

CONOSCERE E MIGLIORARE L'ARIA

Dal progetto Supersito la ricerca al servizio dell'agire

La qualità dell'aria è un argomento su cui sta crescendo l'attenzione nel campo ambientale, in particolare per le evidenze dell'impatto sulla salute. Nel bacino padano, in particolare, si sta consolidando la consapevolezza che l'inquinamento atmosferico è uno dei principali problemi ambientali e che sia necessario intervenire per il risanamento dell'aria.

Un aspetto fondamentale da affrontare per decidere su quali aspetti concentrarsi passa da una maggiore conoscenza dell'origine, delle cause e delle caratteristiche dell'inquinamento, oltre che da una più approfondita comprensione degli effetti sulla salute della popolazione.

Proprio per rispondere agli interrogativi relativi a questi temi, la Regione Emilia-Romagna e Arpa stanno realizzando un importante progetto di ricerca, Supersito, che coinvolge molti ricercatori di numerosi enti e prevede campionamenti e analisi in varie aree del territorio, elaborazioni epidemiologiche e di valutazione del rischio.

In questo servizio pubblichiamo, oltre a una descrizione degli obiettivi e dell'organizzazione del progetto, una parte dei primi risultati emersi dalle attività. Queste prime analisi confermano il carattere innovativo e di assoluta rilevanza scientifica del progetto Supersito dell'Emilia-Romagna.

PERCHÉ STUDIARE A FONDO L'INQUINAMENTO ATMOSFERICO

IL PROGETTO SUPERSITO NASCE DALLA VOLONTÀ E DALLA DETERMINAZIONE DELL'EMILIA-ROMAGNA DI CAPIRE NEL DETTAGLIO CAUSE, MECCANISMI DI AZIONE E IMPATTI DELL'INQUINAMENTO ATMOSFERICO SULLA SALUTE UMANA.



FOTO: G. GALEOTTI - FLICKR - CC

Il 25 marzo 2014, l'Organizzazione mondiale della sanità diffonde la notizia che nel 2012, sull'intero pianeta, ci sono state circa 7 milioni di morti riconducibili all'inquinamento atmosferico.

Di fronte a questi numeri, la comunità scientifica internazionale sente l'esigenza di affrontare la materia con completezza – come documentato da tanti articoli scientifici che portano nell'ottobre 2013 alla pubblicazione dell'Agencia internazionale per la ricerca sul cancro (Iarc) in cui viene classificato l'inquinamento atmosferico esterno come cancerogeno per l'uomo.

Venendo poi alle nostre zone, da tempo è noto come nella pianura Padana si riscontri una cattiva qualità dell'aria: si ricordi, a questo proposito, il numero di superamenti del valore limite giornaliero di PM_{10} , che ogni anno vede numerosi titoli sui giornali della zona.

Se queste notizie sono vere – e da tempo numerose pubblicazioni scientifiche lo attestano, dunque non ci sono alibi – si può forse accettare che le numerose morti e patologie sviluppate dalle popolazioni non trovino in Emilia-Romagna la volontà di comprenderne nel dettaglio cause e intensità?

Certo, non si parte da zero in Emilia-Romagna e numerosi sono già stati gli studi e i progetti che miravano a conoscere sempre meglio l'impatto di alcuni comparti produttivi o attività di servizio come gli inceneritori di rifiuti. Possiamo affermare che l'intento di sconfiggere l'ignoranza – ossia il non sapere – è il motore del progetto Supersito. E allo stesso tempo, che l'ignoranza – ossia la consapevolezza del non sapere – genera la volontà di andare oltre, di spingere la macchina a cercare più approfondite informazioni e a non transigere nell'inseguire le migliori che possono portare a vivere meglio. Volontà di indirizzarsi nell'approfondimento della conoscenza e non fermarsi davanti alla mera cultura di base, tenacia nel proseguire in quel percorso che ha portato l'Emilia-Romagna a essere una delle zone più evolute del mondo, poiché la ricchezza non è nei beni materiali, ma nella ricerca continua di un equilibrio tra cultura a tutti i livelli e sua applicazione: in questa direzione va il progetto Supersito. L'ambizione della popolazione dell'Emilia-Romagna, delle sue istituzioni, dei suoi cittadini nei confronti della conoscenza sono quindi

il fondamento di uno studio ambizioso com'è il progetto Supersito. Da qui viene la determinazione della Regione Emilia-Romagna e di Arpa a portare avanti questo tipo di studi, accelerando il più possibile sul pedale delle conoscenze.

E non potrebbe essere altrimenti visti gli obiettivi che sono stati delineati nel progetto, obiettivi che proiettano questa regione a spingersi in territori propri dei paesi più avanzati; di laboratorio a cielo aperto si può infatti ormai parlare, viste tutte le ricerche e gli esperimenti che sono stati fatti e che sono a tutt'oggi in corso in questi territori a sud del Po e a nord degli Appennini e dei quali lo studio Supersito è probabilmente uno dei punti più alti.

D'altro canto, rovistando nella letteratura scientifica internazionale, si comprende rapidamente quanto poco diffusi siano gli studi italiani che valutano i dettagli dell'aerosol atmosferico in termini di impatto sulla salute, e ben pochi sono quelli che si arrischiano nel comprendere

1 La stazione di misura principale del progetto Supersito, nell'area urbana di Bologna.

quali sono le principali fonti dell'inquinamento atmosferico con tanti numeri alla mano, e per comprendere se tre anni di misure siano un numero elevato o meno si può percorrere la bibliografia di settore per accorgersi della dimensione di tale ricerca.

Cosa respiriamo dunque in Emilia-Romagna? Una risposta – almeno per i parametri richiesti dalla normativa – la fornisce già la rete di monitoraggio della qualità dell'aria che con le sue stazioni fisse (a oggi circa una cinquantina su tutta la regione) informa quotidianamente i cittadini sui valori di materiale particolato inferiore ai 10 e ai 2.5 µm di diametro aerodinamico, degli ossidi di azoto, del monossido di carbonio, di benzene e dell'ozono che si trovano nell'aria delle città e delle campagne della regione. Il Supersito si spinge però in territori molto più ostici: si va dalla ricerca delle distribuzioni dimensionale delle particelle – ossia la misura delle particelle presenti, non solo relativamente alla loro massa, ma anche in termini numerici, per ogni metro cubo d'aria e per ogni tipologia – alla ricerca di che cosa sono fatte le PM_{2,5} con dettaglio rispetto a composti organici e ionici, metalli, ai due diversi tipi di



1

IL PROGETTO SUPERSITO

Il progetto Supersito, finanziato e realizzato da Regione Emilia-Romagna e Arpa, ha l'obiettivo generale di migliorare le conoscenze relative agli aspetti ambientali e sanitari del particolato fine (PM_{2,5} e PM₁) e ultrafine (inferiore al PM_{0,1}) presente in atmosfera, sia all'esterno (*outdoor*) che all'interno delle abitazioni (ambienti *indoor*). Il campionamento ha luogo in cinque stazioni di monitoraggio (*figura 1*), posizionate nel territorio della Regione Emilia-Romagna in modo da essere rappresentative di diverse realtà locali sia per gli aspetti emissivi e meteorologici che per quelli legati alla morfologia del territorio.

I monitoraggi e le campagne *ad hoc* sono effettuati per 3 anni e in particolare si eseguono:

1. analisi della composizione chimica del PM presente in atmosfera;
2. misure della concentrazione numerica delle particelle atmosferiche, suddivise per diametro, aventi dimensioni da circa 3 nm a 1 µm;
3. determinazioni di tipo tossicologico per valutare le tipologie di aerosol contenenti sostanze, elementi, composti o miscele di composti che hanno effetti sulla salute;
4. analisi di parametri di micro-meteorologia.



FIG. 1
STAZIONI DI
MONITORAGGIO

Stazioni di monitoraggio del progetto Supersito.

Successivamente alle misure descritte vengono attuate diverse elaborazioni con i seguenti fini

- a) miglioramento dei modelli matematici utilizzati per le previsioni della qualità dell'aria
- b) ripartizione delle sorgenti emissive (*source apportionment*) mediante l'utilizzo di "modelli al recettore"
- c) indagini epidemiologiche a breve e a lungo termine
- d) valutazione del rischio (*risk assessment*) attraverso le elaborazioni dei parametri chimici e tossicologici osservati e dalla loro comparazione con le analisi epidemiologiche
- e) miglioramento della valutazione dell'esposizione della popolazione tramite misure *ad hoc* in ambienti

indoor.

Gli enti attualmente coinvolti nel progetto Supersito sono:

- Istituto di scienze dell'atmosfera e del clima - Consiglio nazionale delle ricerche (Isac-CNR)
- Università di Bologna (dipartimento di Patologia sperimentale e dipartimento di Scienze statistiche)
- Università di Ferrara (dipartimento di Chimica)
- Università della Finlandia orientale
- Istituto meteorologico finlandese
- Dipartimento di Epidemiologia del Servizio sanitario regionale del Lazio
- Università dell'Insubria.

Maggiori informazioni al sito web www.supersito-er.it

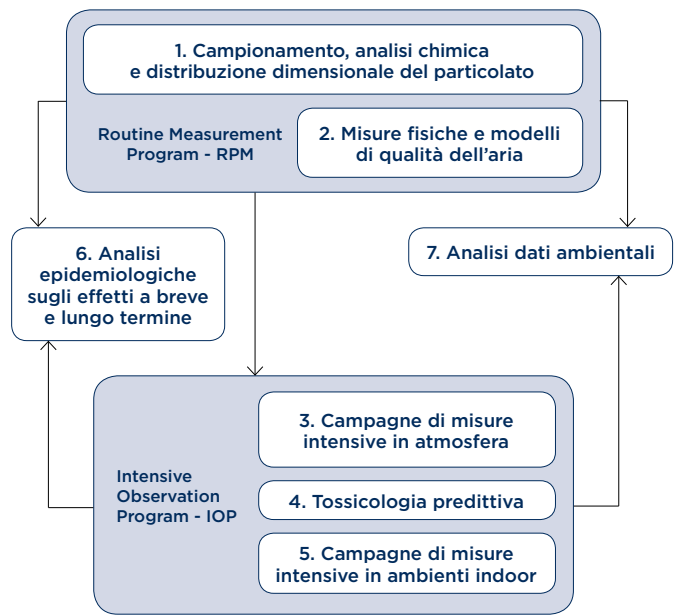
carbonio: organico ed elementare. Oltre a questo vengono osservati gli aspetti fisici dell'atmosfera – per poter capire come si muovono, diffondono e galleggiano le sostanze che ci sono contenute – e realizzata l'analisi della tossicologia dell'aerosol, il tutto per poter arrivare agli ambiziosi obiettivi del progetto, che sono molteplici e che toccano diversi aspetti ambientali e sanitari.

Uno degli obiettivi cardinali è, come si evince dai documenti che delineano il progetto, quello di conoscere l'impatto che ha l'aerosol atmosferico sulla salute dei cittadini, delle persone che risiedono o frequentano la regione Emilia-Romagna e quale rischio si corre a respirare questa aria.

Dal punto di vista ambientale si orienteranno poi gli strumenti – e i metodi matematici di valutazione, lo sviluppo e il miglioramento dei quali è anch'esso una parte di estrema importanza nello studio – al fine di stimare le sorgenti che generano l'inquinamento e con quali percentuali il traffico, il riscaldamento, le industrie e le altre fonti di pressione ambientale contribuiscono a comporre, assieme alle reazioni responsabili della formazione di nuove particelle o materiale particolato, la massa dell'aerosol presente in atmosfera. Ultimo, ma certamente non per importanza, l'obiettivo di comprendere al meglio – rispetto a quanto si conosca a oggi – l'esposizione reale delle persone all'inquinamento da aerosol. Come è noto, infatti, tutti noi passiamo mediamente molto più tempo nelle aree interne (*indoor*) che in quelle esterne (*outdoor*). Se è vera tale affermazione, se ne deduce che è necessario capire bene cosa respiriamo nei luoghi di lavoro, nelle abitazioni, nelle scuole, oltre che all'esterno. E per questo sono

FIG. 2 ORGANIZZAZIONE DEL PROGETTO

Organizzazione del progetto Supersito, linee progettuali e obiettivi specifici.



state definite una serie di misurazioni, sia in interni che nelle loro immediate circostanze esterne, che andranno proprio nella direzione di comprendere al meglio qual è il rapporto tra quantità di inquinanti fuori e dentro.

Ma per realizzare uno studio del genere, così orientato a comprendere tematiche che sono al confine delle attuali conoscenze, era impensabile che non fosse necessaria la collaborazione con il mondo accademico e della ricerca. Così, numerose collaborazioni sono state messe in cantiere e iniziate, quando le attività del progetto sono partite, nel luglio del 2010. L'Istituto di scienze dell'atmosfera e del clima (Isac) del Cnr, il dipartimento di Patologia generale e il dipartimento di Scienze statistiche dell'Università di Bologna, il dipartimento di Scienze chimiche e farmaceutiche dell'Università di Ferrara, l'Istituto meteorologico finlandese,

l'Università della Finlandia orientale, il dipartimento di Epidemiologia dell'Asl Roma E, l'Università dell'Insubria sono gli enti che collaborano, ognuno con le proprie alte competenze scientifiche, alla riuscita del progetto.

Tornando quindi alla domanda (retorica) di partenza, si può senz'altro affermare che non si può accettare che i numeri delle morti e delle patologie legate all'inquinamento atmosferico passino come semplici notizie; è importante invece indagare origini, meccanismi di azione e portata di tale inquinamento per orientare azioni e politiche più incisive rispetto alla tutela della salute della popolazione.

Paola Angelini¹, Vanes Poluzzi²

- 1. Regione Emilia-Romagna
- 2. Arpa Emilia-Romagna



FOTO: G. GALEOTTI - PANORAMIO - CC

AMBIENTE E SALUTE, DALLE INFORMAZIONI ALLE SCELTE

IL PROGETTO SUPERSITO STA FORNENDO INFORMAZIONI UTILI A INDIVIDUARE LE STRATEGIE PER RIDURRE L'ESPOSIZIONE ALL'INQUINAMENTO ATMOSFERICO. INTERVISTA A EMANUELA BEDESCHI, RESPONSABILE DEL SERVIZIO SANITÀ PUBBLICA DELLA REGIONE EMILIA-ROMAGNA.

INTERVISTA



Emanuela Bedeschi

Responsabile Servizio sanità pubblica,
Regione Emilia-Romagna

L'assessorato Politiche per la salute della Regione Emilia-Romagna è tra i promotori del progetto Supersito. Considerato che la finalità principale di Supersito è migliorare la conoscenza degli aspetti ambientali e sanitari del particolato fine e ultrafine, quali elementi del progetto ritiene sinergici con gli obiettivi del Piano regionale integrato per la qualità dell'aria mirati alla salvaguardia delle popolazioni esposte?

