

Impatto a breve termine dell'inquinamento dell'aria nelle città coperte dalla sorveglianza epidemiologica EpiAir2

Short-term impact of air pollution among Italian cities covered by the EpiAir2 project

Michela Baccini,^{1,2} Annibale Biggeri;^{1,2} Gruppo collaborativo EpiAir2*

Epidemiol Prev 2013; 37 (4-5): 252-262

Corrispondenza

Annibale Biggeri
abiggeri@disia.unifi.it

Cosa si sapeva già

- Lo studio MISA riportava stime di impatto a breve termine del PM₁₀ per 11 città italiane nel periodo 1996-2002; corrispondente a una frazione attribuibile tra 1,3% e 1,7% dei decessi per tutte le cause naturali, considerando come soglia di assenza di effetto il valore di concentrazione massimo tra i valori minimi osservati nel periodo in studio (11,9 µg/m³ registrato a Palermo).
- Il rapporto OMS 2006, considerando concentrazioni di PM₁₀ superiori a 20 µg/m³, stimava una frazione attribuibile dell'1,5% per 13 città italiane nel periodo 2002-2004.

Cosa si aggiunge di nuovo

- Nel periodo 2006-2009, nell'insieme delle 23 città coperte dallo studio EpiAir, il numero di decessi attribuibili agli effetti a breve termine delle concentrazioni di PM₁₀ superiori a 20 µg/m³ è stato pari allo 0,9% della mortalità per cause naturali e l'impatto di concentrazioni di PM_{2,5} superiori a 10 µg/m³ è risultato lo 0,8% della mortalità per cause naturali.
- L'impatto delle concentrazioni di polveri PM₁₀ e PM_{2,5} risulta concentrato nelle città della Pianura Padana, della Piana fiorentina e nelle grandi realtà metropolitane in percentuale sui decessi (1,0% contro 0,4% nelle altre città analizzate).

OBIETTIVO: stimare l'impatto a breve termine dell'inquinamento atmosferico sulla popolazione adulta di 23 città italiane nel periodo 2006-2009 nell'ambito del progetto EpiAir2.

DISEGNO, MATERIALI E METODI: per ogni città inclusa nello studio è stato calcolato l'impatto dell'effetto a breve termine dell'inquinamento atmosferico sulla mortalità. In particolare, sono stati calcolati i decessi attribuibili a concentrazioni delle polveri (PM₁₀ e PM_{2,5}) superiori a soglie differenti definite dalla legislazione europea o nell'ambito delle linee guida dell'Organizzazione mondiale della sanità (per il PM₁₀: 20 e 40 µg/m³, riduzione del 20% ad arrivare a 20 µg/m³ e superamento del limite di 35 giorni con concentrazioni medie di 50 µg/m³; per il PM_{2,5}: 10, 18 e 25 µg/m³, riduzione del 20% ad arrivare a 18 µg/m³). La stima di impatto è stata ottenuta combinando la stima di effetto delle polveri, il livello di mortalità osservato e i livelli di concentrazione degli inquinanti misurati dalle reti di monitoraggio urbane. Per quanto riguarda le stime di effetto, sono state utilizzate le distribuzioni a posteriori specifiche per città risultanti da una metanalisi bayesiana. L'incertezza sulle stime di impatto è stata calcolata con metodi Monte Carlo.

RISULTATI: nell'insieme delle 23 città valutate nel presente studio il numero di decessi attribuibili agli effetti a breve ter-

mine delle concentrazioni di PM₁₀ superiori a 20 µg/m³ e di PM_{2,5} superiori a 10 µg/m³ nel periodo 2006-2009 è risultato rispettivamente pari allo 0,9% (assumendo indipendenza tra città l'intervallo di credibilità all'80% è 0,4-1,4) e allo 0,8% (ICr80% 0,2-1,3) della mortalità naturale. L'impatto delle concentrazioni di polveri PM₁₀ e PM_{2,5} è risultato concentrato nelle città della Pianura Padana, della Piana fiorentina, e nelle grandi realtà metropolitane di Roma, Napoli e Palermo: per il PM₁₀ la percentuale sui decessi è risultata 1,0% (ICr80% 0,4-1,5) contro 0,4% (ICr80% 0,2-0,7) nelle altre città analizzate. Se i livelli di concentrazione delle polveri fossero stati inferiori del 20%, complessivamente l'impatto si sarebbe ridotto del 42% per il PM₁₀ e del 51% per il PM_{2,5}.

CONCLUSIONI: i livelli di inquinamento osservati nel periodo in studio sono stati responsabili di un numero importante di decessi nelle città analizzate. Politiche di contenimento basate sulla diminuzione percentuale delle concentrazioni annuali di polveri interesserebbero tutte le città coperte dallo studio e potrebbero ridurre in modo importante l'impatto dell'inquinamento sulla salute.

Parole chiave: inquinamento atmosferico, metanalisi bayesiana, particolato, stime shrunken, valutazione di impatto sanitario

AFFILIAZIONI

¹ Dipartimento di statistica, informatica e applicazioni "G. Parenti", Università di Firenze

² Unità di biostatistica, Istituto per lo studio e la prevenzione oncologica (ISPO), Firenze



Sorveglianza epidemiologica dell'inquinamento atmosferico

*GRUPPO COLLABORATIVO EpiAir2:

Gabriele Accetta, Ester Rita Alessandrini, Paola Angelini, Lorenzo Angiuli, Antonello Antonelli, Pasquale Arena, Giorgio Assennato, Michela Baccini, Flavia Baldacchini, Sandra Baldacci, Marco Baldini, Vincenzo Baldo, Giuseppe Ballarino, Daniela Balzi, Ingrid Barban, Giulia Barbati, Fabio Barbone, Alessandro Barchielli, Simona Baroni, Roberta Barontini, Silvia Bartolacci, Sabina Bellodi, Massimo Berico, Giovanna Berti, Annibale Biggeri, Luigi Bisanti, Marina Bonfanti, Anna Bonomolo, Laura Bonvicini, Matteo Bovenzi, Cecilia Brescianini, Serena Broccoli, Antonella Bruni, Ennio Cadum, Salvatore Caldara, Roberta Calzolari, Enrica Canossa, Cristina Canova, Gianluca Caramia, Giulia Carreras, Giovanna Casale, Patrizia Casale, Claudia Casella, Anica Casetta, Giorgio Cattani, Achille Cernigliaro, Sonia Cerrai, Marco Cervino, Laura Cestari, Elisabetta Chellini, Monica Chiusolo, Giovanni Ciaccia, Fabio Cibella, Silvia Cocchio, Laura Crosetto, Francesco Cuccaro,

