₀	emissioni di precursori (t/anno precursore)				Contributo alla formazione di PM ₁₀ in Emilia-Romagna (t/anno PM ₁₀ equivalenti)			
		NH ₃	NO _x	SO ₂	COV	NH ₃	NO _x	SO ₂	COV
agricoltura/allevamenti	418	49.299	637	0	59	8.381	147	0	0,3
merci su strada (leggeri e pesanti)	2.636	54	45.202	173	3.263	9	10.396	24	17
riscaldamento (a legna)	5.316	154	1.517	200	27.460	26	349	28	143
autoveicoli	1.842	774	15.086	191	4.008	132	3.470	27	21
industria	1.614	1.107	15.299	14.315	54.485	188	3.519	2.004	283
produzione di energia	86	0	9.482	430	1.534	0	2.181	60	8
riscaldamento (non legna)	80	0	7.212	995	849	0	1.659	139	4,4
altro	1.646	135	12.309	1.196	7.344	23	2.831	167	38

una tonnellata di biossido di zolfo dia luogo alla formazione di 540 kg di PM₁₀, una tonnellata di composti organici volatili dia luogo alla formazione di 20 kg di PM₁₀. Tali fattori hanno validità solo a scala europea, mentre per il dominio di nostro interesse – il territorio emiliano-romagnolo – è necessario ricalcolare i fattori AF tenendo conto delle peculiari dinamiche atmosferiche proprie della pianura Padana, nonché delle dimensioni decisamente più ridotte del dominio di studio.

A questo punto, entrano in gioco le simulazioni modellistiche di scala padana. Una valutazione ottenuta da Ninfa, il modello di qualità dell'aria utilizzato da Arpae Emilia-Romagna, stima una suddivisione delle concentrazioni di PM₁₀ per la pianura emiliano-romagnola in

- 23% primario antropogenico
- 61% secondario antropogenico
- 16% primario naturale.

Supponendo la linearità tra emissioni di PM₁₀ equivalenti e concentrazioni di PM₁₀ in aria, tenendo conto delle proporzioni ottenute dal modello Ninfa tra primario, secondario antropogenico e naturale (23-61-16%) e delle emissioni primarie di PM₁₀ ottenute dall'inventario regionale 2010, possiamo stimare

- 13.638 t/anno di PM₁₀ primario antropogenico
- 36.170 t/anno di emissioni equivalenti di PM₁₀ secondario antropogenico ($E_{sec,ER}$)
- 9487 t/anno di emissioni equivalenti di PM₁₀ naturale.

Possiamo d'altra parte stimare il contributo $E_{sec,EU}$ dell'Emilia-Romagna al PM₁₀ secondario antropogenico nel dominio europeo, applicando la metodologia di de Leeuw. Per fare ciò dobbiamo sommare le emissioni dei precursori, espresse in PM₁₀ equivalenti, cioè pesando l'emissione di ciascun precursore con il suo AF_{EU} .

Ne risultano:

- 32.975 t/anno di PM₁₀-equivalenti da ammoniaca
- 93.935 da ossidi di azoto
- 9.450 da biossido di zolfo

- 1.980 da composti organici volatili per un totale di $E_{sec,EU}=138.340$ t/anno di PM₁₀-equivalenti.

Il rapporto tra il contributo regionale al PM₁₀ secondario regionale "secondo Ninfa" ($E_{sec,ER}$) e il contributo regionale al PM₁₀ secondario europeo "secondo de Leeuw" ($E_{sec,EU}$) è dunque pari a $r = E_{sec,ER} / E_{sec,EU} = 36170/138340 = 0.26$.

Pertanto, possiamo definire i fattori di formazione locale di aerosol per l'Emilia-Romagna, riscaldando quelli a scala europea calcolati da de Leeuw, $AF_{ER}=AF_{EU} \cdot 0.26$:

- per l'ammoniaca 0,17
- per gli ossidi di azoto 0,23
- per il biossido di zolfo 0,14
- per i composti organici volatili 0,0055.

In altri termini, su scala regionale stimiamo che una tonnellata di ammoniaca emessa dia luogo alla formazione di 170 kg di PM₁₀, una tonnellata di ossidi di azoto dia luogo alla formazione di 230 kg di PM₁₀, una tonnellata di biossido di zolfo dia luogo alla formazione di 140 kg di PM₁₀, una tonnellata di composti organici volatili dia luogo alla formazione di 5.5 kg di PM₁₀. Applicando i fattori AF_{ER} è possibile esprimere le emissioni regionali dei precursori in tonnellate di PM₁₀ equivalenti (tabella 1). L'obiettivo della commensurabilità tra precursori e particolato è così raggiunto.

Possiamo quindi approssimare la dinamica del PM₁₀ come un flusso continuo emissione-trasformazione-concentrazione

nel quale i PM₁₀-equivalenti si conservano, come rappresentato graficamente nel diagramma di Sankey in figura 1. Tenendo conto quindi del particolato secondario, cambia la classifica dei settori emissivi più impattanti in termini di PM₁₀: il riscaldamento domestico a legna è il principale produttore di PM₁₀ primario, ma se si allarga lo sguardo al PM₁₀ complessivo (primario+secondario) il suo contributo relativo diminuisce; al contrario, le pratiche agricole contribuiscono poco al PM₁₀ primario e molto a quello secondario e dunque, nel complesso, risultano il secondo fattore di pressione per importanza. Il traffico merci raggiunge il primo posto in classifica, mentre quello delle autovetture è al quinto, dietro ad agricoltura, industria e riscaldamento a legna.

Una metodologia di questo tipo, insieme ovviamente alle stime modellistiche effettuate con modelli fotochimici e all'inventario delle emissioni, può essere un valido strumento per analizzare la complessità delle trasformazioni chimico-fisiche in atmosfera.

Michele Stortini, Giovanni Bonafè*

Arpae Emilia-Romagna

* attualmente Arpa Friuli Venezia Giulia

NOTE

¹ Arpae, come molte agenzie ambientali regionali italiane, usa il software e database Inemar.

² Nel nostro caso, il modello chimico e di trasporto Chimere, cuore della catena Ninfa.

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

Johansson M., Karvosenoja N., Porvari P., Kupiainen K., 2003, "Emission scenarios for particulate matter research and policy assessment in Finland", 12th International Emission Inventory Conference, *Emission inventories-applying new technologies* (Vol. 28).

de Leeuw F.A., 2002, "A set of emission indicators for long-range transboundary air pollution", *Environmental Science & Policy*, 5(2), 135-145.