

Concentrazione numerica e distribuzione dimensionale delle particelle

Lo studio e l'analisi della concentrazione delle particelle ha permesso di evidenziare importanti differenze tra sito urbano e rurale e assieme alla distribuzione dimensionale ha fornito alcune indicazioni sull'origine del particolato numerico.

Il particolato submicronico contribuisce in minima parte alla massa del particolato correntemente monitorato nella qualità dell'aria (PM_{2,5} e PM₁₀), ma il suo apporto acquista notevole importanza se anziché la massa si considera il numero di particelle. Questo perché le particelle più piccole hanno un diametro talmente ridotto da non avere un impatto rilevante in termini di massa, che è fortemente legata al volume, mentre la loro numerosità risulta elevata. Nei due siti di Bologna del progetto Supersito (Bologna, sito urbano e San Pietro Capofiume, sito rurale) sono state misurate da agosto 2012 ad agosto 2015 con una risoluzione temporale molto alta (da 1 minuto a 5 minuti), le particelle da 3 nm a 10 μm, suddivise in diversi canali dimensionali. Una sintesi semplificativa dei risultati ottenuti si può fare raggruppando le particelle in due macro gruppi: quello delle particelle definite non ultrafini (noufp), con un diametro superiore ai 100nm, e quelle inferiori ai 100 nm, dette ultrafini (ufp). Tale divisione è molto importante in quanto le caratteristiche delle particelle

cambiano completamente a seconda della loro dimensione.

La concentrazione delle noufp è molto simile nei due siti, indipendentemente dalla stagione, così come accade con la massa di PM_{2,5}, rispetto alla quale, infatti, le particelle più grandi mostrano una buona correlazione. Al contrario, le ufp mostrano alcune caratteristiche simili nei due siti solo nei mesi più caldi; durante il periodo invernale invece il sito urbano evidenzia andamenti temporali differenti e un numero di particelle ben più elevato. Inoltre, durante l'intero anno,

per la frazione ufp viene completamente a mancare la correlazione con la massa di PM_{2,5}. Un'altra similitudine invece tra le non ultrafini e il PM_{2,5} è l'andamento durante le stagioni, con valori più alti in inverno (circa 3×10³ part/cm³) e più bassi in estate (circa 1,3×10³ part/cm³), analogia non presente nelle ufp, che non mostrano un trend stagionale, se non nel sito rurale con valori maggiori nei mesi più caldi (circa 6,5×10³ part/cm³). L'andamento delle particelle durante il giorno tipo conferma il massimizzarsi della differenza tra i due siti nel periodo freddo per le particelle più piccole, mostrando in particolare due picchi nel sito urbano, uno nelle prime ore del mattino e uno nel tardo pomeriggio, corrispondenti alle ore di massimo traffico (*rush hour*), con valori orari tra 1×10⁴ e 1,8×10⁴ a seconda del periodo.

FIG. 1
NUMERO E MASSA DELLE PARTICELLE

Confronto tra la distribuzione in numero (colore rosso) e quella in massa (colore blu). Bologna, febbraio 2014.