Fulvio Daris, Francesca de Donato, Gianfranco De Girolamo, Aldo De Togni, Katuscia di Biagio, Anna Di Leo, Sara Di Lonardo, M. Patrizia Dessì, Andrea Evangelista, Fabio Faccini, Gaia Fallani, Annunziata Faustini, Francesco Forastiere, Roberto Fruzzetti, Claudia Galassi, Giovanni Gallo, Lorenza Gallo, Martina Gandini, Angela Ganzi, Elsa Garrone, Giulia Gatti, Bianca Gherardi, Emilio AL. Gianicolo, Simone Giannini, Roberto Giua, Carlo Alberto Goldoni, Daniele Grechi, Mauro Grosa, Nicola Guerrini, Maurizio Impallomeni, Claudia Iuzzolino, Teresa La Torretta, Guido Lanzani, Paolo Lauriola, Paola Leuci, Fernando Luberto, Andrea Lupi, Giuseppe Madonna, Sara Maio, Antonella Malaguti, Cristina Mangia, Stefano Marchesi, Mauro Mariottini, Marika Mariuz, Alfredo Marotta, Andrea Martini, Micaela Menegotto, Fabrizio Merlo, Enrica Migliore, Sante Minerba, Fabrizio Minichilli, Mihaela Mircea, Caterina Morassuto, Alessandra Noci, Daniela Nuvolone, Roberto Nuzzi,

Giuseppe Onorati, Gabriella Padolecchia, Barbara Palazzi, Paolo Pandolfi, Stefano Parodi, Paolo Pasetti, Alessandro Pensato, Antonio Piersanti, Cinzia Piovesan, Silvia Pistollato, Lorenzo Pizzi, Renato Pizzuti, Sebastiano Pollina Addario, Loredana Porcaro, Mariangela Protti, Antonella Puppo, Mauro Raciti, Giorgia Randi, Andrea Ranzi, Maria Rosa, Giovanna Rubini, Fabrizio Sacco, Michele Santoro, Giuseppe Sarno, Danila Scala, Cecilia Scarinzi, Salvatore Scondotto, Vittorio Selle, Maria Serinelli, Rita Simeoni, Lorenzo Simonato, Marzia Simoni, Giuseppe Spagnolo, Massimo Stafoggia, Emanuele Stagnaro, Gianpiero Starnino, Elisa Stivanello, Riccardo Tominz, Francesco Troiano, Marina Vercelli, Luisa Vianello, Giovanni Viegi, Maria Angela Vigotti, Cristina Volta, Gabriele Zanini, Stefano Zauli-Sajani, Francesco Zero

STAFF AMMINISTRATIVO E AFFILIAZIONI
DISPONIBILI SUL SITO WWW.EPIPREV.IT

ABSTRACT

Short-term impact of air pollution among Italian cities covered by the EpiAir2 project

Epidemiol Prev 2013; 37 (4-5): 252-262

OBJECTIVES: to estimate the short-term impact of air pollutants on adult population of 23 Italian cities on the calendar period 2006-2009 as part of the EpiAir2 project.

DESIGN, MATERIALS AND METHODS: for each city, the short-term impact of air pollution on mortality was estimated. In particular, it was calculated the number of deaths attributable to particulate matter levels (PM₁₀ and PM_{2.5}) exceeding different thresholds deriving from the European Union legislation and the World Health Organization guidelines (PM₁₀: 20 and 40 µg/m³, reduction of 20% up to 20 µg/m³ and more than 35 days per year with daily average above 50 µg/m³; PM_{2.5}: 10, 18 and 25 µg/m³, reduction of 20% up to 18 µg/m³). The impact evaluation was done combining the effect estimates of air pollutant, the observed mortality level and the air pollution concen-

tration measured by the ambient monitors. Regarding effects, the posterior city-specific distributions arising from a Bayesian metanalysis was employed. Uncertainty around the impact estimates was obtained by Monte Carlo methods.

RESULTS: overall, in the 23 cities considered in the present study attributable deaths to short-term effects of PM₁₀ concentrations above 20 µg/m³ as annual average and of PM_{2.5} concentrations above 10 µg/m³ on the period 2006-2009 was respectively 0.9% (assuming independence among cities the 80% credibility interval is 0.4-1.4) and 0.8% (80%CrI 0.2-1.3) of natural mortality. The impact was larger for the cities of the river Po valley, the Florence area and the large conurbations of Rome, Naples and Palermo: considering PM₁₀ 1.0% (80%CrI 0.4-1.5) vs. 0.4% (80%CrI

0.2-0.7) of natural deaths among the other cities in the study. Pollution reduction actions as prescribed by the European Union legislation, i.e. a 20% reduction up to 20 µg/m³ for PM₁₀ and up to 18 µg/m³ for PM_{2.5}, would have saved, over all the cities covered by this study, 42% and 51% of all attributable deaths, respectively.

CONCLUSIONS: during the study period, air pollution exposure was responsible for a relevant impact on mortality in the enrolled cities. Policies based on percent reduction of PM₁₀ and PM_{2.5} as prescribed by the European Union could substantially reduce the short term impact on population mortality.

Key words : air pollution, Bayesian metanalysis, particulate matter, shrunken estimator, health impact assessment

INTRODUZIONE

Da una quindicina d'anni si registra un interesse crescente verso la valutazione dell'impatto dell'inquinamento atmosferico sulla salute. Per quanto riguarda gli effetti a breve termine, il calcolo dei decessi attribuibili, e più in generale la valutazione del carico di malattia/mortalità dovuta all'esposizione agli inquinanti, è molto importante in fase di definizione di interventi di sanità pubblica, che è un compito in cui la comunicazione e la diffusione dei risultati epidemiologici giocano un ruolo fondamentale. Infatti, dato che le stime degli effetti a breve termine sono piccole (si parla di solito di variazioni percentuali inferiori all'1%), ma l'esposizione è diffusa (in altre parole, tutta la popolazione è esposta al fattore di rischio),¹ le stime di impatto permettono di quantificare l'importanza del fattore di rischio in gioco in modo migliore rispetto ai semplici rischi relativi in un'ottica di valutazione di sanità pubblica.