Il progetto Supersito sta fornendo numerose informazioni sulla natura e composizione dell'aria che respiriamo: avremo dati sulla concentrazione di varie molecole, sulla composizione chimica delle particelle (speciazione) e sulla loro dimensione arrivando a contare anche le nanoparticelle. Attraverso Supersito sarà possibile seguire nel tempo le variazioni nella qualità dell'aria e quindi anche valutare gli effetti del Piano regionale integrato per la qualità dell'aria. Si apre inoltre l'opportunità di valutare scenari alternativi in materia di programmazione ambientale con la conseguente possibilità di dare un contributo utile alla scelta degli interventi e delle strategie da mettere in campo per il futuro. Il progetto fornirà inoltre nuovi strumenti per la sorveglianza dell'impatto sulla salute dell'inquinamento atmosferico.

Dai risultati intermedi delle linee progettuali, presentati nel convegno del 19 dicembre 2013 sullo stato di avanzamento del progetto Supersito, sono già emersi dati interessanti sul

tema "ambiente e salute" relativamente alle caratteristiche e agli effetti degli inquinanti presenti in atmosfera?

La prima fase del progetto, ancora in corso, è dedicata alla raccolta dei dati sulla qualità dell'aria attraverso le campagne intensive e il monitoraggio quotidiano. In particolare per lo studio epidemiologico degli effetti sanitari dell'inquinamento atmosferico sarà necessaria una serie storica di dati che in fase di progettazione abbiamo previsto essere di 3 anni. La caratterizzazione chimica e dimensionale del particolato e degli altri inquinanti, e la loro variazione nel tempo, sarà alla base delle analisi epidemiologiche che verranno condotte nei prossimi mesi per mettere in relazione, in modo innovativo, l'inquinamento con la salute della popolazione, considerando sia effetti a breve termine che di lungo periodo.

In quali settori o temi di competenza dell'assessorato potranno essere utilizzati, in particolare, i dati monitorati e analizzati nell'ambito del progetto (per esempio, rischio sanitario nelle zone urbane)? Si aspetta che possano orientare anche azioni e regolamentazioni specifiche (per esempio, limitare l'esposizione della popolazione alle sorgenti emissive per ridurre il rischio ecotossicologico)?

I risultati del progetto daranno informazioni utili a orientare i comportamenti individuali, al fine di ridurre l'esposizione all'inquinamento atmosferico e quindi mitigarne gli effetti negativi sullo stato di salute delle persone in generale e in gruppi critici di popolazione quali ad esempio anziani e bambini. Come già detto poi i dati di Supersito potranno essere utili anche per individuare strategie di contenimento delle emissioni per una mitigazione di impatto sulla popolazione.

Attualmente il progetto Supersito monitora la qualità dell'aria nelle aree urbane di Parma, Rimini e Bologna e nel sito rurale di San Pietro Capofiume. Pensa che in futuro



potrebbe essere interessante estendere il progetto ad altre aree e località della regione Emilia-Romagna?

Il progetto Supersito ha già valenza regionale. Le aree citate sono le sedi delle centraline di misura della qualità dell'aria, tuttavia l'utilizzo di modelli matematici permetterà di estendere i dati rilevati puntualmente ad altre aree del territorio regionale. Queste stime consentiranno di studiare la relazione tra qualità dell'aria e salute sulla base di una popolazione afferente a una cinquantina di comuni della Regione Emilia-Romagna. I comuni sono distribuiti tra zone urbane, rurali e costiere. Rimangono escluse le aree montane, in quanto non interessate dal problema dell'inquinamento e i poli industriali, poiché caratterizzati da un'emissione di inquinanti molto specifica. Ulteriori sviluppi di Supersito potrebbero prevedere approfondimenti specifici sul tema ambiente e salute in queste aree. Invece un'interessante estensione del progetto è già in essere: attraverso un apposito protocollo sottoscritto dalle relative Arpa è in corso una ripetizione di misure secondo la metodologia di Supersito in Lombardia, Veneto e Piemonte. Stiamo ora costruendo una rete di collaborazioni per lavorare anche sullo studio degli effetti sulla salute dell'inquinamento atmosferico nel bacino padano

Intervista a cura di **Alessandra De Savino**,
Arpa Emilia-Romagna

IL RISANAMENTO DELL'ARIA PARTE DALLA CONOSCENZA

L'INDIVIDUAZIONE DETTAGLIATA DELLE CAUSE DELL'INQUINAMENTO ATMOSFERICO È LA BASE DA CUI PARTIRE PER ASSUMERE POLITICHE DI INTERVENTO EFFICACI, CON UN APPROCCIO INTEGRATO. INTERVISTA A KATIA RAFFAELLI, SERVIZIO RISANAMENTO ATMOSFERICO, ACUSTICO, ELETTROMAGNETICO, REGIONE EMILIA-ROMAGNA.

INTERVISTA



Katia Raffaelli

Servizio Risanamento atmosferico, acustico, elettromagnetico, Regione Emilia-Romagna

L'assessorato Ambiente e riqualificazione urbana della Regione Emilia-Romagna è tra i promotori del progetto Supersito. Considerato che la finalità principale di Supersito è migliorare la conoscenza degli aspetti ambientali e sanitari del particolato fine e ultrafine, quali elementi del progetto ritiene sinergici con gli obiettivi del Piano regionale integrato per la Qualità dell'aria mirati alla salvaguardia delle popolazioni esposte?

In particolare, il cosiddetto *source apportionment*, ovvero l'individuazione dettagliata del contributo delle diverse fonti sulla formazione del particolato, è uno dei temi più importanti da analizzare per adottare misure di risanamento efficaci. Gli effetti dell'inquinamento atmosferico sulla salute è un altro tema sul quale ci aspettiamo dal progetto Supersito risultati significativi. Su questi aspetti infatti esiste una corposa bibliografia scientifica, tra cui le recenti pubblicazioni di organizzazioni internazionali come lo Iarc e l'Agenzia europea per l'ambiente. Ma sono necessari dati specifici per il territorio regionale per valutare con precisione gli effetti delle politiche di risanamento sul sistema socio-sanitario.

Dai risultati intermedi delle linee progettuali, sono già emersi dati interessanti sul tema "ambiente e salute" relativamente

alle caratteristiche e agli effetti degli inquinanti presenti in atmosfera?

Già i primi risultati del progetto hanno evidenziato elementi significativi e sono stati assunti dal *Piano regionale integrato per la qualità dell'aria* (Pair 2020). Il progetto ha infatti confermato che una componente considerevole del particolato fine è dovuta al fondo e all'inquinamento secondario. Inoltre ha dimostrato il ruolo svolto da alcuni settori meno "tradizionali" come l'agricoltura sulla formazione degli inquinanti, e il comportamento degli ioni ammonio nei fenomeni di formazione del particolato fine. Così come il ruolo svolto dall' SO_2 nei fenomeni di nucleazione, anche in piccole quantità, e quindi la necessità di intervenire su questo inquinante, anche se già sotto i limiti normativi.

In quali settori o temi di competenza dell'assessorato potranno essere utilizzati, in particolare, i dati monitorati e analizzati nell'ambito del progetto (per esempio mobilità sostenibile, attività produttive)? Si aspetta che possano orientare anche azioni e regolamentazioni specifiche (per esempio regolamentazione biomasse, provvedimenti di limitazione del traffico)?

I dati potranno essere utilizzati in tutti i settori che hanno influenza

sull'inquinamento atmosferico e in particolare sulla formazione di particolato fine. Attraverso il Pair 2020, la Regione definisce misure e azioni da realizzare nei vari ambiti tematici (trasporti, energia, industria, agricoltura ecc.) attraverso un approccio integrato e multisettoriale.

Attualmente il progetto Supersito monitora la qualità dell'aria nelle aree urbane di Parma, Rimini e Bologna e nel sito rurale di San Pietro Capofiume. Pensa che in futuro potrebbe essere interessante estendere il progetto ad altre aree e località della regione Emilia-Romagna?

La natura dei processi ha messo in evidenza che, più che il dettaglio spaziale, sono necessarie analisi a grande scala legate ad aspetti di trasporto del particolato. Per questo, è stato avviato il percorso di estensione del progetto all'ambito del bacino padano, in linea con l'esigenza di riportare le politiche sulla qualità dell'aria alla scala appropriata. Sono inoltre in fase di studio alcuni progetti europei con questo obiettivo e in un'ottica di bacino potranno essere definite le soluzioni ottimali per fornire una rappresentazione precisa dell'intera area.

Intervista a cura di **Alessandra De Savino**, Arpa Emilia-Romagna



FOTO: PAOLO C. - FLICKR - CC

DI COSA SONO FATTE LE POLVERI SOTTILI?

IL PROGETTO SUPERSITO SORVEGLIA GIORNO PER GIORNO CIÒ CHE COMPONE IL PARTICOLATO ATMOSFERICO. ARPA EMILIA-ROMAGNA PRENDE PARTE ALLA RICERCA INTERNAZIONALE IN MATERIA DI INQUINAMENTO ATMOSFERICO PER COMPRENDERE GLI EFFETTI SULLA SALUTE E GARANTIRE ATTENZIONE AL PROPRIO TERRITORIO.

La prima linea progettuale del progetto Supersito si pone come obiettivo quello di caratterizzare i principali parametri chimici e fisici del particolato atmosferico, sia in relazione a quanto previsto dalla normativa (Dlgs 155/10 *Attuazione della direttiva 2008/50/CE relativa alla qualità dell'aria ambiente e per un'aria più pulita in Europa*), sia per migliorare le conoscenze in merito ai nuovi ambiti di ricerca sull'aerosol atmosferico.

Un incrocio fra esigenze territoriali, logistiche e demografiche ha portato alla scelta di 4 siti di misura distribuiti in diverse aree dell'Emilia-Romagna. Il sito "principale" e quindi ricco di misure – definito *main site* – si trova nell'area urbana di Bologna, all'interno dell'Area della ricerca del Cnr, la cui ubicazione lo rende rappresentativo dell'esposizione media di un'ampia porzione di popolazione.

Il sito rurale di San Pietro Capofiume (Bo) – uno dei luoghi più monitorati della regione, sia da gruppi di ricerca italiani che internazionali – è studiato per il suo interesse di tipo prettamente ambientale: la sua lontananza da fonti dirette di emissione permette di far emergere peculiari caratteristiche nonché importanti fenomeni chimici e fisici

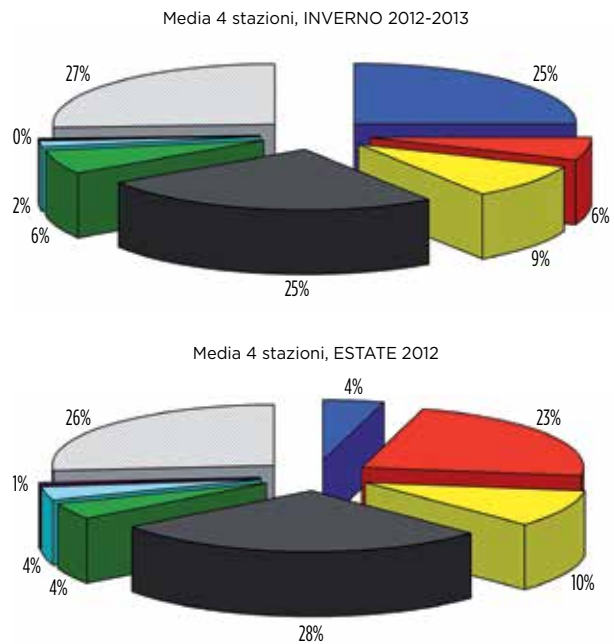
dell'aerosol. Le aree orientali (zona costiera) e occidentali (zona interna) della regione sono anch'esse incluse nel progetto, rispettivamente nei siti di fondo urbano di Rimini e Parma.

Nei siti di Bologna e San Pietro Capofiume vengono monitorati giornalmente i parametri PM_1 e $PM_{2,5}$, che quantificano e quindi permettono

il controllo della partizione della massa dell'aerosol nelle due frazioni granulometriche. Il confronto con Parma e Rimini avviene solo per la frazione $PM_{2,5}$. La frazione $PM_{2,5}$ rappresenta il nucleo del monitoraggio, in quanto, oltre alle valutazioni di tipo gravimetrico, su tale supporto sono state realizzate specifiche analisi di laboratorio, che hanno portato

FIG. 1
 $PM_{2,5}$
Composizione media del particolato $PM_{2,5}$ nel sito di Bologna.

- Nitrati
- Solfati
- Ammonio
- OC
- EC
- Altri Ioni
- Metalli
- Non determinato



a una accurata speciazione chimica di tale frazione dell'aerosol.

La normativa di riferimento, nonché la letteratura scientifica hanno indirizzato la scelta delle analisi da una parte verso quei parametri responsabili di una grossa fetta in massa del particolato PM_{2,5} (carbonio organico ed elementare e i principali componenti inorganici ionici) e, dall'altra, verso componenti presenti solo in traccia, ma attribuibili a specifiche sorgenti e caratterizzati da potenziale elevata tossicità (metalli in traccia).

I principali componenti inorganici ionici, i metalli in traccia e il carbonio organico ed elementare su PM_{2,5} vengono determinati quotidianamente nel sito urbano di Bologna (figura 1), mentre la frequenza di analisi si riduce negli altri 3 siti.

Tra gli ioni, i nitrati, i solfati e l'ammonio sono responsabili di una frazione consistente della massa del PM_{2,5}: risultati preliminari attribuiscono alla somma dei tre un peso pari a circa il 40% (medio su 4 stazioni) della massa totale del PM_{2,5} nella stagione invernale e circa un 30% nella stagione estiva.

I nitrati e i solfati sono prodotti principalmente da ossidazione fotochimica di NO_x (ossidi di azoto, da processi di combustione) e SO₂ (biossido di zolfo, processi di combustione di materiali che contengono lo zolfo come impurità: combustibili fossili, alcune industrie ecc). L'ammonio, che in atmosfera si trova legato principalmente a nitrati e solfati (neutralizzazione di acido nitrico e solforico), deriva dall'ammoniaca la cui presenza in atmosfera – come confermato dall'inventario regionale delle emissioni – è legata principalmente all'agricoltura. Il carbonio organico (OC) è un composto di origine sia naturale che antropogenica ed è prodotto principalmente da processi di combustione (traffico, riscaldamento,

industrie, combustione di biomasse). In atmosfera, può formarsi anche da reazioni fotochimiche secondarie nonché da processi di tipo biologico.

Il carbonio elementare (EC) deriva essenzialmente da emissione diretta, come prodotto di processi di combustione.

Dai dati ottenuti, la frazione carboniosa (OC+EC) raggiunge il 40% (mediamente sui 4 siti) della massa del PM_{2,5} in entrambe le stagioni.

I metalli possono essere sia di origine naturale (polveri sahariane, risospensione di materiale crostale) che antropogenica (combustione, industrie, traffico, usura dei freni, usura della strada). Il loro contributo in termini di massa non è superiore all'1%, ma è importante il loro contributo per la conoscenza delle diverse sorgenti emittive presenti sul territorio e del loro impatto sulla salute.

I parametri chimici giornalieri dei 3 anni di monitoraggio andranno inoltre a creare sia un database per modelli statistici volti ad attribuire il peso alle diverse sorgenti emittive che insistono sul territorio (di cui alla linea progettuale 7), sia un set di dati completo per studi di tipo epidemiologico (linea progettuale 6).