- numero
- massa

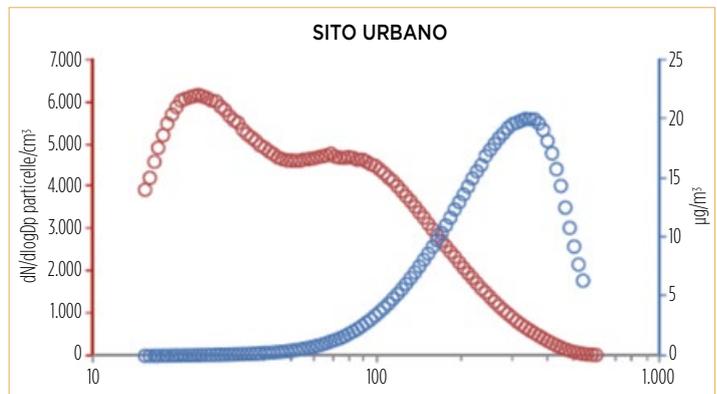
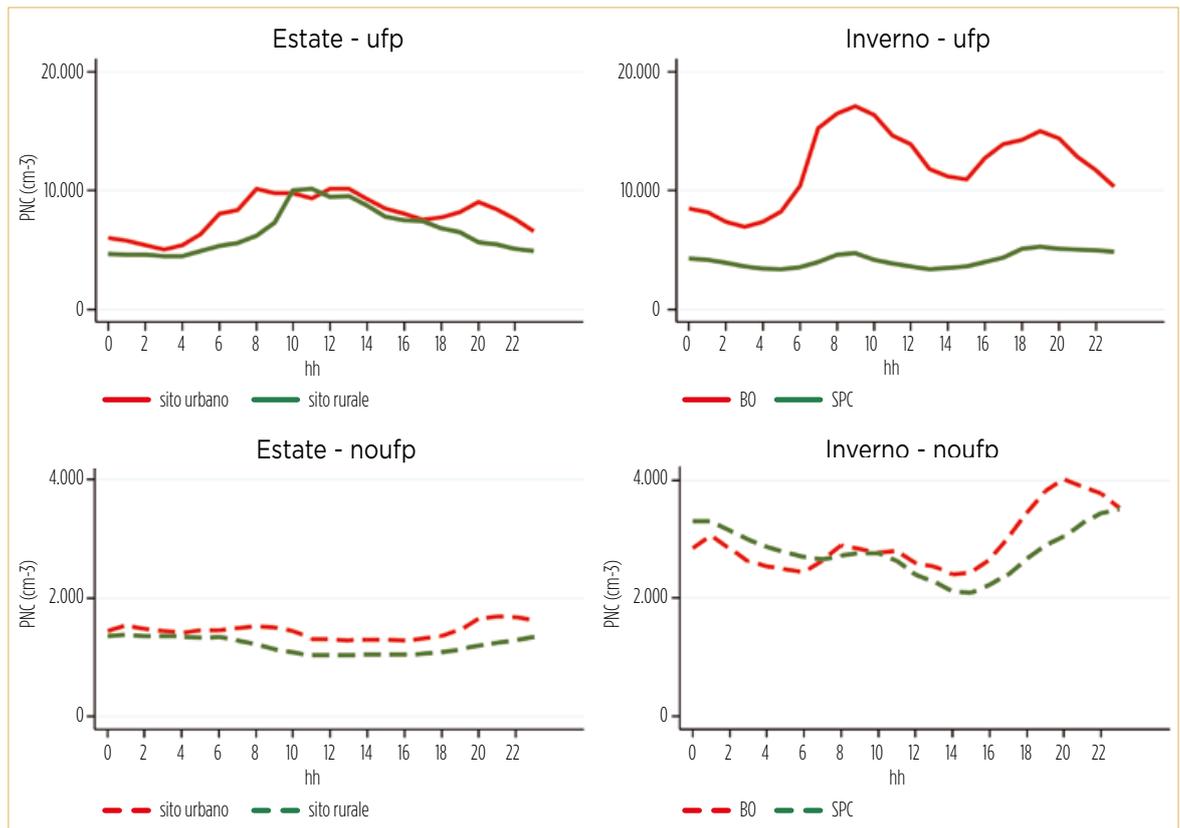


FIG. 2
ESTATE/INVERNO

Andamento orario di un giorno tipo invernale ed estivo, nei due siti di misura di Bologna e San Pietro Capofiume. Nel grafico in alto (linea continua) le particelle ufp (<100 nm), in quello in basso (linea tratteggiata) le particelle noufp (>100 nm). Si notino le diverse scale di misura.



Il sito rurale di San Pietro Capofiume non presenta picchi analoghi, ma in estate evidenzia un massimo verso mezzogiorno a causa dei fenomeni di formazione di nuove particelle. Anche a Bologna avvengono fenomeni di questo tipo, seppur in numero minore: in estate, infatti, il numero di particelle rimane elevato anche nelle ore centrali della giornata. Le particelle con diametro maggiore non mostrano invece durante il giorno andamenti particolarmente differenti tra un sito e l'altro durante l'anno; solo in inverno il trend evidenzia una crescita nelle ore serali e concentrazioni notevolmente più alte rispetto al resto dell'anno, in buona parte imputabili al mese di dicembre. Questo indica omogeneità nel comportamento delle particelle >100 nm simile a quello del PM_{2,5}: anche la media dei giorni della settimana è molto simile per le ufp e il PM_{2,5}, senza differenze tra giorni feriali e festivi. Viceversa, le particelle con diametro inferiore ai 100 nm evidenziano un calo durante il week-end che arriva ad essere quasi del 30% nel sito urbano per una domenica invernale tipo. Tale riduzione diventa più evidente per diametri <50 nm (range dimensionale delle nano particelle).