In letteratura, lo studio MISA² ha stimato l'impatto a breve termine degli inquinanti gassosi e delle polveri sottili in 11 città del nostro Paese nel periodo 1996-2002, trovando che l'1,3-1,7% delle morti naturali erano attribuibili al PM₁₀, considerando come soglia di assenza di effetto il valore di concentrazione massimo tra i valori minimi osservati nei centri coinvolti, cioè 11,9 µg/m³ (registrato a Palermo). Nel

rapporto dell'Organizzazione mondiale della sanità (OMS) del 2006³ sono riportate misure di impatto del PM₁₀ e dell'ozono per 13 città italiane relativamente al periodo 2002-2004; per quanto riguarda gli effetti a breve termine, il carico attribuibile a livelli annuali di concentrazione del PM₁₀ superiori a 20 µg/m³ è stato stimato a circa l'1,5% delle morti naturali. Recentemente è stato pubblicato un articolo sull'impatto a breve termine del PM₁₀ a livello regionale condotto su 13 aree della Regione Lombardia per il periodo 2003-2006.⁴ I valori trovati sono simili: l'1,4% delle morti naturali è attribuibile a concentrazioni di PM₁₀ superiori a 20 µg/m³.

Nell'ambito del progetto EpiAir2 sono quindi state prodotte le stime di impatto per le polveri (PM₁₀ e PM_{2.5}) per le quali l'evidenza epidemiologica sulla natura causale della relazione tra esposizione ed effetto sanitario è consolidata.⁵⁻¹² In particolare, è stato calcolato il carico di mortalità nella popolazione adulta sopra i 35 anni, attribuibile a livelli di concentrazione di PM₁₀ e PM_{2.5} sopra le soglie di legge e sopra le soglie più restrittive indicate nelle linee guida dell'OMS. Complessivamente sono state incluse nella metanalisi 23 città per il PM₁₀ e 13 per il PM_{2.5}.

Preliminarmente alla valutazione di impatto è stata condotta una metanalisi bayesiana per ottenere l'intera distri-

buzione a posteriori delle stime di effetto specifiche per città, in modo da quantificare l'incertezza nel calcolo dei decessi attribuibili e nello stesso tempo tener conto dell'eventuale variabilità dell'effetto tra città.

Il presente articolo si compone di una parte metodologica che sintetizza i metodi adottati, di una metanalisi bayesiana delle stime di effetto tra città, di un sezione in cui si riportano i risultati e di una breve discussione.

DATI E METODI

La valutazione di impatto per quanto riguarda il PM_{10} è stata effettuata su 23 città (Ancona, Bologna, Brindisi, Cagliari, Ferrara, Firenze, Genova, Milano, Modena, Napoli, Padova, Palermo, Parma, Piacenza, Pisa, Reggio Emilia, Rimini, Roma, Taranto, Torino, Treviso, Trieste, Venezia-Mestre), per quanto riguarda il $PM_{2.5}$ su 13 città (Ancona, Bologna, Ferrara, Milano, Modena, Napoli, Padova, Parma, Reggio Emilia, Rimini, Roma, Torino, Venezia-Mestre).

In sintesi, il calcolo dell'impatto ha richiesto:

- una misura del livello di inquinamento (sono state utilizzate le serie storiche giornaliere delle concentrazioni di PM_{10} e $PM_{2.5}$);
- dati sul livello di mortalità di base (per ogni città sono state utilizzate le serie storiche giornaliere del numero di decessi per cause naturali nei soggetti con più di 35 anni, residenti nel comune e deceduti entro un raggio di 10 km dai confini comunali);
- una stima dell'effetto dell'inquinante;
- uno o più scenari controfattuali, ovvero delle soglie per il livello medio annuale di inquinante o per i valori giornalieri da considerare come riferimento per il calcolo dei decessi attribuibili.

STIME DI EFFETTO (METANALISI BAYESIANA)

Per la valutazione di impatto bisogna disporre di stime di effetto che rispecchino la specificità della singola città, che siano al contempo stabili e per le quali sia disponibile una buona stima di incertezza. A questo scopo sono state utilizzate le stime a posteriori specifiche per città ottenute dalla metanalisi bayesiana delle stime di effetto di prima fase.¹³⁻¹⁶

¹⁶ Sono state considerate le stime di effetto a lag 0-1.

L'analisi dell'effetto a breve termine si è quindi articolata in due passi: prima si sono ottenute stime specifiche di effetto per tutte le città partecipanti, utilizzando l'approccio *case-crossover*, come spiegato negli articoli dedicati al progetto EpiAir2 pubblicati su questo stesso numero;¹⁷⁻²⁰ in una seconda fase, queste stime di effetto sono state combinate in una metanalisi bayesiana a effetti casuali.

Si noti che la stima di effetto qui utilizzata è basata su un'ipotesi specifica di linearità della curva dose-risposta ed è pertanto espressa da un unico coefficiente, interpretabile come logaritmo del rischio relativo.

Indicando con $\hat{\beta}_i$ e $\hat{\sigma}_i^2$ rispettivamente la stima dell'effetto dell'inquinante e la relativa varianza ottenute dal modello *case-crossover* per la i -esima città, il modello di metanalisi a effetti casuali assume che:

$$\begin{aligned}\hat{\beta}_i &= \beta_i + \varepsilon_i & \varepsilon_i &\sim N(0, \hat{\sigma}_i^2) \\ \beta_i &= \beta + u_i & u_i &\sim N(0, \tau^2)\end{aligned}$$

dove β è l'effetto globale metanalitico; β_i è l'effetto specifico di città; τ^2 rappresenta la variabilità dei β_i attorno a β , ovvero l'eterogeneità tra città; ε_i e u_i sono termini casuali distribuiti normalmente e mutuamente indipendenti. Le stime dei parametri β_i sono chiamate stime *shrunken*. Esse possono essere viste come una media pesata tra le stime specifiche per area ottenute nella prima fase dell'analisi, $\hat{\beta}_i$, e la stima di effetto globale ottenuta dalla metanalisi, ovvero la stima del parametro β . La stima specifica per area a posteriori sarà "spostata" verso la stima di effetto globale rispetto alla stima specifica per città di prima fase, in modo proporzionale alla sua varianza. Le stime *shrunken* sono più stabili di quelle specifiche di prima fase, perché utilizzano l'informazione complessiva; al tempo stesso, a differenza della stima di effetto metanalitica, rispecchiano l'eterogeneità tra città. In ambito bayesiano, è possibile ottenere l'intera distribuzione a posteriori degli effetti specifici per città β_i .