Ulteriore tema nodale del progetto (in particolare della linea progettuale 1) è lo studio della concentrazione numerica e distribuzione dimensionale delle particelle in atmosfera.

È noto che le particelle submicroniche (diametro <1 μm), espresse come numero su volume di aria campionato, possono essere numericamente abbondanti in aria ambiente, ma il loro contributo in termini di concentrazione in massa è trascurabile rispetto a quello derivante dal particolato di dimensioni prossime e/o superiori al micrometro.

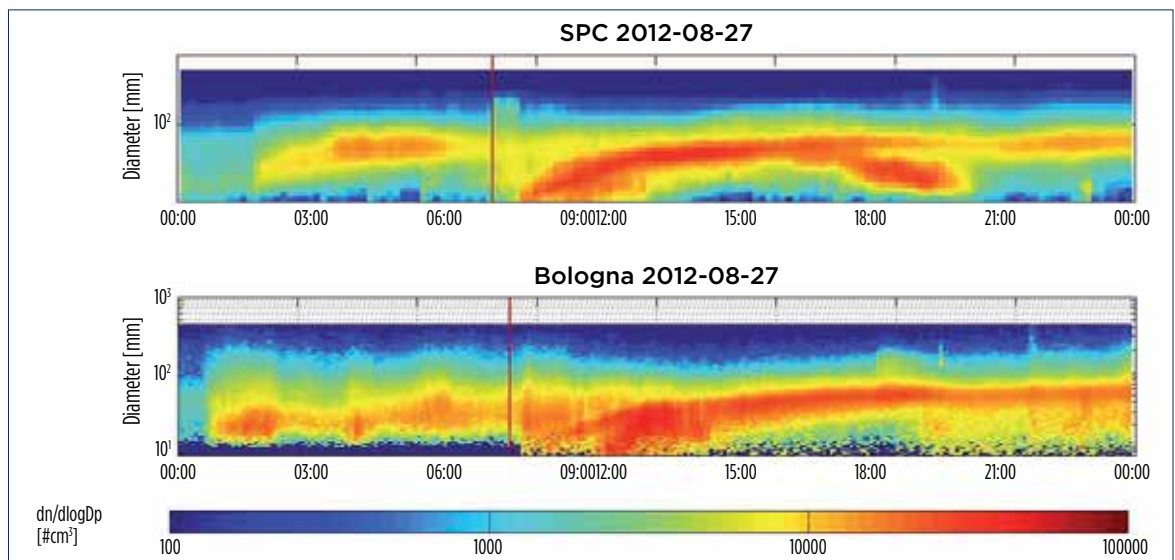


Nei siti di Bologna e di San Pietro Capofiume è garantita la misura della concentrazione numerica delle particelle di dimensioni >280 nm mediante un contatore ottico di particelle; da agosto 2012 è inoltre operativo a Bologna uno spettrometro per la misura della concentrazione numerica e distribuzione dimensionale delle particelle nel range 4-600 nm, misure che, a San Pietro Capofiume, sono garantite dalla presenza di uno strumento di proprietà dell'Università della Finlandia orientale. In letteratura scientifica, la classificazione delle particelle in termini di concentrazione numerica definisce:

- *particelle ultrafini* (Ufp) l'aerosol di dimensioni inferiori ai 100 nanometri di diametro
- *non ultrafini* (NoUfp) le particelle con diametro superiore ai 100 nm.

FIG. 2
FORMAZIONE DI
NUOVE PARTICELLE

Analisi di un evento di nucleazione (formazione di nuove particelle) in due siti nella giornata del 27 agosto 2012. Si evidenzia uno sfasamento temporale le cui motivazioni – sebbene non ancora completamente dimostrate – sono probabilmente legate al diverso sviluppo del Planet Boundary Layer nelle due aree di indagine.



Risultati preliminari del progetto confermano quanto già osservato in letteratura: il numero di particelle nella frazione U_{fp} rappresenta più dell'80% del numero totale (fino a 600 nm) di particelle, mentre diminuisce notevolmente passando alle dimensioni maggiori.

La meteorologia del periodo, la fascia oraria della giornata e la presenza di sorgenti locali di emissione prossime o meno al punto di monitoraggio sono parametri che influenzano notevolmente la distribuzione dimensionale dell'aerosol. Un'importante informazione fornita da tale tipo di misura riguarda il verificarsi o meno di processi di nucleazione nei periodi monitorati.

Con il termine nucleazione si intende quel processo fisico/chimico che porta alla formazione di nuove particelle a partire da precursori in fase vapore o gas e da processi di trasformazione.

Nel corso del periodo di misura si sono verificati possibili eventi di formazione che, si visualizzano graficamente mediante una sagoma caratteristica (*"banana shape"*): in ascissa è indicato il tempo e in ordinata gli intervalli dimensionali, mentre la concentrazione numerica è individuata dalla scala cromatica. Tale forma associata a repentine variazioni di colorazione identificano possibili eventi di crescita nel tempo, del numero e della dimensione delle particelle. Nella *figura 2* è mostrato

un esempio di tali episodi rilevati quasi contemporaneamente il giorno 27 agosto 2012 nei siti di Bologna e di San Pietro Capofiume.

Isabella Ricciardelli¹, Giulia Bertacci², Fabiana Scotto¹, Arianna Trentini¹, Dimitri Bacco³, Claudia Zigola³

1. Arpa Emilia-Romagna
2. Università di Bologna
3. Università di Ferrara

Hanno collaborato: Silvia Ferrari, Claudio Maccone, Pamela Ugolini, Silvia Castellazzi, Maria Grazia Malfatto, Monica Trombini, Francesco Venturini, Claudia Pironi, Teresa Concari, Flavio Rovere, Daniele Foscoli (Arpa Emilia-Romagna).

INQUINAMENTO DEL BACINO PADANO

L'ESPERIMENTO POAIR: PO VALLEY ATMOSPHERIC AEROSOL INTENSIVE RESEARCH

La conoscenza degli aspetti chimici e fisici dell'inquinamento atmosferico del bacino padano, con particolare riferimento alla composizione dell'aerosol fine e alla frequenza con cui si osservano eventi di formazione di nuove particelle, unita alla consapevolezza dell'importante impatto sulla salute dell'aerosol fine è il motore che ha spinto diversi enti a consorzarsi per effettuare questo primo esperimento di misure congiunte - in diversi siti, nel periodo tra gennaio e febbraio 2014 - che ha preso il nome di PoAir: *Po valley atmospheric Aerosol Intensive Research*.

Sebbene misure dettagliate di speciazione chimica dell'aerosol siano da tempo in corso in diverse regioni, era (ed è ancora) necessario effettuare un salto di scala spaziale. L'estensione di tali misure all'intera area del bacino omogeneo è il primo passo per raggiungere l'obiettivo di comprendere al meglio il peso delle sorgenti di PM, dei suoi precursori e le loro aree di provenienza, su tutta l'area climaticamente omogenea della pianura padana.

Con l'esperimento PoAir, diversi soggetti che lavorano sui temi dell'inquinamento atmosferico si sono proposti di realizzare una prima campagna intensiva di misure di aerosol e dei suoi componenti durante il periodo gennaio-febbraio 2014, su diversi punti del nord Italia, proprio per ottenere mappe di informazioni su tutta l'area di interesse.

Gli enti coinvolti nella campagna PoAir, oltre a quelli già coinvolti nel progetto Supersito Emilia-Romagna (per la lista dei quali si veda il box a pag. 35), sono i seguenti:

Arpa Lombardia, Arpa Piemonte, Arpa Veneto, Enea, Politecnico di Milano, Università di Milano, Università di Cassino e del Lazio meridionale, Proambiente.

In *figura 1* è riportata una mappa in cui sono evidenziati i siti oggetto delle misure di PoAir.

Gli obiettivi dell'esperimento PoAir sono quelli di indagare:

1. l'origine regionale e locale delle sorgenti di aerosol carbonioso in aree urbane e rurali caratterizzate da differenti densità abitative e attività antropiche ed economiche
2. la distribuzione dimensionale delle particelle di aerosol atmosferico nei diversi siti di misura
3. la caratterizzazione chimica della frazione organica e inorganica del PM_{2.5} per i calcoli relativi al *source apportionment*.

L'obiettivo 1, cioè lo studio approfondito dell'aerosol carbonioso, dovrebbe consentire di quantificare il contributo

delle principali sorgenti da combustione e di distinguere il contributo delle sorgenti locali dal fondo regionale e/o dall'aerosol persistente da tempo in atmosfera.

L'obiettivo 2, realizzato attraverso la misura della distribuzione dimensionale delle particelle, da pochi nanometri fino a centinaia di nanometri, porterà informazioni sulla spazializzazione dei fenomeni di nucleazione e, più in generale, dei processi di trasformazione e crescita della particelle nelle diverse aree.

Infine, l'obiettivo 3 dovrebbe portare a un aumento delle informazioni sulla composizione chimica dell'aerosol fine, per effettuare analisi di *source apportionment* e quindi di migliorare l'attribuzione delle diverse fonti di emissione.

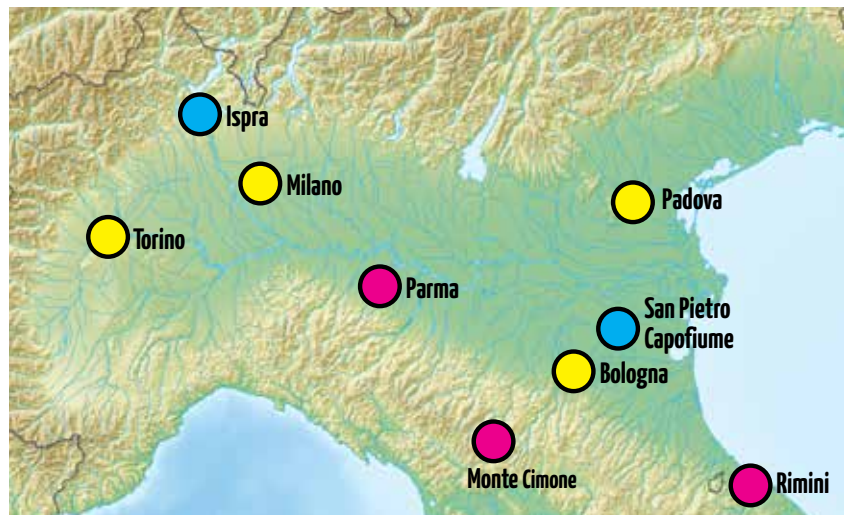


FIG. 1 - Siti oggetto delle misure dell'esperimento PoAir.

L'AEROSOL ORGANICO FINE NELL'AREA URBANA DI BOLOGNA

NELL'AMBITO DEL PROGETTO SUPERSITO SONO STATE EFFETTUATE MISURE SUL PARTICOLATO MAGGIORMENTE DETTAGLIATE RISPETTO A QUELLE DI ROUTINE, PER COMPLETARE L'INFORMAZIONE SULLA COMPOSIZIONE CHIMICA DELL'AEROSOL ATMOSFERICO. I PRIMI RISULTATI DELLE CAMPAGNE INTENSIVE.

Il materiale particellare sospeso in atmosfera riduce la visibilità, ha effetti sulla salute umana, produce danni a materiali e vegetazione e ha effetti sul clima sia per interazione diretta con la radiazione atmosferica, sia attraverso la modificazione delle proprietà microfisiche delle nubi. Mentre la composizione e le proprietà dell'aerosol inorganico sono relativamente ben conosciute, la frazione organica è composta da centinaia di specie, molte delle quali non identificate. L'aerosol organico ha infatti molteplici fonti, sia antropiche che biogeniche, le quali possono emettere sostanze già in fase solida, ma anche in fase gas. La semi-volatilità di molti di questi composti organici precursori in fase gas li rende infine disponibili al trasporto in atmosfera e alla successiva loro trasformazione in fase aerosol mediante meccanismi chimici, alcuni dei quali ancora sconosciuti.

L'obiettivo della linea progettuale 3 del progetto Supersito è quindi effettuare misure di specie chimiche su PM_x (50 nm < x < 10 μm) maggiormente dettagliate rispetto alle misure di routine, con una alta risoluzione temporale, in diverse condizioni meteorologiche dell'anno, al fine di completare l'informazione sulla composizione chimica dell'aerosol atmosferico, soprattutto organico, sia primario che secondario. Il programma di misure intensive della durata di tre anni si conclude nella tarda primavera del 2014 e si focalizza su 3 aree di indagine: un sito di fondo urbano nella area bolognese, un sito di fondo rurale (stazione meteorologica di San Pietro Capofiume) e un sito di fondo remoto (base meteorologica dell'aeronautica militare di monte Cimone). Il confronto fra il sito urbano e quello rurale permetteranno di discriminare le dinamiche di evoluzione della composizione del particolato legate all'area urbana da quelle associate a un trasporto a più larga scala, mentre le indagini al monte Cimone consentiranno

di valutare la composizione del PM in relazione alle dinamiche dello strato limite planetario e al trasporto delle masse d'aria a mesoscala. Le misure intensive si concentrano prevalentemente sullo studio della composizione organica del PM, in particolare vengono analizzati i composti organici polari, apolari, composti ionici nel PM_{2,5} e ioni, carbonio totale e organico solubile nelle frazioni dimensionali 0.05, 0.14, 0.42, 1.2, 3.5 e 10 μm per mezzo di impattori inerziali. Il progetto si avvale inoltre di strumentazione on-line (*High Resolution - Time of Flight - Aerosol Mass Spectrometer*, HR-ToF-AMS) che fornisce in tempo reale la concentrazione e la distribuzione dimensionale dei maggiori costituenti chimici del PM₁ non refrattario con risoluzione temporale di qualche minuto. L'integrazione dei dati derivanti dalle tecniche di spettrometria magnetica nucleare (NMR) e spettrometria di massa sul PM₁, sottoposte ad analisi multivariata, come la *Positive Matrix Factorization* (PMF), consente di effettuare quello che viene definito "source apportionment", ossia la valutazione del contributo delle principali fonti di emissione e delle reazioni che avvengono in atmosfera alla massa del particolato. Alcune elaborazioni eseguite nel sito di fondo urbano hanno portato a una prima stima del contributo delle emissioni da combustione del legno e più

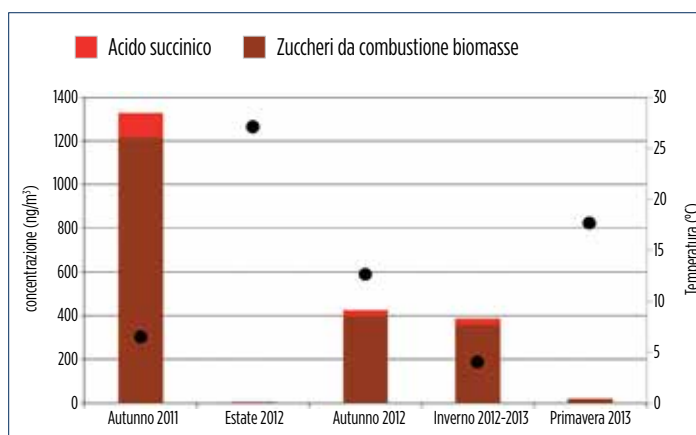
in generale delle biomasse, al PM₁. Dai dati - ancora non definitivi - derivanti da 5 campagne di misura della durata ognuna di 20 giorni, si è valutato che i maggiori costituenti del PM₁ sono i nitrati e la frazione organica che, rispetto al totale della massa di PM₁, varia da circa 30% (autunno 2012) a circa 60% (estate 2012).