Analizzando la distribuzione dimensionale (ovvero come la numerosità delle particelle si distribuisce a seconda del loro diametro), si possono notare forme ben distinte nei siti con caratteristiche diverse a seconda del periodo dell'anno. In inverno Bologna mostra una distribuzione bimodale con una prima moda attorno ai 20-30 nm, e una seconda, più bassa, attorno ai 90-100 nm. San Pietro Capofiume presenta una moda preponderante centrata, come per Bologna, attorno ai 100 nm e un'altra, appena accennata, attorno ai 20 nm. Nel periodo più caldo le due distribuzioni tendono ad assomigliarsi con un'unica moda visibile (in realtà spesso rappresenta la somma di due mode) centrata verso diametri più piccoli (<30 nm) a causa del diverso impatto emissivo e della diversa meteorologia. Analizzando a Bologna la stessa distribuzione solo per il periodo freddo, differenziato a seconda delle ore della giornata, si nota un netto calo durante la notte della prima moda, quella con diametri più piccoli, diminuzione non presente nell'area rurale.

Per quanto riguarda l'origine delle particelle, il loro quantitativo nel sito urbano dipende principalmente da due sorgenti, le stesse che si sono trovate per

FIG. 3
ESTATE/INVERNO

Distribuzione dimensionale media del periodo invernale (dicembre, gennaio e febbraio) ed estivo (giugno, luglio e agosto) nei due siti di Bologna e San Pietro Capofiume.

- ◆ sito urbano invernale
- sito urbano estivo
- ◇ sito rurale invernale
- sito rurale estivo

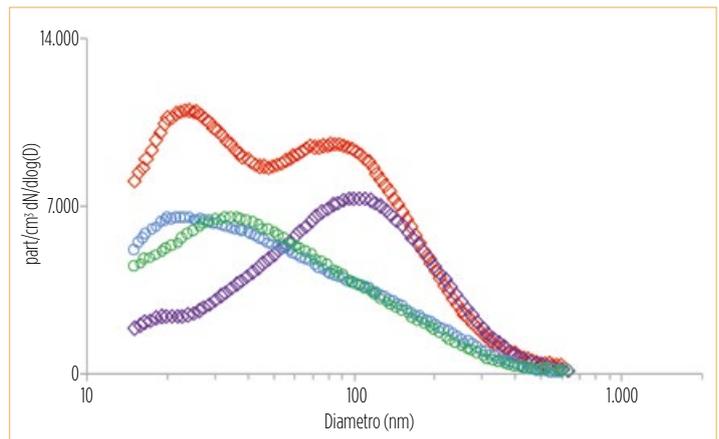
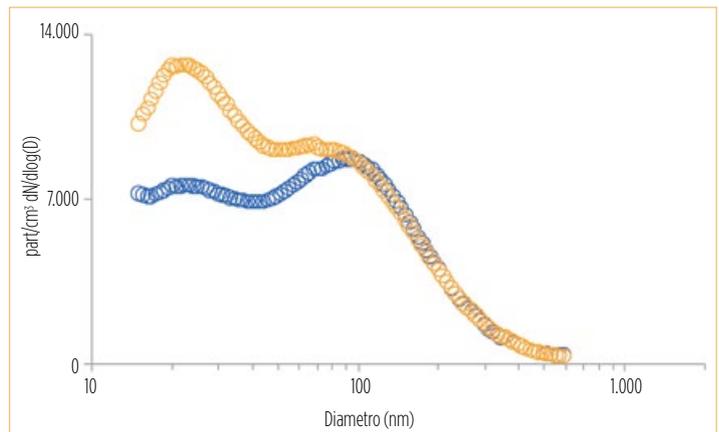


FIG. 4
NOTTE/GIORNO

Distribuzione dimensionale media del periodo invernale a Bologna differenziata per la notte (22.00-5.00) e il giorno (6.00-21.00).