Per valutare l'ammontare di eterogeneità nella metanalisi si è calcolato l'indice I^2 , corrispondente alla percentuale di variabilità totale attribuibile alla varianza tra città.²¹ Le distribuzioni a posteriori dei parametri del modello sono state ottenute attraverso simulazioni MCMC, utilizzando il software WinBUGS.²²

STIME DI IMPATTO

Al fine di garantire una sostanziale omogeneità temporale tra le diverse città analizzate, con l'obiettivo di favorire il confronto tra i risultati, è stato scelto come periodo di riferimento per la valutazione di impatto il quadriennio 2006-2009, con alcune eccezioni. Per quanto riguarda il PM_{10} è stato sempre considerato il periodo 2006-2009, tranne che per Ancona (2007-2009), Genova (2006-2007) e Piacenza (2007-2009). Per il $PM_{2.5}$ sono stati considerati sottoperiodi del quadriennio di riferimento per Ancona (2007-2009), Napoli (2007-2009), Modena (2009), Parma (2008-2009), Reggio Emilia (2008-2009) e Rimini (2008-2009).

Come spiegato nel paragrafo precedente, per ciascuna città la valutazione d'impatto è stata condotta usando come stima di effetto la media della distribuzione a posteriori specifica per città (stima *shrunken*). Nel seguito questa media a posteriori sarà genericamente indicata con β^* .

L'impatto è stato quantificato in termini di decessi attribuibili per anno (AD). Le valutazioni sono pertanto da inten-

dersi come riferite al livello medio di mortalità e al livello medio di inquinante nel periodo considerato. In particolare, l'impatto sanitario dell'esposizione all'inquinamento atmosferico è stato quantificato in termini di morti attribuibili ai livelli di PM_{10} e $PM_{2,5}$ medi misurati tra il 2006 e il 2009, una volta specificato uno scenario controfattuale. I decessi attribuibili possono essere interpretati come decessi dovuti al superamento del limite annuale o giornaliero di concentrazione che caratterizza lo scenario controfattuale, o come morti che si sarebbero potute evitare mantenendo il livello di inquinamento al di sotto di tale limite.

Il modello utilizzato per la valutazione d'impatto è basato sull'assunto di omogeneità dell'esposizione entro ciascuna città e sull'ipotesi che la relazione esposizione-risposta sia lineare su scala logaritmica. Indicando con y la media annuale del numero di eventi osservati, con x la media annuale dei livelli di esposizione all'agente inquinante (PM_{10} o $PM_{2,5}$) e con β^* la stima di effetto, gli eventi attribuibili sono stati calcolati come differenza tra gli eventi osservati e gli eventi attesi in corrispondenza di un prefissato livello "soglia" di concentrazione T .

Se x è superiore alla soglia T :

$$AD = y - y_0 \quad \text{dove} \quad y_0 = y / e^{\beta^*(x-T)}$$

Mentre, se x è minore o uguale a T , $AD = 0$. Scegliere il valore della soglia T corrisponde a definire lo scenario controfattuale rispetto al quale calcolare l'impatto.⁴ AD è il numero di eventi attribuibili a valori di concentrazione superiori a T ovvero il numero di eventi che si sarebbero potuti evitare se il livello medio di inquinamento annuale fosse stato pari a T . Le distribuzioni a posteriori del numero di decessi attribuibili sono state ottenute attraverso simulazioni Monte Carlo, utilizzando il software R.²³

SCENARI CONTROFATTUALI

Sebbene la relazione dose-risposta sembri avere un andamento lineare, senza che siano identificabili livelli soglia, è stata condotta ugualmente la valutazione d'impatto specificando scenari di riduzione dell'esposizione differenti. L'idea è che non sia ipotizzabile ridurre le emissioni sotto certi livelli e che comunque esista un fondo di emissioni "naturali" non controllabili. Nelle prime valutazioni dell'impatto ambientale sulla salute (HIA) pubblicate^{5,6} è stato utilizzato un livello di *background* riconducibile alle fonti naturali di emissione pari a $7,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ per il PM_{10} . Nel presente lavoro sono stati scelti invece scenari controfattuali basati sui limiti della legislazione europea²⁴ e sulle linee guida dell'OMS.²⁵

Scenari per il PM_{10}

- Limite di $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ per la concentrazione media annuale (direttiva dell'Unione europea);
- limite di un massimo di 35 giorni all'anno con livello medio di concentrazione superiore a $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (direttiva dell'Unione europea);
- limite di $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ per la concentrazione media annuale (linee guida OMS);
- Riduzione del 20% della concentrazione media annuale fino ad arrivare al limite di $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Scenari per il $PM_{2,5}$

- Limite di $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ per la concentrazione media annuale (direttiva dell'Unione europea);
- limite di $18 \mu\text{g}/\text{m}^3$ per la concentrazione media annuale (obiettivo nazionale di riduzione dell'esposizione al 2020, come indicato dall'Unione europea);
- limite di $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ per la concentrazione media annuale (linee guida OMS).
- riduzione del 20% della concentrazione media annuale fino ad arrivare al limite di $18 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (direttiva dell'Unione europea).

RISULTATI

METANALISI BAYESIANA

PM_{10} La tabella 1 riporta la stima globale metanalitica dell'effetto del PM_{10} sulla mortalità per cause naturali. L'effetto è espresso in termini di variazione percentuale della mortalità associata a un incremento di $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ del livello dell'inquinante. La distribuzione a posteriori della variazione percentuale è sintetizzata attraverso la media e l'intervallo di credibilità al 90% (5° percentile e 95° percentile della distribuzione). Per l'eterogeneità di effetto tra città sono riportati alcuni centili della distribuzione a posteriori di I^2 . La variazione percentuale stimata è pari allo 0,50% (CrI90% 0,26-0,75); la percentuale di variabilità dovuta all'eterogeneità tra centri è bassa, con una mediana pari allo 0,87% e un intervallo di credibilità al 90% compreso tra lo 0,06% e il 12,2%. Questo basso livello di eterogeneità si riflette sulle distribuzioni a posteriori specifiche per città, che complessivamente non si discostano molto l'una dall'altra (figura 1 e tabella 2), con Roma e Taranto caratterizzate da una stima di effetto leggermente più elevata degli altri centri (vp: 0,58%).

$PM_{2,5}$ La variazione percentuale stimata associata a un incremento della concentrazione di $PM_{2,5}$ pari a $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ è pari allo 0,54% (ICr90% 0,17-0,91); la percentuale di variabilità dovuta all'eterogeneità tra centri è bassa, con una mediana pari allo 0,88% e un intervallo di credibilità al 90% compreso tra lo 0,04% e il 13,9% (tabella 3). Questo livello di eterogeneità basso si riflette sulle distribuzioni a posteriori specifiche per città,

che complessivamente non si discostano molto l'una dall'altra (figura 2 e tabella 4). Sono stati tuttavia stimati valori di effetto un po' più elevati per Torino, Ferrara e Reggio Emilia.