I primi risultati, che andranno convalidati integrando altre informazioni, permettono inoltre l'identificazione di alcune fonti di emissioni della frazione organica del PM₁:

- una frazione derivante dalla combustione delle biomasse vede un contributo notevole soprattutto nelle stagioni fredde (35-45%), confermando come tale sistema di riscaldamento sia un'importante fonte di aerosol. L'andamento giornaliero della concentrazione attribuita a tale fonte presenta valori più alti nelle ore serali, periodo in cui si può supporre essere maggiormente utilizzata la legna come fonte di riscaldamento. Una seconda frazione di aerosol organico del PM₁ sembra attribuibile a una origine primaria con un apporto di circa 10-20%. L'andamento della concentrazione che presenta valori massimi nelle ore di massimo traffico diurno e serale sembra confermare l'ipotesi antropica
- una frazione significativa della massa di aerosol organico è attribuibile all'aerosol

FIG. 1
MARKER DI
COMBUSTIONE E
FOTOSSIDAZIONE

Andamento stagionale delle concentrazioni di anidrozuccheri come marker di combustione di biomasse e di acido succinico come marker di processi di fotossidazione nell'atmosfera. I punti indicano i valori medi stagionali delle temperature (asse di destra).



organico maggiormente ossigenato, presumibilmente di origine secondaria o processato in atmosfera. Il suo contributo può raggiungere valori anche superiori al 50%, soprattutto nelle stagioni più calde in cui i processi fotochimici sono particolarmente intensi.

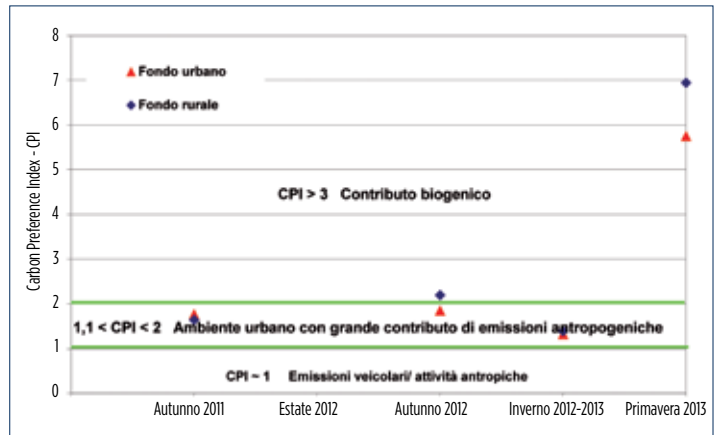
Risultati molto simili sono stati ottenuti anche dalla caratterizzazione chimica dei composti organici polari presenti nel PM_{2.5}, in particolare zuccheri e acidi carbossilici, in quanto importanti traccianti molecolari che forniscono interessanti informazioni sull'origine e sul destino del PM.

Alcuni anidrozuccheri, levoglucosano (L), mannosano (M) e galattosano (G) sono riconosciuti come *marker* specifici di combustione delle biomasse, poiché prodotti da alterazione termica della cellulosa. I dati preliminari mostrano che la combustione di legna contribuisce in modo significativo alla composizione del PM nelle stagioni fredde (*figura 1*). Tale valutazione è supportata dalle elevate concentrazioni di anidrozuccheri misurate in autunno/inverno (PM primario) e anche da elevate concentrazioni di acidi carbossilici che possono essere prodotti direttamente dalla combustione o ottenuti dalla successiva fotossidazione nell'atmosfera di questi precursori (PM secondario, per esempio acido succinico). Infatti le concentrazioni di questi composti risultano fortemente correlate tra loro ($R^2 > 0.99$).

Sono stati anche studiati composti quali i metossofenoli, in quanto prodotti di degradazione termica della lignina presenti nel PM a livello di tracce, composti siringici (S) e vanillici (V). Specifici rapporti diagnostici tra le concentrazioni di questi traccianti molecolari, L/M, L/M+G e S/V, che

FIG. 2
INDICE CPI

Andamento dell'indice CPI (Carbon Preference Index) nel PM_{2.5} per le prime 5 campagne di misura intensive del progetto Supersito. La maggior parte dei dati nell'estate 2012 è sotto il limite di rivelabilità, ciò non ha permesso il calcolo del Cpi.



permettono di individuare il tipo di biomassa sottoposta a combustione, per esempio legni duri (angiosperme quali quercia, noce, faggio) o teneri (conifere) o erba e/o sterpaglie, sono stati indagati. I dati preliminari indicano il contributo prevalente di combustione di legna nel periodo invernale, anche se non è possibile distinguere in modo univoco tra legni teneri e duri, e di erba e sterpaglie nei periodi primavera/estate.

Lo studio dettagliato della distribuzione degli acidi carbossilici nel PM mostra che nelle stagioni più calde, caratterizzate da un maggior irraggiamento solare, è maggiore la frazione di composti di origine secondaria prodotti dall'ossidazione di precursori antropogenici e biogenici.

Infine l'analisi della distribuzione degli zuccheri nel PM mostra la prevalenza di zuccheri primari (biozuccheri) prodotti dall'attività di microrganismi, piante e animali nelle stagioni con temperature estive/primaverili, caratterizzate da un'intensa attività biogenica. Parallelamente, la composizione degli alcani lineari mostra la distribuzione tipica del particolato di

origine biogenica, cioè un valore elevato di *Carbon Preference Index* (CPI), indicatore di attività primaria biogenica o antropogenica. Nelle stagioni più fredde, invece, i valori del CPI scendono a valori compresi fra 1 e 2, assegnando il contributo degli alcani ad attività miste antropiche e biogeniche (*figura 2*).

Tali valutazioni sembrano convergere sia per il sito rurale che per quello di area urbana, indicando come questi processi sia primari che secondari presentino un impatto uniformemente distribuito nella regione considerata.

Silvia Ferrari¹, Maria Chiara Pietrogrande², Stefania Gilardoni³, Claudio Maccone¹, Giulia Bertacci⁴

1. Arpa Emilia-Romagna
2. Università di Ferrara
3. Isac-Cnr
4. Università di Bologna

Hanno collaborato: P. Casali, V. Poluzzi, I. Ricciardelli, F. Scotto, A. Trentini, P. Ugolini (Arpa Emilia-Romagna), D. Bacco, M. Visentin (Università di Ferrara), M.C. Facchini, M.Rinaldi (Isac-Cnr).



FOCUS

INQUINAMENTO FOTOCHIMICO IN EMILIA-ROMAGNA NEI MESI ESTIVI

In Emilia-Romagna, l'inquinamento dell'aria nel periodo estivo ha caratteristiche diverse da quello invernale. Il maggiore irraggiamento solare determina intensi moti turbolenti negli strati più bassi dell'atmosfera, e questo favorisce la diluizione degli inquinanti emessi: di conseguenza, le concentrazioni della maggior parte degli inquinanti sono più basse rispetto all'inverno. Tuttavia, l'irraggiamento solare permette anche che si formino alcuni nuovi composti chimici (inquinanti secondari di origine fotochimica), che nei mesi invernali sono presenti in quantità modeste. Il più importante di questi è l'ozono, che è responsabile della maggior parte dei superamenti dei limiti di legge per la qualità dell'aria nei mesi più caldi dell'anno.

Vicino alla superficie, l'ozono si genera a partire da composti "precursori" (ossidi di azoto e composti organici volatili), già presenti in atmosfera. Le reazioni chimiche che regolano la sua formazione sono complesse, e possono portare a effetti apparentemente paradossali: ad esempio, la presenza di quantità elevate di biossido d'azoto tende a distruggere l'ozono, per cui le concentrazioni di quest'ultimo possono essere più alte in campagna che in città, e una riduzione delle emissioni di ossidi d'azoto può determinare la formazione di una maggiore quantità di ozono.

Trend e variabilità interannuale

Le concentrazioni di ozono non sembrano essere cambiate in misura significativa negli ultimi 13 anni (figura 1). Si osserva invece una notevole variabilità tra un anno e l'altro, dovuta alle condizioni meteorologiche prevalenti in ciascuna estate: la persistenza di temperature elevate e condizioni di alta pressione favorisce infatti la produzione e l'accumulo delle sostanze inquinanti, mentre nelle estati più fresche e ventilate le concentrazioni tendono a essere più basse.

Le concentrazioni estive di PM₁₀ (figura 2) mostrano invece un trend in progressiva diminuzione, che è probabilmente legato alla progressiva riduzione delle emissioni ed è presente anche nei mesi invernali. A questo trend si sovrappongono delle oscillazioni dovute alle condizioni meteorologiche, che pur essendo meno ampie di quelle relative all'ozono, hanno comunque un effetto non trascurabile sulla qualità dell'aria (per maggiori dettagli sul trend della qualità dell'aria in Emilia Romagna, si veda *Ecoscienza* n.3/2013). L'andamento della forzante meteorologica è evidenziato nella figura 3, che mostra la percentuale di giornate con condizioni favorevoli alla formazione di ozono in ciascuna estate. Gli effetti della meteorologia sulla qualità dell'aria sono complessi e difficili da valutare, ma emerge comunque che nelle estati

caratterizzate da condizioni favorevoli (2002, 2005, 2010) le concentrazioni di ozono e PM₁₀ tendono a essere più basse della media, mentre in anni come il 2011, e soprattutto il 2003, la qualità dell'aria è stata peggiore per entrambi gli inquinanti.

Ozono e cambiamenti climatici

L'inquinamento di tipo secondario dipende dalla combinazione di molti fattori: spesso è meno sensibile a una riduzione delle emissioni, ed è quindi più difficile da ridurre. Nell'ultimo decennio, ad esempio, le concentrazioni di ozono sono rimaste sostanzialmente immutate, mentre quelle di PM₁₀ sono diminuite in misura significativa. Nei prossimi decenni ci si aspetta che le temperature nella

nostra regione tendano progressivamente ad aumentare (nel trentennio 2020-2050 potrebbero essere 1.5-2 gradi più alte rispetto al periodo 1960-1990), ed è probabile che contestualmente aumenti la frequenza di ondate di calore nei mesi estivi. Estati come quella del 2003, caratterizzate da concentrazioni di ozono uniformemente elevate, potrebbero quindi diventare più frequenti, rendendo necessarie ulteriori riduzioni delle emissioni inquinanti.

Enrico Minguzzi, Giovanni Bonafè

Arpa Emilia-Romagna

FIG. 1
OZONO, SUPERAMENTI A LUNGO TERMINE

Andamento del numero di superamenti dell'obiettivo a lungo termine per la protezione della salute per l'ozono (massimo giornaliero della media mobile su 8 ore > 120 µg/m³). I dati si riferiscono alle sole stazioni di fondo attive nell'intero periodo 2001-2013 (8 stazioni).

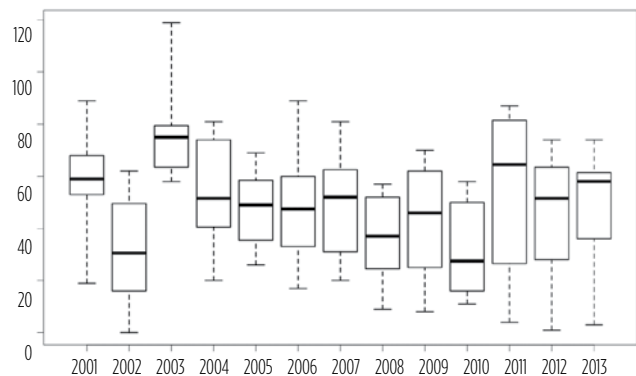


FIG. 2
CONCENTRAZIONI PM₁₀ IN ESTATE

Andamento delle concentrazioni medie di PM₁₀ (µg/m³) registrate in Emilia-Romagna nel semestre estivo (aprile-settembre), stazioni di fondo urbano e suburbano.

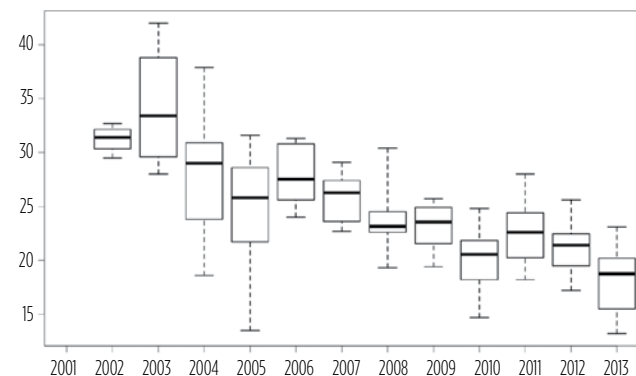
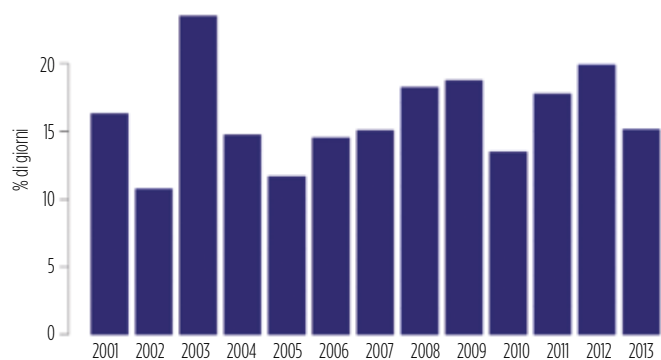


FIG. 3
OZONO, GIORNATE FAVOREVOLI ALLA FORMAZIONE

Percentuale di giornate con condizioni meteorologiche favorevoli alla formazione di ozono, nel semestre estivo (aprile-settembre) di ciascun anno.



INQUINANTI IN ATMOSFERA, UNO STUDIO DAY BY DAY

DURANTE LE CAMPAGNE INTENSIVE DEL PROGETTO SUPERSITO È STATO STUDIATO L'ANDAMENTO DEGLI INQUINANTI, UTILE PER CAPIRE L'EFFETTO DEI PROCESSI FOTOCHIMICI, DELLE EMISSIONI E DELLE VARIABILI METEOROLOGICHE. PER INDAGARE SULLE SORGENTI SPECIFICHE DEL PARTICOLATO FINE È STATA UTILIZZATA ANCHE LA TECNICA DI SPETTROSCOPIA H-NMR.

La linea progettuale 7 del progetto Supersito elabora i dati ambientali e meteorologici raccolti dalle linee 1, 2 e 3, con l'obiettivo di individuare le sorgenti primarie e secondarie del particolato e di meglio comprenderne le dinamiche di formazione e trasformazione.

L'andamento giornaliero degli inquinanti per cui è disponibile un'alta risoluzione temporale, durante le campagne intensive, è utile per studiare l'effetto dei processi fotochimici, delle emissioni e delle variabili meteorologiche.