- notte
- giorno



il PM_{2,5}: il traffico, che sembra essere la maggior fonte di emissione per le ufp, e la combustione della legna. Il traffico comporta soprattutto la crescita in numero delle particelle con diametri compresi tra 10 nm e 50 nm (prima moda nella distribuzione dimensionale), range tipico delle particelle di recente formazione prodotte dalla combustione, e con un aumento significativo nelle ore di punta. La combustione della legna invece produce soprattutto particelle con diametro intorno ai 100 nm (seconda moda nella distribuzione dimensionale), principalmente nel periodo freddo. Entrambe le sorgenti comunque incidono per diametri sia più bassi che più elevati, sia in termini di emissioni sia in quanto una volta emesse le particelle si trasformano e invecchiano crescendo di diametro (per condensazione, coagulazione e altre trasformazioni). Esistono anche altre sorgenti emissive che contribuiscono alla concentrazione numerica, quali ad esempio le attività industriali, il traffico aereo e il trasporto tramite i movimenti delle masse d'aria, quest'ultima importante soprattutto per le particelle più grandi. Un'altra fonte importante, soprattutto per le particelle di pochi nanometri di diametro, risulta essere quella riconducibile agli eventi di formazione di nuovo aerosol, definiti

eventi di "nucleazione" (v. box nella pagina seguente). Tale sorgente, il cui peso sul totale delle particelle è attualmente in fase di studio, risulta particolarmente importante in un sito rurale come quello di San Pietro Capofiume, dove mancano, per le Ufp, altre sorgenti rilevanti. È interessante infine osservare le diverse concentrazioni presenti a seconda del sito di misura. Per farlo dobbiamo utilizzare lo stesso range di misura, in questo caso 13-100 nm. Prendendo il sito urbano come sito di riferimento, con circa 7×10^3 part/cm³ di concentrazione media sull'intero periodo di analisi, quello rurale mostra un numero di particelle di circa la metà ($5,1 \times 10^3$ part/cm³), mentre un sito da traffico di Bologna (campagne per la stima dell'esposizione) un valore di tre volte tanto ($2,45 \times 10^4$ part/cm³). Per quanto riguarda le noUfp in entrambi i siti, nel range compreso dai 100 ai 600 nm, il valore è attorno alle 2×10^3 part/cm³, mentre in quello da 0,28 a 10 μm, con un diametro quindi maggiore, è di un ordine di grandezza in meno.

Arianna Trentini, Fabiana Scotto, Dimitri Bacco, Vanes Poluzzi

Arpae Emilia-Romagna

FOCUS

EVENTO DI NUCLEAZIONE, IL PROCESSO DI FORMAZIONE DI PARTICELLE IN ATMOSFERA

L'evento di nucleazione in atmosfera è un meccanismo attraverso il quale si formano nuove particelle di dimensioni nanometriche (1 o 2 nm di diametro). Questo fenomeno, complesso e ancora a oggi oggetto di studio da parte della comunità scientifica internazionale in quanto non ancora del tutto compreso, può avvenire in particolari condizioni meteorologiche (alcune delle variabili meteo più importanti sono la radiazione solare, la temperatura e l'umidità relativa), grazie a dei precursori in fase vapore o gas (acido solforico, ammine e VOC principalmente) e a processi fotochimici. La probabilità che un evento di formazione di nuove particelle avvenga può dipendere, oltre che dalle emissioni locali, anche dal trasporto ad ampia scala di masse d'aria di diversa origine che generano sul territorio condizioni chimico-fisiche e meteorologiche differenti.

Spesso l'evento viene rappresentato con un grafico definito *banana shape*, che evidenzia la formazione di nuove particelle e la loro successiva crescita di diametro: in un determinato momento si osserva una grande concentrazione di particelle nei diametri più piccoli e successivamente una serie di trasformazioni che portano alla crescita di particelle con diametri maggiori. In *figura 1* si mostra proprio un esempio di questo grafico per un giorno di nucleazione avvenuto nel mese di aprile 2013 nel sito rurale di San Pietro Capofiume (BO). L'evento è di classe 1, seguendo la classificazione fatta da Hamed et al. (2007, "Nucleation and growth of new particles in Po valley, Italy", *Atmospheric Chemistry and Physics*, 7, 355-376), che è la classe in cui si inseriscono le nucleazioni più chiaramente identificabili (gli eventi, infatti, vengono normalmente classificati sulla base di alcune caratteristiche, come la durata, l'intensità ecc.), con un inizio e una fine ben definiti e con una crescita che inizia da diametri intorno ai 3 nm (limite strumentale), se non inferiori, come si vede dall'immagine.