STIME DI IMPATTO

PM₁₀ La tabella 5 riporta il numero di decessi attribuibili per anno calcolati scegliendo come scenari controfattuali il valore soglia per la media annuale di concentrazione suggerito nelle linee guida dell'OMS e quello meno stringente indicato dalla legislazione europea. Tutte le città considerate hanno registrato valori annuali di PM₁₀ maggiori di 20 µg/m³. Il

numero di decessi attribuibili al superamento di questo limite varia dai 202,9 (ICr80% 113,8-305,4) di Roma agli 1,1 (ICr80% 0,5-1,7) di Brindisi, per un totale di 839 casi (lo 0,9% dei decessi per cause naturali; assumendo indipendenza tra città l'intervallo di credibilità all'80% è 0,4-1,4%). Ovviamente le città più grandi sono caratterizzate da un impatto più elevato in termini assoluti. Le città che non hanno rispettato il limite di 40 µg/m³ durante il periodo 2006-2009 sono state solo 5: Milano, Modena, Padova, Torino e Venezia-Mestre. Il numero di decessi evitabili per anno se tale limite fosse stato rispettato sarebbe stato pari a 44,6 (ICr80% 24,9-64,6) per Torino; 38,6 (ICr80% 17,4-

	vp (ICr90%)	I ² (PERCENTILE)		
		50°	5°	95°
MORTALITÀ PER CAUSE NATURALI	0,5 (0,26;0,75)	0,87	0,06	12,2

Tabella 1. Stima globale metanalitica dell'effetto del PM₁₀ (lag 01) sulla mortalità per cause naturali. Media a posteriori della variazione percentuale della mortalità per incremento di 10 µg/m³ del livello dell'inquinante (vp) e relativo intervallo di credibilità al 90% (ICr90%); mediana, 5° e 95° percentile della distribuzione a posteriori di I².

Table 1. Meta-analytic estimate of PM₁₀ effect (lag 01) on natural mortality. Posterior mean of the percent variation associated to a 10 µg/m³ increase of pollutant concentration (vp) and 90% credibility interval (ICr90%). Median, 5° and 95° percentile of the posterior distribution of I².

Tabella 2. Stime a posteriori specifiche per città dell'effetto del PM₁₀ (lag 0-1) sulla mortalità per cause naturali. Medie a posteriori delle variazioni percentuali della mortalità per incremento di 10 µg/m³ del livello dell'inquinante (vp), relativi intervalli di credibilità al 90% (ICr90%) e probabilità a posteriori che l'effetto sia maggiore di zero.

Table 2. Posterior city-specific estimates of PM₁₀ effect (lag 0-1) on natural mortality. Percent variation in natural mortality associated to a 10 µg/m³ increase of pollutant concentration (vp), 90% credibility interval (ICr90%), and posterior probability for pollutant effect greater than zero.

CITTÀ	vp (ICr90%)	PROBABILITÀ (vp>0)
ANCONA	0,47 (0,04;0,88)	95,98
BOLOGNA	0,45 (0,03;0,81)	95,62
BRINDISI	0,51 (0,13;0,96)	97,34
CAGLIARI	0,50 (0,11;0,93)	97,44
FERRARA	0,56 (0,20;1,06)	98,92
FIRENZE	0,50 (0,13;0,89)	97,68
GENOVA	0,47 (0,08;0,85)	96,26
MILANO	0,43 (0,11;0,72)	97,90
MODENA	0,42 (-0,06;0,78)	93,64
NAPOLI	0,53 (0,18;0,95)	98,70
PADOVA	0,43 (-0,02;0,78)	94,50
PALERMO	0,53 (0,18;0,93)	98,86
PARMA	0,45 (-0,01;0,84)	94,74
PIACENZA	0,56 (0,19;1,06)	98,66
PISA	0,48 (0,05;0,88)	96,08
REGGIO EMILIA	0,53 (0,15;0,98)	98,08
RIMINI	0,51 (0,11;0,95)	97,24
ROMA	0,58 (0,26;1,01)	99,70
TARANTO	0,58 (0,21;1,13)	98,86
TORINO	0,50 (0,21;0,79)	99,56
TREVISO	0,54 (0,18;1,02)	98,38
TRIESTE	0,52 (0,15;0,94)	98,08
VENEZIA-MESTRE	0,43 (-0,03;0,79)	94,10
GLOBALE	0,50 (0,26;0,75)	99,94

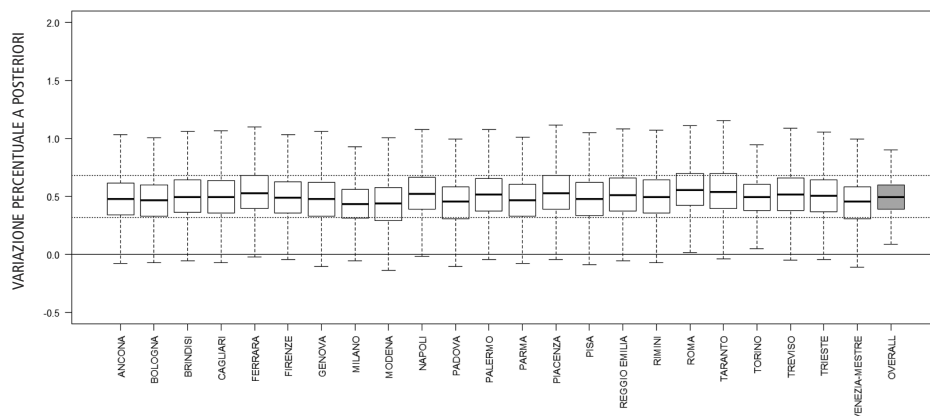


Figura 1. Variazioni percentuali della mortalità per cause naturali per incremento di 10 µg/m³ del PM₁₀ (lag 0-1). Diagramma a scatola e baffi delle distribuzioni a posteriori specifiche per città (in grigio la variazione globale metanalitica).

Figure 1. Percent variations in natural mortality associated to a 10 µg/m³ increase of PM₁₀ (lag 0-1). Multiple box and whisker plot of the posterior city-specific distribution (in grey the meta-analytic posterior distribution of the global effect).

59,1) per Milano e sotto la decina nelle altre tre città, per un totale di circa 98 eventi.