Dalle prime valutazioni eseguite sui dati derivanti dalle prime cinque campagne di misura intensive nel sito di fondo urbano nell'area bolognese (*main site*), sono emerse le seguenti osservazioni:

- le specie chimiche organiche non mostrano un evidente andamento giornaliero durante il periodo estivo, al contrario in inverno sono evidenti picchi nelle ore serali probabilmente attribuibili a emissioni antropiche (traffico e riscaldamento)
- in autunno e in inverno la concentrazione di nitrato raggiunge il massimo nelle ore centrali della giornata, quando la costante termodinamica di formazione del nitrato di ammonio a partire da acido nitrico e ammoniaca diventa sufficientemente bassa da promuoverne la formazione dell'ammonio nitrato in fase particellare. Nelle ore notturne le temperature sono troppo basse per consentire la reazione di formazione. Durante la stagione estiva il nitrato mostra un massimo nelle ore mattutine e un minimo nelle ore centrali della giornata, quando le temperature sono sufficientemente alte per portare alla volatilizzazione dell'ammonio nitrato. Si osserva un aumento nelle ore serali, in corrispondenza della diminuzione di temperatura e dell'aumento della concentrazione di ossidi di azoto in fase gas
- i solfati mostrano sempre un andamento giornaliero poco marcato, a conferma del fatto che probabilmente

costituiscono un inquinante di fondo regionale

- l'ammonio non mostra un andamento giornaliero marcato durante la stagione estiva, mentre durante la stagione invernale presenta valori più bassi nelle ore notturne sino alle 9 del mattino e presenta un altro lieve calo verso le 13 e 14.

La stazione ubicata presso il monte Cimone, sito idoneo per lo studio delle dinamiche dello strato limite planetario e al trasporto delle masse d'aria a mesoscala, ha registrato misure che, durante la campagna estiva, hanno evidenziato come l'evoluzione dello strato

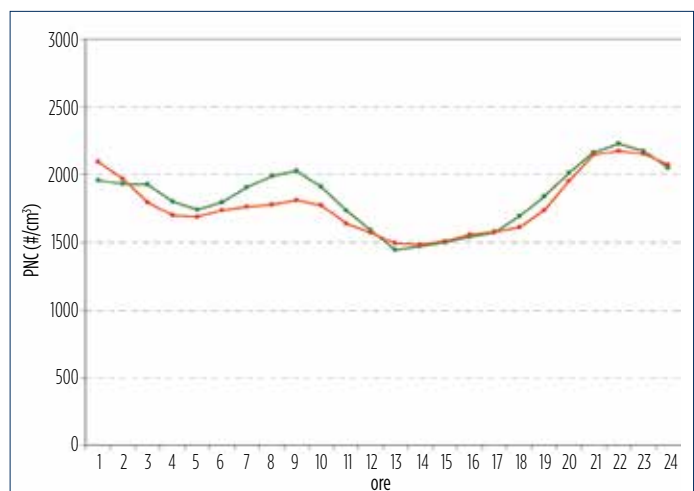
di rimescolamento atmosferico influenzi chiaramente l'andamento giornaliero dei componenti principali dell'aerosol atmosferico, con una relazione inversa a quella che si osserva abitualmente nelle stazioni di monitoraggio site in pianura. Concentrazioni più elevate nelle ore pomeridiane indicano infatti come, durante le ore di maggior irraggiamento, lo strato limite di rimescolamento raggiunga e superi la quota del sito di misura (2165 m), mettendo lo stesso in collegamento con le sorgenti principali di inquinamento presenti in pianura. Valori minimi notturni sono invece coerenti con il fatto che, durante la notte, il sito sia



FIG. 1
ANDAMENTO DELLE
CONCENTRAZIONI

Andamento tipo del numero di particelle nel periodo 1 gennaio-16 ottobre 2013, per $ufp < 100\text{nm}$ (sopra) e $ufp \geq 100\text{nm}$ (sotto). Confronto dei giorni feriali rispetto a sabati e domeniche.

— Giorni feriali
— Sabati e domeniche



disaccoppiato dalla pianura sottostante e caratterizzato dalla presenza di aerosol residuo a concentrazioni minori.

Sui primi dati di ioni, metalli e carbonio raccolti dalla linea progettuale 1 sul $PM_{2.5}$ sono state effettuate due analisi con modelli al recettore (*Positive Matrix Factorization*, Epa PMF3.0). I dati considerati vanno da luglio 2012 a marzo 2013.

I risultati dei due modelli concordano sostanzialmente nell'identificare 6-7 sorgenti principali responsabili della massa di $PM_{2.5}$ campionata al *main site*. Il *traffico veicolare* risulta una fonte emissiva sia per la combustione di carburante, sia per l'abrasione di componenti meccaniche (pneumatici, frizione, freni) e superficie stradale. Questo fattore risulta complessivamente responsabile del 15% circa della massa di $PM_{2.5}$, con un impatto simile nei diversi mesi e lievemente inferiore nei giorni del fine settimana.

Il *fattore crostale* risulta caratterizzato soprattutto da calcio, silicio, alluminio, ferro, magnesio, titanio e manganese. Sebbene di origine naturale, questo fattore risulta correlato al traffico veicolare, che ne provoca il risollevarlo. Il contributo di questo fattore sulla massa del $PM_{2.5}$ è di qualche unità percentuale.

Il *riscaldamento domestico* risente soprattutto della combustione di legna e in misura molto minore (almeno in termini di massa di $PM_{2.5}$) della combustione di gasolio, che ancora è in uso soprattutto nel centro storico di Bologna. Questo fattore varia da un minimo di un 15% a più del 25% durante la stagione fredda (dal 1 novembre al 31 marzo).

Il *fattore di probabile origine industriale* (mix di fonti antropogeniche), risulta abbastanza differente nelle due analisi. Il contributo del carbonio elementare indica probabilmente l'effetto della combustione.

Il *fattore solfato secondario* risulta distribuito uniformemente su tutto l'anno, con un'importanza percentuale, sul totale del $PM_{2.5}$, che diventa rilevante nella stagione calda (superiore al 30%) e supera di poco il 10% nei mesi invernali.

Il *fattore nitrato secondario e organici*, caratterizzato da una grande variabilità stagionale. Nella stagione fredda tale fattore è responsabile fino al 40% della massa totale di $PM_{2.5}$, mentre durante i mesi estivi il suo contributo è trascurabile. Un ultimo fattore, caratterizzato da *componenti cristallini e vanadio*, risulta solo da una delle due analisi al recettore e deve ancora essere indagato per capirne la provenienza.

Le principali differenze tra i risultati forniti dai due modelli riguardano il contributo di ogni fonte sulla massa del $PM_{2.5}$. Questo dato è quello affetto da maggiore incertezza sia rispetto al profilo chimico che caratterizza le diverse fonti, sia rispetto all'andamento giornaliero dei contributi delle fonti.

Per indagare meglio sulle sorgenti specifiche della frazione organica del particolato fine si sono applicati modelli a recettore anche a dati di spettroscopia di risonanza magnetica nucleare al protone (H-NMR) su campioni di aerosol atmosferico raccolti durante tutte le campagne intensive del progetto Supersito. La spettroscopia H-Nmr è una tecnica di analisi chimica che permette l'identificazione

delle strutture molecolari di composti organici puri e/o presenti in una miscela (come nei campioni ambientali).

L'analisi multivariata degli spettri NMR ha portato all'identificazione e quantificazione di varie sorgenti di particolato organico fine, fra le quali di particolare rilevanza appaiono essere la combustione di legna legata al riscaldamento domestico (che dall'autunno alla primavera rappresenta il 30-40% della massa totale di composti organici idrosolubili) e la formazione di aerosol organico secondario molto probabilmente influenzato da attività antropiche.

Un altro aspetto molto importante ai fini dello studio del particolato atmosferico riguarda, oltre alla concentrazione in massa, il numero di particelle. Particelle molto piccole (diametro <100nm) hanno una ridotta importanza in termini di massa, ma viceversa sono presenti in numerosità estremamente elevata. La strumentazione necessaria per misurare i dati in concentrazione numerica di particelle nella frazione 3nm-10 μ m è presente nei siti di fondo rurale (San Pietro Capofiume) e di fondo urbano (*main site*, Bologna). I dati sono stati principalmente analizzati differenziando le particelle in ultrafini (diametro <100nm) e non (diametro >100nm). Nel complesso per l'anno 2013, nel *main site* le particelle ultrafini mostrano un andamento giornaliero tendenzialmente simile durante i giorni feriali, con picchi mattutini e serali corrispondenti alle ore di punta del traffico. Durante i giorni festivi e prefestivi i picchi si abbassano e, pur mantenendo un andamento tipico,



FOTO: LORENZICCI - FLICKR - CC

mostrano uno sfasamento temporale. Nei mesi caldi la sorgente traffico sembra essere meno evidente e nei periodi più freddi dell'anno si notano concentrazioni nettamente più elevate, soprattutto per le particelle più piccole (<30nm). Le particelle grossolane presentano invece una concentrazione in numero molto ridotta e, dalle analisi svolte finora, mostrano comportamenti simili nell'arco di tutta la settimana.

In *figura 1* si riporta un andamento tipo dell'anno 2013 (i dati sono ancora preliminari e le elaborazioni risultanti potrebbero subire alcune variazioni).

Le analisi preliminari sui possibili eventi di nucleazione (si definisce con questo termine la generazione di particelle solide direttamente dalla fase gas/vapore) mostrano una maggiore frequenza nel semestre caldo, coerentemente con

quanto riportato in letteratura, e spesso con contemporaneità nei due siti.

Fabiana Scotto, Giovanni Bonafè, Stefania Gilardoni, Marco Paglione, Matteo Rinaldi, Arianna Trentini

Arpa Emilia-Romagna

Hanno collaborato: Dimitri Bacco, Giulia Bertacci, Silvia Ferrari, Claudio Maccone, Vanes Poluzzi, Isabella Ricciarelli, Pamela Ugolini.

L' EPISODIO DI INQUINAMENTO DEL FEBBRAIO 2012

ANALISI DI UN EVENTO DI INQUINAMENTO ACUTO DA PM IN PIANURA PADANA

Un eccezionale episodio di inquinamento ha interessato la pianura Padana tra il 15 e il 19 febbraio 2012, producendo concentrazioni notevolmente elevate di PM, soprattutto nella zona meridionale e occidentale. A Parma e a Milano, in particolare, sono state registrate concentrazioni di PM_{10} attorno ai $250 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Dal punto di vista meteorologico, l'area meridionale della pianura Padana è stata interessata da forti nevicate tra il 1 e il 12 febbraio 2012. Alle precipitazioni nevose è seguito un periodo di maggiore stabilità, proseguito fino al 19, interrotto solo tra il 15 e il 16 da un vento caldo e secco proveniente da Nord (probabilmente Föhn).

Le concentrazioni di PM hanno iniziato a crescere dal giorno 15, raggiungendo il massimo domenica 19. Dal 20 febbraio sono iniziate precipitazioni piovose che hanno favorito la rapida diminuzione delle concentrazioni di aerosol.

Analisi chimiche per la determinazione delle principali componenti ioniche (ammonio, nitrato, solfato, sodio, potassio, calcio, magnesio, bromuro e cloruro), di metalli (alluminio, ferro, zinco, nichel, manganese, arsenico e cromo) e del carbonio totale sono state eseguite su campioni di $PM_{2.5}$ e PM_{10} raccolti in un sito di fondo urbano (Bologna) e in uno di fondo rurale (San Pietro Capofiume, Bo).

L'osservazione dei fattori meteorologici e dei dati di composizione chimica indica come si sia verificato un graduale processo di accumulo fino al giorno 19 febbraio, in conseguenza all'abbassamento dell'altezza dello strato di rimescolamento dell'atmosfera. Risulta più complessa l'interpretazione dei fenomeni che hanno cooperato per generare il massimo relativo di giovedì 16: la composizione chimica del particolato suggerisce che processi chimici si siano aggiunti ai fattori meteorologici. Giovedì 16 si è verificato infatti un notevole incremento nelle concentrazioni di nitrato e ammonio che sono arrivati a comporre il 66% della massa del $PM_{2.5}$ raccolto nel sito di Bologna. È possibile avanzare diverse ipotesi per spiegare questo evento.

In primo luogo, un contributo dovuto a un trasporto transfrontaliero di masse d'aria già ricche di queste specie o di loro precursori non può essere escluso a priori in quanto, come detto, si sono effettivamente registrati venti caldi provenienti dal Nord Europa, ma non sono note le concentrazioni delle specie ioniche o gassose interessate, come ad es. nitrato, ammonio o ossidi di azoto, in queste masse d'aria.

Possano, però, essere considerati anche meccanismi interni alla pianura Padana. Secondo l'*Inventario regionale delle emissioni in atmosfera* la fonte principale di ammoniaca, che è il precursore dell'ammonio trovato in quantità rilevanti nel particolato, è l'attività agricola.

Gli spandimenti di liquami zootecnici e la conseguente liberazione in atmosfera di notevoli quantità di ammoniaca potrebbero essere avvenuti - anche rispetto le richieste normative - nella parte Nord della Pianura Padana, libera da neve al suolo. È da escludere, invece, una ripresa delle attività agricole in Emilia-Romagna, coperta di neve (*figura 1*).

Ammettendo dunque per ipotesi che si siano svolte tali attività, l'atmosfera

avrebbe potuto arricchirsi di ammoniaca.

Nel contempo, nelle città dell'Emilia-Romagna risultavano elevati (come spesso accade nel periodo invernale) i valori degli ossidi di azoto, a loro volta precursori dello ione nitrato.

Un incremento così repentino come quello osservato - sia di ione nitrato che di ione ammonio - spinge però a ipotizzare che altri fattori siano intervenuti durante l'evento.

Lo scioglimento della neve al suolo e il relativo aumento dell'umidità possono aver favorito gli aspetti legati ai meccanismi di trasformazione degli ossidi di azoto in ione nitrato.

Infine, non è possibile escludere che quantità rilevanti di tali specie siano state intrappolate nella neve stessa e rilasciate al momento del suo scioglimento.

A oggi non è possibile quindi dire quale tra queste sia l'ipotesi più probabile o se altre dovranno essere prese in considerazione.

Ulteriori dati derivanti dal progetto Supersito potranno portare a una maggiore consapevolezza delle sorgenti o dei processi responsabili di tali eventi.