Nel periodo oggetto dello studio (da agosto 2012 a agosto 2015) si sono analizzati il numero degli eventi di nucleazione e la loro categorizzazione in varie classi nel sito principale di Bologna e in quello rurale di San Pietro Capofiume. La frequenza di tali eventi è arrivata fino al 45% dei giorni analizzati nel sito rurale e fino al 35% nel sito urbano. In particolare nel sito rurale, nel mese di maggio, si è verificato un evento il 60% delle volte (più di un giorno su due). In generale infatti i mesi primaverili ed estivi sono quelli in cui la frequenza degli eventi è massima. Confrontando i giorni in cui non si verifica un evento di nucleazione con quelli in cui avviene, l'incremento medio della concentrazione numerica di particelle più piccole (<100 nm) è superiore al 50%, e può arrivare a più del 75% nel sito rurale nel range 3-25 nm. Proprio per questo motivo tali fenomeni hanno una rilevanza importante. Durante la loro presenza infatti, l'incremento delle particelle totali, pilotate dalle ufp (3-600 nm) porta ad avere nel

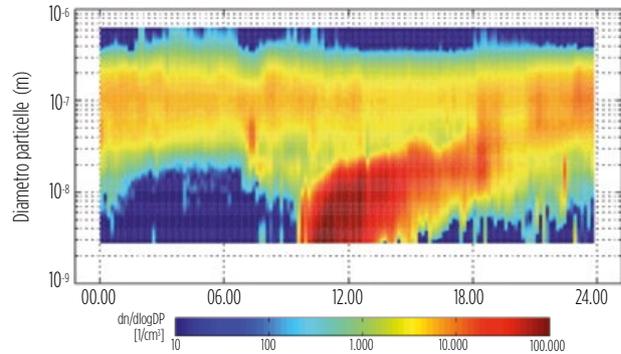


FIG. 1 - NUCLEAZIONE

Esempio di grafico definito "banana shape" in cui si evidenzia la variazione della distribuzione dimensionale delle particelle il 17 aprile 2013 nel sito rurale di San Pietro Capofiume. In ascissa il tempo durante il giorno, da mezzanotte a mezzanotte (i dati sono ogni 10 minuti), in ordinata il diametro; la scala cromatica rappresenta la concentrazione numerica.

sito rurale concentrazioni simili a quelle del sito urbano, che normalmente mostra valori più alti essendo caratterizzato da maggiori sorgenti antropiche, come, ad esempio, il traffico. Parallelemente alla crescita di particelle ultrafini nei giorni di evento, si nota un calo sia del particolato numerico più grossolano che del PM in diverse frazioni granulometriche (fino a quasi 40% nel sito urbano e 60% in quello rurale). Come si vede nel confronto mostrato in *figura 2*, in entrambi i siti, per motivi differenti, si raggiunge un numero di particelle molto simile (ma con composizione chimica che potrebbe essere differente). Nel grafico a sinistra, il sito urbano di Bologna mostra una crescita delle particelle più piccole (tra 3 e 30 nm) imputabile quasi esclusivamente al traffico - alcuni picchi raggiungono concentrazioni di circa $4,2 \times 10^4$; nel grafico a destra invece, il sito rurale evidenzia una crescita importante nel primo range (3-10 nm) a cui segue una seconda nei diametri successivi (10-30 nm). Nel sito urbano la differenza di comportamento dei due range non è netta, a causa delle diverse sorgenti. Un'altra importante considerazione legata a questo fenomeno è che essa può essere responsabile anche dell'aumento delle particelle derivanti dal traffico in quanto, in condizioni prevalentemente invernali, con basse temperature e alta umidità relativa, eventi di nucleazione possono avvenire a ridosso del tubo di scappamento dei veicoli (aumentando notevolmente il numero di particelle). Questo tipo di nucleazione non sembra però mostrare una crescita successiva, né presenta la stessa entità in termini di concentrazione numerica.

FIG. 2 SITO URBANO/ SITO RURALE

Giorno feriale invernale nel sito urbano di Bologna (a sinistra) e giorno di evento di formazione di nuove particelle nel sito rurale di San Pietro Capofiume. La risoluzione temporale è ogni cinque minuti e la scala è la stessa. Le particelle rappresentate hanno un diametro compreso tra i 3 e i 30 nm.