La tabella 6 riporta il numero di decessi che si sarebbero potuti evitare ogni anno se fosse stata messa in atto una riduzione del livello medio annuale di PM_{10} del 20% verso il limite OMS di $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Si nota come anche un contenimento dell'inquinamento di questa entità avrebbe portato a una diminuzione rilevante di decessi attribuibili nei grandi centri urbani (91,2 decessi evitati per anno a Roma; 46,1 a Milano; 38,8 a Torino; 32,2 a Napoli), ma anche, pur se in misura minore, in tutte le altre città coinvolte nello studio. Prendendo come riferimento gli 839 decessi attribuibili calcolati sotto lo scenario definito dal limite di $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$, l'impatto sarebbe diminuito di circa il 42%.

Nel periodo in studio, a Torino, Milano, Padova, Venezia-Mestre e Modena si sono registrati in media più di 100 giorni all'anno con livelli medi di PM_{10} al di sopra del limite di $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (tabella 7). Con riferimento alle due città più grandi, si è stimato che se i superamenti fossero stati al massimo 35, come stabilito dalla direttiva dell'Unione europea, si sarebbero evitati 43,1 (ICr80% 19,6-65,6) decessi a Milano e 44,9 (ICr80% 25,2-64,7) a Torino. Critica dal punto di vista dei superamenti è anche la situazione in altri

	vp (ICr90%)	I ² (PERCENTILE)		
		50°	5°	95°
MORTALITÀ PER CAUSE NATURALI	0,54 (0,17;0,91)	0,88	0,04	13,89

Tabella 3. Stima globale metanalitica dell'effetto del $PM_{2,5}$ (lag 0-1) sulla mortalità per cause naturali. Media a posteriori della variazione percentuale della mortalità per incremento di $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ del livello dell'inquinante (vp) e relativo intervallo di credibilità al 90% (ICr90%); mediana, 5° e 95° percentile della distribuzione a posteriori di I^2 .

Table 3. Meta-analytic estimate of $PM_{2,5}$ effect (lag 0-1) on natural mortality. Posterior mean of the percent variation associated to a $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ increase of pollutant concentration (vp) and 90% credibility interval (ICr90%). Median, 5° and 95° percentile of the posterior distribution of I^2 .

centri della Pianura Padana. Solo nelle città di Brindisi, Cagliari, Genova, Taranto e Trieste si sono registrati mediamente meno di 35 giorni caratterizzati da livelli di PM_{10} superiori al limite giornaliero di $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

$PM_{2,5}$ Tutte le città considerate hanno registrato nel periodo in studio valori annuali di $PM_{2,5}$ maggiori di $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (tabella 8). Il numero di decessi attribuibili al superamento di questo limite variava dai 5 di Ancona agli oltre 120 di Roma, Milano e Torino, per un totale di 546 morti sulle 13 città considerate (lo 0,8% dei decessi complessivi, ICr80% sotto assunzione di indipendenza: 0,2-1,3%). Considerando i limiti meno restrittivi di 18 e $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$, l'impatto stimato è stato

CITTÀ	vp (ICr90%)	PROBABILITÀ (vp>0)
ANCONA	0,52 (-0,04;1,04)	94,10
BOLOGNA	0,52 (0,01;0,98)	95,46
FERRARA	0,62 (0,12;1,24)	97,90
MILANO	0,47 (0,02;0,86)	95,44
MODENA	0,51 (-0,08;1,01)	93,52
NAPOLI	0,48 (-0,11;0,97)	92,62
PADOVA	0,54 (0,05;1,02)	96,00
PARMA	0,49 (-0,13;0,98)	92,78
REGGIO EMILIA	0,62 (0,12;1,24)	97,38
RIMINI	0,57 (0,04;1,14)	96,08
ROMA	0,58 (0,14;1,07)	98,06
TORINO	0,64 (0,23;1,09)	99,44
VENEZIA-MESTRE	0,48 (-0,08;0,95)	93,54
GLOBALE	0,54 (0,17;0,91)	98,94

Tabella 4. Stime a posteriori specifiche per città dell'effetto del $PM_{2,5}$ (lag 0-1) sulla mortalità per cause naturali. Medie a posteriori delle variazioni percentuali della mortalità per incremento di $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ del livello dell'inquinante (vp), relativi intervalli di credibilità al 90% (ICr90%) e probabilità a posteriori che l'effetto sia maggiore di zero.

Table 4. Posterior city-specific estimates of $PM_{2,5}$ effect (lag 0-1) on natural mortality. Percent variation in natural mortality associated to a $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ increase of pollutant concentration (vp), 90% credibility interval (ICr90%) and posterior probability for pollutant effect greater than zero.

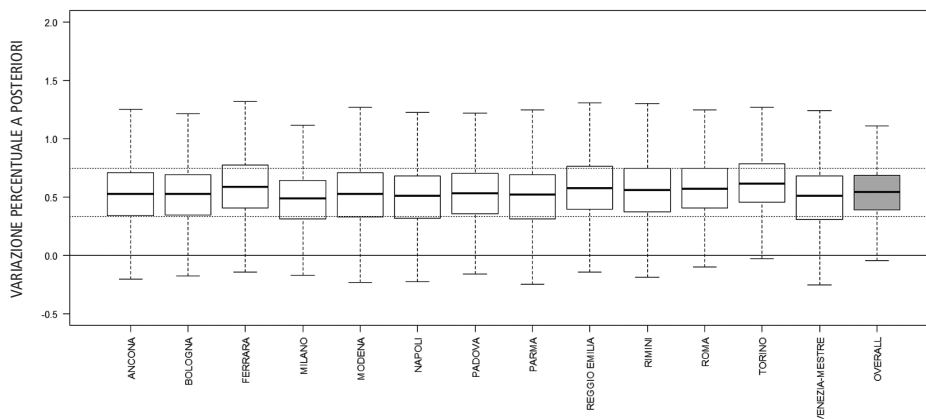


Figura 2. Variazioni percentuali della mortalità per cause naturali per incremento di $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ del $PM_{2,5}$ (lag 0-1). Diagramma a scatola e baffi delle distribuzioni a posteriori specifiche per città (in grigio la variazione globale metanalitica).

Figure 2. Percent variations in natural mortality associated to a $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ increase of $PM_{2,5}$ (lag 0-1). Multiple box and whisker plot of the posterior city-specific distribution (in grey the meta-analytic posterior distribution of the global effect).