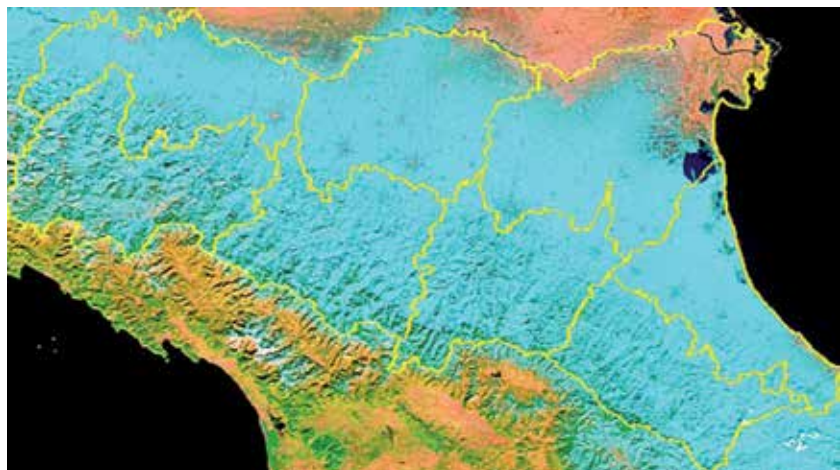


FIG. 1 - Neve al suolo il 16/2/2013, osservazioni da satellite. La neve a livello del suolo appare in azzurro. Immagine dal satellite TERRA/MODIS - RGB: 721 - [R(2.1); G(0.85); B(0.64)] (Nasa).

STIMA DELL'ESPOSIZIONE IN AMBIENTE INDOOR

LE CAMPAGNE DI MISURA PER IL CONFRONTO TRA AMBIENTI INDOOR E OUTDOOR MOSTRANO ALCUNE DIFFERENZE NELLE CONCENTRAZIONI DI $PM_{2,5}$ E PARTICELLE ULTRAFINI E NELLA COMPOSIZIONE CHIMICA DEL PARTICOLATO, OLTRE ALLE DIFFERENZE SIGNIFICATIVE TRA LE CONCENTRAZIONI DI INQUINANTI MISURATE IN DIVERSE ZONE DELLO STESSO EDIFICIO.

L'obiettivo principale delle attività della linea progettuale 5 del progetto Supersito è la caratterizzazione della variabilità dell'esposizione della popolazione all'inquinamento atmosferico in ambito urbano con una attenzione specifica all'ambiente *indoor*. La prospettiva non è quindi una indagine sugli inquinanti e le sorgenti tipiche dell'ambiente *indoor*, ma una valutazione dell'esposizione della popolazione in ambiente *indoor* agli inquinanti tipici dell'ambiente *outdoor*. L'attenzione prioritaria, coerentemente con gli obiettivi generali del progetto, viene dedicata al particolato e alla sua composizione chimica.

Partendo dal presupposto che la variabilità dell'esposizione in ambito urbano è in larga misura indotta dalla variabilità spaziale delle emissioni veicolari, si è deciso di impostare le campagne di misura nell'ottica della valutazione dei seguenti aspetti:

- differenze di esposizione tra chi risiede in zone trafficate e chi risiede in zone residenziali
- differenze di esposizione tra chi risiede nello stesso edificio sul fronte strada e chi sul retro
- differenze di esposizione tra chi risiede ai diversi piani dello stesso edificio.

Il criterio utilizzato nella scelta degli ambienti *indoor* soggetti a monitoraggio è quello della massima comparabilità delle caratteristiche (analoga volumetria, analoghi materiali da costruzione ecc). Questa impostazione mira a ridurre al minimo l'influenza delle caratteristiche degli ambienti *indoor* selezionati, allo scopo di indagare in maniera specifica l'impatto delle concentrazioni *outdoor* su quelle *indoor*. Il presupposto logico è che le sorgenti *indoor* agiscano sulla variabilità interpersonale dell'esposizione come un rumore, di notevole entità, ma scorrelato dalla variabilità spaziale *outdoor*. Il progetto prevede campagne di misura contestuali *indoor* e *outdoor* della

concentrazione in massa del $PM_{2,5}$, della sua composizione chimica, e della distribuzione dimensionale del particolato nel range 5.6-560 nm. La caratterizzazione chimica del particolato è effettuata rispetto al carbonio organico ed elementare e a un ampio spettro di ioni e di metalli. In alcune campagne è anche prevista la misura integrativa di alcuni inquinanti utilizzati in letteratura come traccianti dell'inquinamento da traffico (monossido di carbonio e biossido di azoto). La misura di tali inquinanti e dei tassi di ricambio dell'aria è resa possibile dalla collaborazione dell'Università dell'Insubria, Dipartimento di Scienza e alta tecnologia.

I siti individuati per la prima annualità di misure *indoor/outdoor* sono stati un sito in una zona residenziale (Istituto S. Anna) e

uno in una zona ad alto traffico (Sala Blu, Arpa Emilia-Romagna) di Bologna. Sono state effettuate tre campagne di misura nei seguenti periodi: 22 febbraio-7 marzo 2012, 16-30 aprile 2012, 28 maggio-11 giugno 2012. Gli ambienti *indoor* oggetto di campionamento sono stati mantenuti il più possibile isolati dagli altri ambienti dell'edificio. Il tasso di ricambio dell'aria, regolabile manualmente tramite un sistema di ventilazione forzata, è stato impostato a un valore pari a circa $0.5 h^{-1}$, un valore tipico degli ambienti abitativi (seppur molto variabile a seconda degli specifici ambienti *indoor*, delle aree geografiche e delle stagioni).

La figura 1 (riquadro superiore) mostra le concentrazioni medie *indoor* e *outdoor* nei due siti di campionamento durante le tre campagne. È stata evidenziata

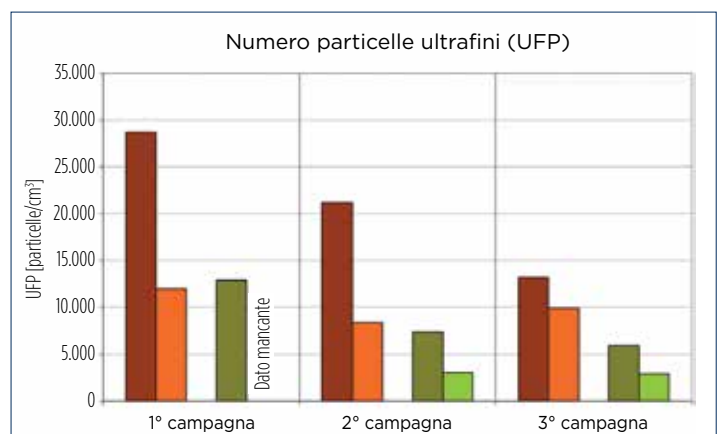
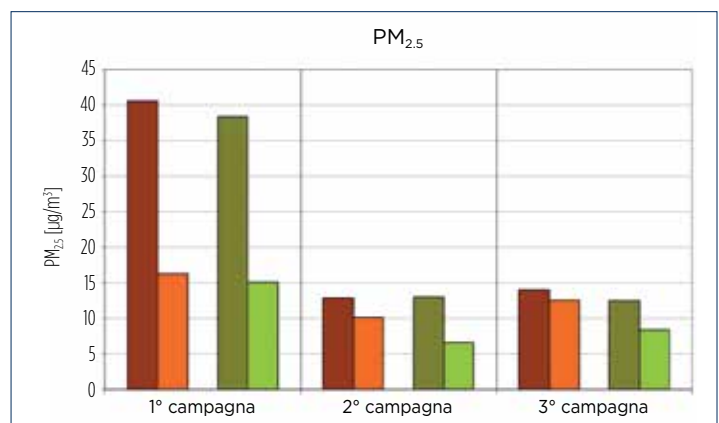


FIG. 1
PM_{2,5} E PARTICELLE ULTRAFINI

Concentrazioni indoor e outdoor di $PM_{2,5}$ (riquadro superiore) e particelle ultrafini (riquadro inferiore) nelle tre campagne di misura.

- Traffico outdoor
- Traffico indoor
- Residenziale outdoor
- Residenziale indoor

QUALITÀ DELL'ARIA

una variabilità spaziale del PM_{2.5} molto ridotta sia nei livelli *outdoor* che in quelli *indoor*. Sono stati riscontrati livelli molto alti di correlazione tra i due siti sia tra le concentrazioni *outdoor* (R=0.97) che tra quelle *indoor* (R=0.88).

Le concentrazioni delle particelle ultrafini durante le campagne di monitoraggio sono riportate nel riquadro inferiore della *figura 1*. In analogia al PM_{2.5} le concentrazioni *outdoor* di particelle ultrafini sono risultate molto più alte di quelle *indoor*. Molto diversa è risultata la variabilità spaziale: contrariamente al PM_{2.5}, si è riscontrata infatti una notevole differenza tra le concentrazioni di ultrafini nel sito da traffico rispetto a quello residenziale, sia nei livelli *outdoor* che in quelli *indoor*. I livelli di correlazione tra le concentrazioni *outdoor* di particelle ultrafini sono risultati pari a 0.89 (dati giornalieri), sensibilmente più alti di quelli riscontrati tra le concentrazioni *indoor*.

La distribuzione dimensionale ha evidenziato un carattere multimodale in tutti i siti di campionamento. Molto evidente è risultato il picco a 30 nm, legato ai processi di nucleazione e di Aitken. Un secondo picco è risultato presente nel range di accumulazione 80-100 nm. Questi due picchi sono risultati presenti in tutte le campagne di misura e in tutte le ore del giorno, seppur con un peso relativo variabile. Particolarmente variabile è risultato il picco a 30 nm che raggiunge valori molto elevati nel sito da traffico nelle ore di picco delle concentrazioni di particelle ultrafini. Il popolamento della moda legata al processo di accumulazione si è mantenuto nei vari siti di monitoraggio pressoché costante nel corso del giorno.

Rispetto alla composizione chimica, il contributo maggiore alla massa del PM_{2.5} *outdoor* è risultato quello del carbonio organico seguito dai nitrati, dal carbonio elementare e dai solfati (*figura 2*). La preponderanza del contributo del carbonio organico è emersa anche dall'analisi dei dati *indoor*, seguita dai solfati e dal carbonio elementare. Differenze significative tra i livelli *outdoor* nei due siti sono state trovate per il ferro, il carbonio elementare e il carbonio totale. Le concentrazioni *indoor* sono risultate inferiori a quelle *outdoor* per tutte le specie chimiche e tutti i siti con la sola eccezione del carbonio elementare nel sito da traffico. Livelli *indoor* molto più bassi sono stati trovati in particolare per lo ione ammonio, i nitrati, il potassio e i solfati.



FOTO: L. BENNETT - FLICKR - CC

La correlazione tra i livelli di concentrazione delle specie chimiche nei due siti è risultata in generale alta (sempre maggiore di 0.9 per i livelli *outdoor*), così come quella tra i livelli *indoor* (0.71 < R < 0.98) con l'eccezione del ferro (R=0.33).

Le campagne di monitoraggio condotte nel corso del 2013 sono state dedicate principalmente all'approfondimento delle differenze nelle concentrazioni *indoor* e nel rapporto *indoor/outdoor* tra ambienti che appartengono allo stesso edificio ma diversamente esposti alle emissioni dirette da traffico. Il sito prescelto per la campagna di misure è stato un edificio situato lungo i viali che circondano il centro storico di Bologna. Le attività di monitoraggio si sono concentrate nei seguenti periodi: 10 giugno 2013-12 luglio 2013, 27 novembre-13 dicembre 2013. I risultati delle prime analisi hanno

evidenziato differenze significative tra le concentrazioni di particelle ultrafini, di biossido di azoto e di monossido di carbonio tra il fronte strada e il retro. Più ridotte sono risultate le differenze rispetto alla massa del PM_{2.5}.

Le campagne di misura previste per l'anno 2014 saranno finalizzate principalmente all'analisi del profilo verticale delle concentrazioni degli inquinanti monitorati.

L'insieme dei dati raccolti al termine delle attività della linea progettuale permetterà di avere un quadro di massima della variabilità dell'esposizione della popolazione all'inquinamento atmosferico in ambito urbano.

Stefano Zauli Sajani

Arpa Emilia-Romagna

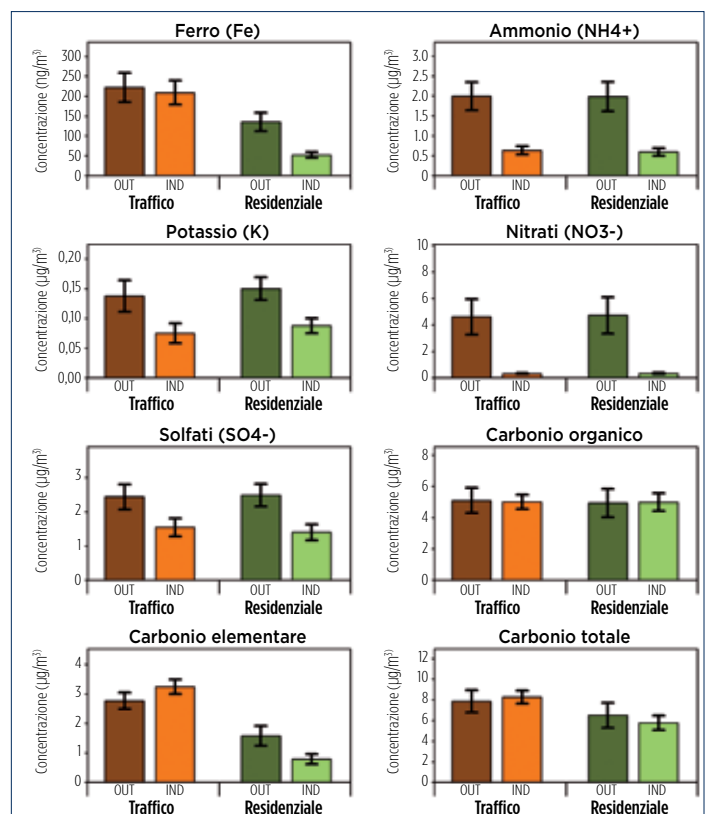


FIG. 2 COMPONENTI PM_{2.5}

Livelli medi di concentrazione di alcune componenti chimiche del PM_{2.5}.

MODELLI E SUPERSITI UN DIALOGO PREZIOSO

L'APPLICAZIONE DI MODELLI CONSENTE DI INSERIRE I DATI RACCOLTI SU UN TERRITORIO PIÙ AMPIO. LE MISURE DETTAGLIATE, D'ALTRA PARTE, PERMETTONO DI INDIVIDUARE PUNTI DI FORZA E DI DEBOLEZZA DEI MODELLI. L'INTEGRAZIONE DEGLI APPROCCI È QUINDI NECESSARIA PER CAPIRE I FENOMENI E I PROCESSI DELL'INQUINAMENTO ATMOSFERICO.

Chi cerca di capire e interpretare i fenomeni e i processi dell'inquinamento atmosferico, per valutarne le conseguenze e individuare le possibili soluzioni, scopre presto di non poter fare a meno di osservazioni e di modelli. Di più: scopre di doverli usare insieme, in una sorta di dialogo che è effettivamente stretta collaborazione tra la comunità dei ricercatori sperimentali e quella dei modellisti.

L'enorme mole di dati osservati raccolta da progetti ambiziosi come Supersito è una sfida e un'occasione per la comunità scientifica e per le agenzie ambientali. Grazie all'applicazione dei modelli, possiamo inserire i dati raccolti dai supersiti in un contesto territorialmente più ampio e ne possiamo valutare la rappresentatività nello spazio e nel tempo. D'altra parte le misure dettagliate di composizione chimica e distribuzione granulometrica degli aerosol ci permettono di individuare punti di forza e debolezze dei modelli e dei loro dati di input, per lavorare efficacemente al loro miglioramento.

Fin dall'inizio, nel progetto Supersito è emersa la necessità di applicare un modello per individuare le porzioni del territorio emiliano-romagnolo che mostrassero caratteristiche di inquinamento analoghe a quelle dei siti di pianura selezionati per le misure (Bologna, San Pietro Capofiume, Parma e Rimini). In pratica, a ciascuno dei siti si doveva associare un'area di pertinenza, che per gli epidemiologi avrebbe costituito uno degli strati informativi necessari all'identificazione delle coorti da associare a ciascun sito. Come indicatore si sono scelte le concentrazioni medie giornaliere di $PM_{2.5}$, inquinante particolarmente significativo dal punto di vista epidemiologico. Come modello, Pesco (Bonafè et al., 2011) è sembrato la scelta più adeguata, per la sua capacità

di integrare le simulazioni di Ninfa a grande scala (Stortini et al., 2007) con le misure delle stazioni di fondo presenti sul territorio.

Dunque, il territorio regionale è stato diviso in una griglia regolare di risoluzione 1 km e per ciascuna cella si è calcolata la media delle differenze assolute giornaliere di concentrazione di $PM_{2.5}$, rispetto a ciascuno dei 4 siti. Ciascuna cella è stata poi attribuita al sito rispetto al quale tale indicatore di distanza è minimizzato. Le celle con "distanze" superiori ai $5 \mu g/m^3$ non sono assegnate a nessun sito. Il risultato è la zonizzazione mostrata in figura 1.

Le misure realizzate nei supersiti hanno rilevanza non solo per il territorio regionale, ma anche per l'intera pianura

Padana, che costituisce un unico bacino aerologico. Modelli chimici e di trasporto di scala sovra-regionale come Ninfa sono lo strumento ideale per contestualizzare in una prospettiva di grande scala le misure dei supersiti. In questo caso ci siamo concentrati sulla composizione chimica media annua del PM_{10} , simulata da Ninfa, analizzando le concentrazioni di ioni nitrati, solfati e ammonio, di PM_{10} primario e delle altre componenti residue (aggregate). Si è applicata la tecnica della *cluster analysis* (Kaufman and Rousseeuw, 1990) per identificare le zone del Nord Italia tra loro simili in termini di concentrazione di queste componenti. Nella pianura emerge un'interessante distinzione tra aree rurali a urbanizzazione diffusa e aree a intensa urbanizzazione e industrializzazione

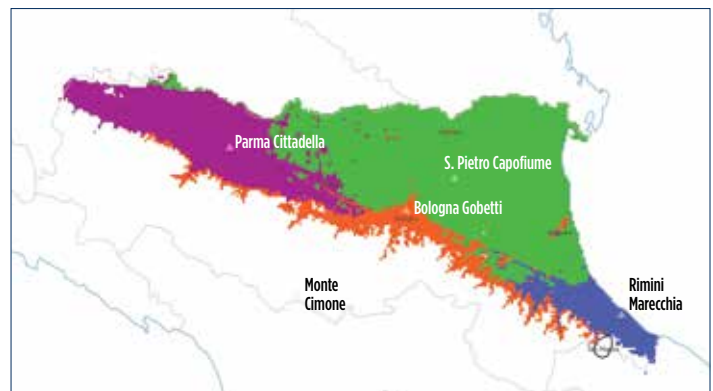


FIG. 1
AREE DI PERTINENZA

Area di pertinenza dei quattro supersiti di pianura.

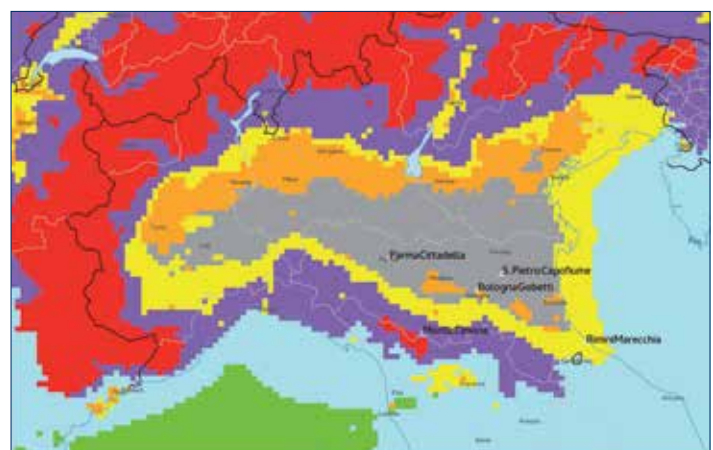


FIG. 2
ZONIZZAZIONE PM_{10}

Zonizzazione del Nord Italia in base alla composizione del PM_{10} .

(rispettivamente, in grigio e in arancio nella figura 2). Nella prima zona i nitrati prevalgono sui primari, nella seconda i primari prevalgono sui nitrati.

Uno dei focus di Supersito sono i fenomeni di nucleazione. I partner dell'Università della Finlandia orientale ci hanno resa disponibile la lunga serie storica di loro osservazioni nel supersito di San Pietro Capofiume (Hamed et al., 2013). Ciascuna giornata, a partire da marzo 2002, è classificata in base all'identificazione o meno di episodi di nucleazione, riconoscibili con il metodo dei *banana plot*. Incrociando quest'informazione con alcune variabili meteo osservate localmente (temperatura minima, massima e differenza tra le due; umidità relativa minima, massima e differenza tra le due; velocità media e direzione prevalente del vento; precipitazione cumulata giornaliera), e analizzandone le eventuali connessioni con la tecnica degli *alberi di classificazione* (Breiman et al., 1984), si è costruito un semplice modello statistico non parametrico (figura 3), che evidenzia la maggior probabilità di accadimento in giornate secche e segnala, nelle giornate con umidità relativa minima compresa tra 46 e 60%, una diminuzione della probabilità di nucleazione quando il vento soffia prevalentemente da ovest, sud o sud-ovest.

Fin qui abbiamo visto alcune applicazioni dei modelli nel progetto Supersito. In questi casi i modelli danno un valore aggiunto alle misure, supportandone la contestualizzazione e l'interpretazione. È vero però anche che i modelli hanno bisogno delle misure per restare con i piedi per terra. E se per le valutazioni operative sono sufficienti i dati della rete regionale di monitoraggio della qualità dell'aria, che consentono la valutazione della conformità dei modelli con i vincoli imposti dalla normativa comunitaria, per comprendere a fondo i punti deboli dei modelli e dei loro dati di input (meteo ed emissioni), occorre condurre valutazioni diagnostiche, che richiedono misure di composizione chimica e distribuzione granulometrica. In altri termini, in questo caso sono i modelli ad aver bisogno dei supersiti. La valutazione operativa, realizzata con il software DeltaTool sviluppato appositamente da Jrc-Ies (*Institute for Environment and Sustainability of the European Commission's Joint Research Centre*), delinea un quadro rassicurante: Ninfa è conforme ai vincoli Ue per PM₁₀ e NO₂ in tutte le stazioni attive, per tutti gli indicatori di performance considerati,

che tengono conto della capacità del modello di riprodurre la variabilità delle concentrazioni nello spazio e nel tempo. La valutazione diagnostica invece, basandosi sulle misure dei supersiti, offre un quadro più dettagliato e ci ha consentito di identificare alcuni punti deboli di Ninfa, su cui stiamo lavorando in collaborazione con Cnr-Isac (Istituto di scienze dell'atmosfera e del clima del Consiglio nazionale delle ricerche). Il modello in alcuni mesi invernali sovrastima la componente grossolana (tra 2.5 e 10 micron) e quella fine

(<1 micron), mentre sottostima la componente intermedia (tra 1 e 2.5 micron). Per quanto riguarda la composizione chimica (figura 4), le prestazioni del modello per nitrati e ammonio sono soddisfacenti (almeno durante la campagna estiva 2012), mentre le maggiori criticità sono sui secondari organici (sottostimati) e sui solfati (di cui sovrastimiamo la variabilità temporale).

Giovanni Bonafè, Michele Stortini

Arpa Emilia-Romagna

FIG. 3
PROBABILITÀ
DI NUCLEAZIONE

Albero di classificazione per la probabilità di nucleazione a San Pietro Capofiume.

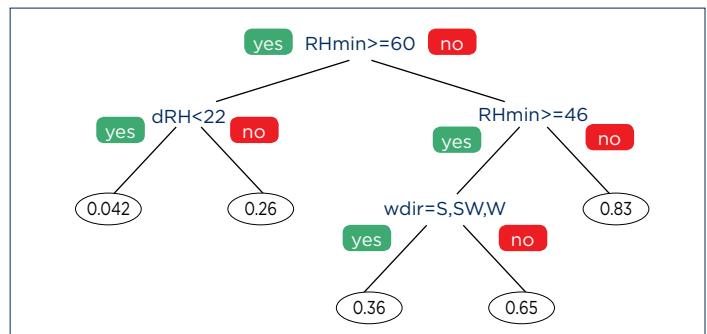
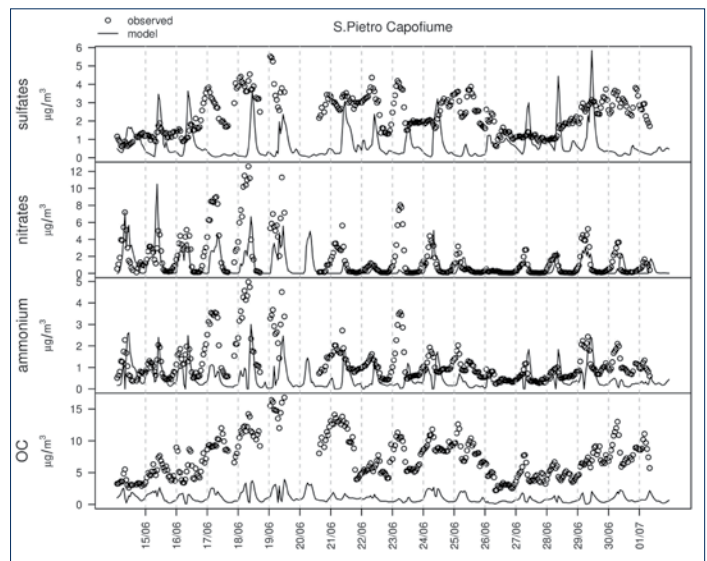


FIG. 4
CONFRONTO
OSSERVAZIONI-
MODELLO NINFA

Composizione chimica dell'aerosol a San Pietro Capofiume (Bo) durante la campagna estiva 2012. Confronto tra osservazioni (cerchietti) e modello Ninfa (linee).



RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

G. Bonafè, M. Stortini, E. Minguzzi, M. Deserti, "Postprocessing of a CTM with observed data: Downscaling, unbiasing and estimation of the subgrid scale pollution variability", in A. Syrakos, J.G. Bartzis and S. Andronopoulos (eds.), *Proceedings of the 14th International Conference on Harmonisation within Atmospheric Dispersion Modelling for Regulatory Purposes*, pp. 302-306, 2011.

L. Breiman, J.H. Friedman, R.A. Olshen, Stone C.G., *Classification and Regression Trees*, Wadsworth International Group, Belmont, California, 1984.

A. Hamed et al., "New particle formation at Po-Valley during PEGASOS campaign", *Nucleation and Atmospheric Aerosols: 19th International Conference*, Vol. 1527. No. 1. AIP Publishing, 2013.

L. Kaufman and P.J. Rousseeuw, *Finding Groups in Data: An Introduction to Cluster Analysis*, Wiley, New York, 1990.

M. Stortini, M. Deserti, G. Bonafè, E. Minguzzi, "Long-term simulation and validation of ozone and aerosol in the Po Valley", in C. Borrego and E. Renner (eds.), *Developments in Environmental Sciences*, volume 6, pp. 768-770, Elsevier, 2007.

METODICHE PER LE ANALISI EPIDEMIOLOGICHE

LE INDAGINI EPIDEMIOLOGICHE DEL PROGETTO SUPERSITO ANALIZZANO GLI EFFETTI A BREVE E A LUNGO TERMINE DELL'INQUINAMENTO DELL'ARIA, APPROFONDENDO IL CONTRIBUTO DELLE COMPONENTI DEL PARTICOLATO E DI SPECIFICHE SORGENTI DI INQUINAMENTO. SONO STATE IDENTIFICATE TRE AREE PER LA DEFINIZIONE DELLE COORTI RETROSPETTIVE.

La letteratura sugli studi epidemiologici che indagano la relazione tra inquinamento atmosferico e salute umana è piuttosto vasta; a oggi si può affermare che l'esposizione all'inquinamento atmosferico comporta effetti avversi di tipo cardiovascolare, respiratorio e neoplastico (1). Le polveri sospese sono considerate l'inquinante più importante dal punto di vista sanitario e biologico per le loro caratteristiche fisiologiche e tossicologiche (2).

A ottobre 2013, l'Agenzia internazionale per la ricerca sul cancro (Iarc) ha dichiarato che ci sono sufficienti evidenze di letteratura per classificare l'inquinamento *outdoor* (il particolato) come cancerogeno accertato per l'uomo (Gruppo 1), con particolare riferimento al tumore al polmone (3).

L'*American Thoracic Society* ha definito in modo sistematico gli effetti sulla salute potenzialmente attribuibili agli inquinanti ambientali (4), distinguendo gli effetti a breve termine e quelli a lungo termine. Gli effetti acuti o a breve termine si manifestano nella popolazione in risposta alle variazioni di breve periodo (oraria o giornaliera) nella concentrazione degli inquinanti; quelli cronici (o a lungo termine) sono associati a esposizioni prolungate nel tempo e si manifestano a lunga distanza dalla prima esposizione.

L'aumento della mortalità naturale per effetto a breve termine del $PM_{2.5}$ è stata stimata in diversi paesi tra 0.4% e 1.5% per incrementi di $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ di $PM_{2.5}$, considerando le meta-analisi e gli studi che includono più città (5, 6).

In Italia, da diversi anni vengono condotti progetti multicentrici sugli effetti a breve termine dell'inquinamento atmosferico; tra i più recenti va menzionato il progetto EpiAir2, "Inquinamento atmosferico e salute: sorveglianza epidemiologica ed interventi di prevenzione", che ha analizzato e valutato l'impatto dell'inquinamento atmosferico

sulla mortalità e morbosità in 25 città italiane per il periodo 2006-2010, con risultati che hanno mostrato incrementi della mortalità associata agli inquinanti atmosferici, in particolare quelli correlati al traffico auto veicolare (es. 0,78%; IC95% 0,12-1,46 per incrementi di $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ di $PM_{2.5}$) (7).