CITTÀ	PM ₁₀ (µg/m ³)	DA PER ANNO (ICr80%)	
	MEDIA ANNUALE OSSERVATA	LIMITE 20 µg/m ³	LIMITE 40 µg/m ³
ANCONA	32,3	5,6 (2,3;9,0)	
BOLOGNA	39,4	36,4 (14,1;57,5)	
BRINDISI	23,1	1,1 (0,5;1,7)	
CAGLIARI	27,6	5,1 (2,2;8,0)	
FERRARA	38,5	16,2 (8,1;25,3)	
FIRENZE	37,2	33,0 (15,1;51,2)	
GENOVA	29,6	34,3 (13,6;54,5)	
MILANO	48,0	134,0 (60,7;204,8)	38,6 (17,4;59,1)
MODENA	42,3	16,0 (4,5;26,6)	1,7 (0,5;2,8)
NAPOLI	35,8	71,0 (35,1;109,4)	
PADOVA	48,4	26,9 (8,9;44,0)	8,0 (2,6;13,1)
PALERMO	35,7	46,9 (23,4;71,5)	
PARMA	36,0	12,1 (4,0;19,8)	
PIACENZA	39,0	10,6 (5,2;16,6)	
PISA	33,1	5,4 (2,2;8,7)	
REGGIO EMILIA	32,3	13,1 (6,2;20,2)	
RIMINI	35,7	9,5 (4,3;14,7)	
ROMA	36,1	202,9 (113,8;305,4)	
TARANTO	28,0	7,0 (3,4;11,0)	
TORINO	51,9	118,6 (66,4;171,7)	44,6 (24,9;64,6)
TREVISIO	39,7	8,8 (4,3;13,5)	
TRIESTE	23,4	4,8 (2,3;7,5)	
VENEZIA-MESTRE	46,5	19,7 (5,8;32,5)	4,9 (1,4;8,1)

Tabella 5. Decessi attribuibili (DA) all'effetto a breve termine del PM₁₀ sulla mortalità per cause naturali, con relativi intervalli di credibilità all'80% (ICr80%). Scenari controfattuali di 20 µg/m³ (linee guida OMS) e 40 µg/m³ (direttiva dell'Unione europea). Progetto EpiAir2, 2006-2009.

Table 5. Attributable deaths (DA) and 80% credibility intervals (ICr80%) of PM₁₀ short-term effect on natural mortality. Counterfactual scenarios of 20 µg/m³ (WHO air quality guidelines) and 40 µg/m³ (European Union Directive). EpiAir2 project, 2006-2009.

CITTÀ	PM ₁₀ (µg/m ³)		DA PER ANNO (ICr80%) RIDUZIONE DEL 20% AD ARRIVARE A 20 µg/m ³
	MEDIA ANNUALE OSSERVATA	MEDIA ANNUALE ATTESA SCENARIO CONTROFATTUALE	
ANCONA	32,3	25,9	2,9 (1,2;4,7)
BOLOGNA	39,4	31,5	14,8 (5,7;23,4)
BRINDISI	23,1	20,0	1,1 (0,5;1,7)
CAGLIARI	27,6	22,1	3,7 (1,6;5,8)
FERRARA	38,5	30,8	6,8 (3,4;10,6)
FIRENZE	37,2	29,8	14,3 (6,5;22,2)
GENOVA	29,6	23,7	21,1 (8,4;33,6)
MILANO	48,0	38,4	46,1 (20,8;70,6)
MODENA	42,3	33,8	6,1 (1,7;10,2)
NAPOLI	35,8	28,7	32,2 (15,9;49,7)
PADOVA	48,4	38,7	9,2 (3,0;15,1)
PALERMO	35,7	28,6	21,4 (10,7;32,6)
PARMA	36,0	28,8	5,5 (1,8;8,9)
PIACENZA	39,0	31,2	4,4 (2,1;6,8)
PISA	33,1	26,5	2,7 (1,1;4,4)
REGGIO EMILIA	32,3	30,5	5,5 (2,6;8,5)
RIMINI	35,7	28,6	4,3 (2,0;6,7)
ROMA	36,1	28,9	91,2 (51,1;137,3)
TARANTO	28,0	22,4	4,9 (2,4;7,7)
TORINO	51,9	41,5	38,8 (21,6;56,3)
TREVISIO	39,7	31,8	3,6 (1,7;5,4)
TRIESTE	23,4	20,0	4,8 (2,3;7,5)
VENEZIA-MESTRE	46,5	37,2	6,9 (2,0;11,5)

Tabella 6. Decessi attribuibili (DA) all'effetto a breve termine del PM₁₀ sulla mortalità per cause naturali, con relativi intervalli di credibilità all'80% (ICr80%). Scenario controfattuale di riduzione del 20% delle concentrazioni fino ad arrivare al limite di 20 µg/m³. Progetto EpiAir2, 2006-2009.

Table 6. Attributable deaths (DA) and 80% credibility intervals (ICr80%) of PM₁₀ short-term effect on natural mortality. Counterfactual scenario of a 20% reduction in pollutant concentration up to the 20 µg/m³ limit. EpiAir2 project, 2006-2009.

ovviamente meno importante. In alcune città questi limiti sono stati rispettati durante il periodo 2006-2009, con un numero di decessi evitabili pari a 0.

La tabella 9 riporta il numero di eventi che si sarebbero potuti evitare ogni anno se il livello di $PM_{2,5}$ fosse stato minore del 20% fino a raggiungere il limite di $18 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Un contenimento dell'inquinamento di questa entità avrebbe portato a una diminuzione di decessi attribuibili in tutte le città, tranne che a Napoli, dove il limite di $18 \mu\text{g}/\text{m}^3$ risultava già soddisfatto. Con riferimento alle situazioni in cui il guadagno in termini assoluti sarebbe stato maggiore, i decessi evitabili

sarebbero stati 36,5 (ICr80% 11,0-60,0) a Milano; 34,3 (ICr80% 16,9-52,6) a Torino; 28,0 (ICr80% 11,4-44,9) a Roma e 11,5 (ICr80% 3,4-19,2) a Bologna. Complessivamente sulle 13 città, prendendo come riferimento i 276 decessi attribuibili calcolati sotto lo scenario definito dal limite di $18 \mu\text{g}/\text{m}^3$, l'impatto sarebbe diminuito di circa il 51%.

Nella tabella 10 sono riportate le percentuali di decessi attribuibili alle polveri sul totale delle morti per cause naturali (le cosiddette frazioni attribuibili) nel periodo in studio. Le valutazioni sono riferite a livelli di PM_{10} maggiori di $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e a livelli di $PM_{2,5}$ maggiori di $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$. L'impatto delle con-

Tabella 7. Decessi attribuibili (DA) all'effetto a breve termine del PM_{10} sulla mortalità per cause naturali, con relativi intervalli di credibilità all'80% (ICr80%). Scenario controfattuale relativo al numero massimo di 35 superamenti all'anno del livello di $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ per la media giornaliera (direttiva dell'Unione europea). Progetto EpiAir2, 2006-2009.