Gli effetti sulla salute derivanti dall'esposizione di lungo periodo all'inquinamento dell'aria derivano storicamente da due studi di grandi dimensioni condotti alla fine degli anni 90 negli Stati Uniti (8, 9), che avevano evidenziato un aumentato rischio di morte per cause cardiorespiratorie e per tumore del polmone nelle persone residenti in città con elevati livelli di polveri rispetto alle persone residenti nelle città meno inquinate. Recentemente si è concluso il progetto europeo multicentrico Escape (*European Study of Cohorts for Air Pollution Effects*), un network di oltre 30 studi di coorte in tutta Europa con informazioni individuali per circa 900.000 soggetti, che sta fornendo conferme sugli effetti cronici dell'esposizione a inquinamento atmosferico sulla salute anche per la popolazione europea. Tra i risultati sin qui pubblicati, si segnalano aumenti del 4 e 7% della mortalità naturale per incrementi di 10 e $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ di PM_{10} e $PM_{2.5}$ rispettivamente (10).

Meno chiaro è il ruolo delle componenti chimiche del particolato e delle frazioni

ultrafini nell'aumento di mortalità e morbosità per differenti cause (11, 12).

Il progetto Supersito, nella sua linea di indagini epidemiologiche, si inserisce quindi in un contesto conoscitivo nel quale le richieste di approfondimento della ricerca scientifica vertono principalmente sugli effetti sulla salute della granulometria, delle specifiche componenti e delle diverse fonti del particolato atmosferico.

La linea progettuale dedicata alle indagini epidemiologiche è suddivisa in due linee principali, una sugli effetti a breve termine e una su quelli a lungo termine.

Prima attività, utile sia alla definizione delle macroaree per le indagini sugli effetti a breve termine, che per la definizione delle coorti retrospettive per le indagini a lungo termine, è la definizione delle aree di studio. La collocazione dei supersiti ha suggerito l'identificazione di tre differenti aree della regione (figura 1).

La zona A, caratterizzata da fattori di pressione ambientale tipici delle aree urbane, è collocata sull'asse viario della via Emilia e va da Piacenza a Bologna, comprendendo due supersiti (Parma e Bologna). La seconda area (zona B) fa riferimento al supersito di Rimini e comprende una popolazione impattata da fattori di pressione urbani, caratterizzati però da un clima costiero. Il posizionamento del supersito di San Pietro Capofiume ha suggerito

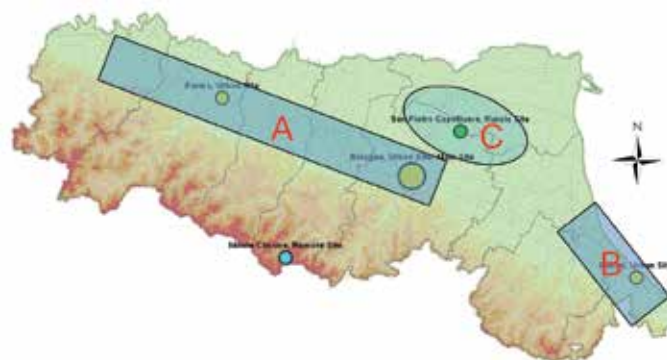


FIG. 1
SUPERSITO, ANALISI
EPIDEMIOLOGICHE

Arete di indagine per le
analisi epidemiologiche
del progetto Supersito.

la costruzione di una terza area di popolazione (zona C), tipicamente rurale, di più complessa identificazione, ma di sicuro interesse per le indagini epidemiologiche.

Per definire le aree di "pertinenza" di ciascuno dei 4 supersiti considerati sono state utilizzate stime modellistiche derivanti dalle valutazioni annuali di qualità dell'aria realizzate con il modulo Pesco (*Postprocessing and Evaluation with Statistical techniques of the Chimere Output*) fornite dal Servizio IdroMeteoClima di Arpa Emilia-Romagna. Si è quindi provveduto a raccogliere informazioni, a livello comunale, sulle emissioni dei principali inquinanti (inventario Inemar), sull'utilizzo del territorio (Corine Land Cover-Clc), e simulazioni modellistiche con il modello Chimere e il software Pesco.

Sono stati così selezionati i comuni che risultavano "più omogenei" al comune sede di ciascuna stazione di misura, tenendo conto di tutti i parametri sopra citati. I comuni identificati in base a questa procedura per la costituzione delle coorti di indagine sono stati 70. A oggi le attività di recupero delle informazioni anagrafiche hanno ristretto il numero di comuni a 54 comuni (20 dell'area urbana, 11 della zona costiera e 23 comuni in area rurale), che interessano all'incirca 2 milioni di attuali abitanti della regione.

Per ciascuno di questi comuni è in corso, con la collaborazione delle Ausl di competenza territoriale e delle anagrafi comunali, il recupero delle informazioni utili alla costruzione della storia residenziale a partire dal 2001.

Le metodologie di indagine epidemiologica partiranno dai protocolli dei lavori sopra citati. Lo studio EpiAir sarà alla base della metodologia delle indagini a breve termine. Particolare attenzione sarà riferita alla definizione degli indicatori di esposizione ambientale, come la valutazione della migliore misura dell'esposizione (es. rapporto componenti/massa sul totale delle particelle o concentrazione dei singoli componenti). I risultati delle analisi sulle sorgenti di esposizione (*source apportionment*) sviluppate all'interno del progetto potranno fornire ulteriori indicatori di esposizione e criteri di aggregazione dei differenti canali dimensionali del particolato ultrafine.

Per quanto riguarda gli effetti a lungo termine, sulla base delle esperienze del progetto Escape, si prevede una caratterizzazione dell'esposizione puntuale all'inquinamento atmosferico *outdoor* della popolazione residente sulla base

di approcci geografici a diversi gradi di complessità, da informazioni di prossimità geografica a sorgenti di inquinamento, a modelli intra-urbani di uso del territorio (Lur, *Land Use Regression*), modelli di dispersione, fino a valutare la possibilità di uso di dati satellitari. Le analisi spaziali di mappatura delle informazioni ricavate dalle analisi delle componenti all'interno del progetto Supersito, effettuate a cura di una specifica linea progettuale, potranno essere utilizzate per evidenziare gradienti spaziali della distribuzione delle componenti e di conseguenza caratterizzare l'esposizione delle diverse popolazioni.

La costruzione di questo patrimonio informativo, legato alle coorti residenziali, potrà costituire un punto di partenza importante per indagini epidemiologiche che rispondano ai quesiti attuali della ricerca in questo campo, dagli effetti sulla salute delle componenti del particolato e di specifiche sorgenti di inquinamento, alle analisi congiunte sugli effetti a breve e lungo termine.

Andrea Ranzi

Arpa Emilia-Romagna



RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- 1) Who, *Review of evidence on health aspects of air pollution, Revihaap project: final technical report*, 2013. <http://www.euro.who.int/>
- 2) Seaton A, MacNee W, Donaldson K, et al., "Particulate air pollution and acute health effects", *Lancet*, 1995; 345: 176-8.
- 3) Iarc: http://www.iarc.fr/en/media-centre/iarcnews/pdf/pr221_E.pdf
- 4) Ats, "What constitutes an adverse health effect of air pollution? Official statement of the American Thoracic Society", *Am J Respir Care Med*, 2000; 161:665-73.
- 5) Pope III, Dockery D.W., "Health effects of fine particulate air pollution: lines that connect", *J Air Waste Manag Assoc.*, 2006;56:709-42.
- 6) Schwartz J., Dockery D.W., Neas L.M., "Is daily mortality associated specifically with fine particles?", *JAWMA*, 1996; 46: 927-939.
- 7) Alessandrini E. et al., "Inquinamento atmosferico e mortalità in venticinque città italiane: risultati del progetto EpiAir2", *Epidemiol Prev*, 2013; 37 (4-5): 220-229.
- 8) Dockery D.W., Pope C.A. 3rd, Xu X., Spengler J.D., Ware J.H., Fay M.E., Ferris B.G. Jr, Speizer F.E., "An association between air pollution and mortality in six U.S. cities", *N Engl J Med.*, 1993; 329: 1753-9.
- 9) Ats, "Committee of the Environmental and Occupational Health Assembly of the American Thoracic Society (Ceoha-Ats). Health effects of outdoor air pollution", *Am J Respir Crit Care Med*, 1996; 153:3-50.
- 10) Beelen R. et al., "Effects of long-term exposure to air pollution on natural-cause mortality: an analysis of 22 European cohorts within the multicentre Escape project", *Lancet*, 2013, Dec 6.
- 11) Brunekreef B., "The color of smoke", *Epidemiology*, 2010 Nov;21(6):903-4.
- 12) Cassee F.R., Héroux M.E., Gerlofs-Nijland M.E., Kelly F.J., "Particulate matter beyond mass: recent health evidence on the role of fractions, chemical constituents and sources of emission", *Inhal Toxicol.*, 2013, Dec;25(14):802-12.

UNO STUDIO DELL'ORGANIZZAZIONE MONDIALE DELLA SANITÀ

LA QUALITÀ DELL'ARIA NELLE CITTÀ NEL MONDO

La maggior parte delle città del mondo che controllano i livelli di inquinamento atmosferico superano i livelli delle linee guida dell'Organizzazione mondiale della sanità. A dirlo è uno studio rilasciato il 7 maggio 2014. Il database dell'Oms comprende 1600 città di 91 stati (500 città in più rispetto all'ultima rilevazione del 2011). Solo il 12% della popolazione urbana risiede in città che rispettano i limiti Oms, mentre metà di essa è esposta a un inquinamento dell'aria almeno 2,5 volte più alto dei livelli raccomandati ed è perciò interessata da un aumento del rischio di problemi sanitari importanti. Nella maggior parte delle città in cui ci sono abbastanza dati per confrontare la situazione odierna con quella degli anni passati, si evidenzia un incremento dell'inquinamento. Molti fattori contribuiscono a questo peggioramento della situazione, tra cui l'utilizzo di combustibili fossili per la produzione di energia, l'aumento del trasporto privato su mezzi a motore, l'uso inefficiente dell'energia negli edifici, l'uso della biomassa per cucinare e riscaldare le abitazioni.

Tuttavia si registrano anche miglioramenti considerevoli in alcune città, a dimostrazione che la qualità dell'aria può essere migliorata mettendo in atto misure politiche come il divieto di usare il carbone per il riscaldamento degli edifici, l'uso dei fonti di energia rinnovabili o pulite per la produzione di elettricità, il miglioramento dell'efficienza dei motori dei veicoli.

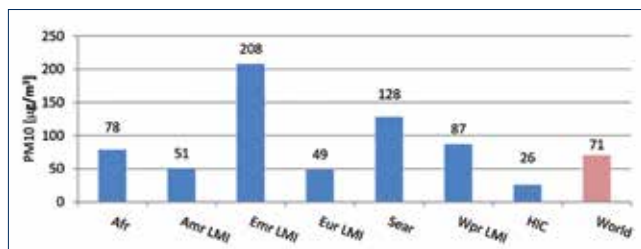
“Troppi centri urbani - afferma Flavia Bustro, Vice direttore generale Oms per la Salute di Famiglia, bambini e donne - oggi sono così immersi nell'aria inquinata che il loro orizzonte è invisibile. Non sorprende che questa aria sia pericolosa da respirare. Per questo un numero crescente di città e comunità nel mondo si stanno impegnando per andare incontro ai bisogni dei loro residenti, in particolare bambini e anziani”.

Nel mese di aprile 2014, l'Oms aveva rilasciato un rapporto che stima che l'inquinamento atmosferico è stato responsabile della morte di circa 3,7 milioni di persone sotto i 60 anni nel 2012. L'inquinamento indoor e outdoor combinati sono perciò uno dei maggiori rischi sanitari nel mondo.

Ci sono molte componenti dell'inquinamento atmosferico, ma in particolare si evidenzia che alte concentrazioni di particolato fine e ultrafine sono associate con un alto numero di morti per infarto e disturbi cardiaci, disturbi respiratori e cancro. “Possiamo vincere la lotta contro l'inquinamento dell'aria” afferma Maria Neira, direttore Oms del settore Salute pubblica, ambiente e determinanti sociali della salute. “Politiche e strategie efficienti sono ben comprese, ma devono essere attuate a una scala sufficiente. Città come Copenhagen e Bogotà, per

FIG. 1
CONCENTRAZIONE MEDIA PM₁₀

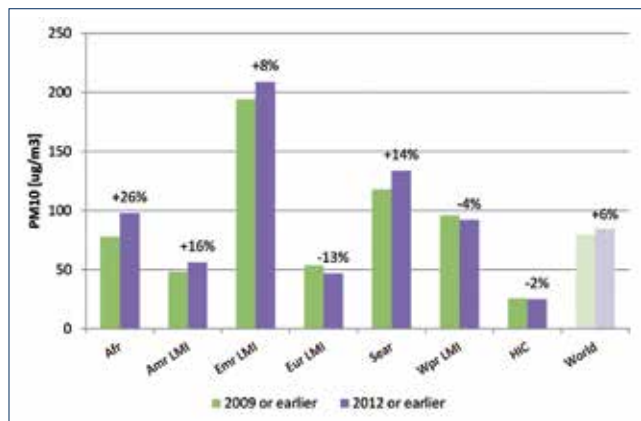
Livelli medi annuali di PM₁₀ per regione, dati relativi all'ultimo anno disponibile nel periodo 2008-2012.



Afr: Africa; Amr: America; Emr: Mediterraneo orientale; Eur: Europa; Sear: Sud-est asiatico; Wpr: Pacifico occidentale LMI: paesi a basso e medio reddito; HIC: paesi ad alto reddito

FIG. 2
TREND INQUINAMENTO

Confronti delle medie annuali di PM₁₀ a distanza di 3 anni per le città presenti in entrambi i database (2011 e 2014). I risultati si basano su 851 città e devono essere interpretati con cautela, in quanto variazioni annuali dovute ad es. a condizioni climatiche possono essere importanti e confronti a 3 anni di distanza non rappresentano necessariamente un trend, soprattutto quando i cambiamenti sono limitati.



Afr: Africa; Amr: America; Emr: Mediterraneo orientale; Eur: Europa; Sear: Sud-est asiatico; Wpr: Pacifico occidentale LMI: paesi a basso e medio reddito; HIC: paesi ad alto reddito



FOTO: JCHTARANTINOI - CC

esempio, hanno migliorato la qualità dell'aria promuovendo il "trasporto attivo" e dando la priorità a reti dedicate di trasporto pubblico e agli spostamenti a piedi e in bicicletta”.

Il rapporto mostra che singole città possono mettere in atto azioni locali che migliorino la qualità dell'aria andando in controtendenza rispetto ai trend regionali. E una buona qualità dell'aria può andare insieme allo sviluppo economico, come mostrano alcune grandi città dell'America Latina. Le misure da adottare includono l'efficientamento energetico delle abitazioni, uno sviluppo urbano compatto e ben servito da linee di trasporto

pubblico, la progettazione di strade sicure per pedoni e ciclisti, una buona gestione dei rifiuti.

L'obiettivo dell'Oms è di sviluppare una piattaforma globale su qualità dell'aria e salute, per avere a disposizione dati migliori sui disturbi legati all'inquinamento e fornire un supporto più forte ai paesi e alle città per comprendere e promuovere i miglioramenti nella salute della popolazione legati a una diminuzione dell'inquinamento.

Il rapporto "Ambient (outdoor) air pollution in cities database 2014" è disponibile sul sito web dell'Oms (http://bit.ly/WHO_cities).