Table 7. Attributable deaths (DA) and 80% credibility intervals (ICr80%) of PM_{10} short-term effect on natural mortality. Counterfactual scenario of max 35 days with pollutant level exceeding $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (European Union Directive). EpiAir2 project, 2006-2009.

CITTÀ	PM_{10} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)			DA PER ANNO (ICr80%) 35 SFORAMENTI ALL'ANNO DEL LIMITE DI $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$
	NUMERO MEDIO DI SFORAMENTI	MEDIA ANNUALE OSSERVATA	MEDIA ANNUALE ATTESA SCENARIO CONTROFATTUALE	
ANCONA	38,0	32,3	32,2	<0,1 (0,0;0,1)
BOLOGNA	85,7	39,4	36,4	6,1 (2,3;9,6)
BRINDISI	13,7	23,1		
CAGLIARI	15,7	27,6		
FERRARA	84,5	38,5	35,3	3,1 (1,6;4,9)
FIRENZE	59,5	37,2	36,2	2,2 (1,0;3,4)
GENOVA	20,5	29,6		
MILANO	125,7	48,0	39,8	43,1 (19,6;65,6)
MODENA	104,7	42,3	37,8	3,4 (1,0;5,7)
NAPOLI	46,0	35,8	35,3	2,5 (1,3;3,9)
PADOVA	124,5	48,4	40,3	8,1 (2,7;13,2)
PALERMO	46,2	35,7	35,2	1,7 (0,8;2,5)
PARMA	69,7	36,0	34,2	1,6 (0,5;2,6)
PIACENZA	92,0	39,0	35,7	2,2 (1,1;3,5)
PISA	43,0	33,1	32,9	0,1 (0,0;0,2)
REGGIO EMILIA	79,7	32,3	35,6	2,1 (1,0;3,2)
RIMINI	67,0	35,7	34,2	1,0 (0,5;1,6)
ROMA	58,0	36,1	35,4	10,1 (5,6;15,1)
TARANTO	18,7	28,0		
TORINO	138,0	51,9	40,7	44,9 (25,2;64,7)
TREVISO	94,5	39,7	35,5	2,2 (1,0;3,3)
TRIESTE	16,7	23,4		
VENEZIA-MESTRE	116,5	46,5	39,4	5,6 (1,7;9,2)

Tabella 8. Decessi attribuibili (DA) all'effetto a breve termine del $PM_{2,5}$ sulla mortalità per cause naturali, con relativi intervalli di credibilità all'80% (ICr80%). Scenari contro fattuali di $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (linee guida OMS), 18 e $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (direttiva dell'Unione europea). Progetto EpiAir2, 2006-2009.

Table 8. Attributable deaths (DA) and 80% credibility intervals (ICr80%) of $PM_{2,5}$ short-term effect on natural mortality. Counterfactual scenarios of $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (WHO air quality guidelines), 18 and $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (European Union Directive). EpiAir2 project, 2006-2009.

CITTÀ	$PM_{2,5}$ [*] ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	AD PER ANNO (ICr80%)		
		LIMITE $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$	LIMITE $18 \mu\text{g}/\text{m}^3$	LIMITE $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$
ANCONA	20,2	5,0 (1,3;8,6)	1,1 (0,3;1,9)	
BOLOGNA	26,9	36,0 (10,6;60,2)	19,0 (5,6;31,8)	4,1 (1,2;6,9)
FERRARA	26,5	15,9 (5,9;26,0)	8,2 (3,0;13,5)	1,5 (0,5;2,4)
MILANO	34,8	129,3 (39,3;212,3)	87,7 (26,6;144,2)	51,2 (15,5;84,2)
MODENA	21,5	10,0 (2,3;17,6)	3,1 (0,7;5,4)	
NAPOLI	15,0	20,3 (3,4;36,1)		
PADOVA	34,8	29,4 (10,0;48,3)	20,0 (6,8;32,9)	11,7 (4,0;19,2)
PARMA	21,2	9,3 (1,6;16,5)	2,7 (0,5;4,8)	
REGGIOEMILIA	21,5	9,8 (3,6;16,0)	3,0 (1,1;4,9)	
RIMINI	19,8	6,7 (2,1;11,2)	1,2 (0,4;2,0)	
ROMA	20,2	128,5 (52,5;205,4)	28,0 (11,4;44,9)	
TORINO	35,9	122,8 (60,6;187,8)	85,1 (41,9;130,2)	51,9 (25,5;79,4)
VENEZIA-MESTRE	37,7	23,2 (5,1;40,7)	16,6 (3,7;29,1)	10,7 (2,4;18,8)

* Media annuale osservata

CITTÀ	PM ₁₀ (µg/m ³)		DA PER ANNO (ICr80%) RIDUZIONE DEL 20% AD ARRIVARE A 18 µg/m ³
	MEDIA ANNUALE OSSERVATA	MEDIA ANNUALE ATTESA SCENARIO CONTROFATTUALE	
ANCONA	20,2	18,0	1,1 (0,3;1,9)
BOLOGNA	26,9	21,5	11,5 (3,4;19,2)
FERRARA	26,5	21,2	5,1 (1,9;8,4)
MILANO	34,8	27,8	36,5 (11,0;60,0)
MODENA	21,5	18,0	3,1 (0,7;5,4)
NAPOLI	15,0		
PADOVA	34,8	27,8	8,3 (2,8;13,7)
PARMA	21,2	18,0	2,7 (0,5;4,8)
REGGIO EMILIA	21,5	18,0	3,0 (1,1;4,9)
RIMINI	19,8	18,0	1,2 (0,4;2,0)
ROMA	20,2	18,0	28,0 (11,4;44,9)
TORINO	35,9	28,7	34,3 (16,9;52,6)
VENEZIA-MESTRE	37,7	30,2	6,4 (1,4;11,2)

Tabella 9. Decessi attribuibili (DA) all'effetto a breve termine del PM_{2,5} sulla mortalità per cause naturali, con relativi intervalli di credibilità all'80% (ICr80%). Scenario controfattuale di riduzione del 20% delle concentrazioni fino ad arrivare al limite di 18 µg/m³ (Direttiva dell'Unione europea). Progetto EpiAir2, 2006-2009.

Table 9. Attributable deaths (DA) and 80% credibility intervals (ICr80%) of PM_{2,5} short-term effect on natural mortality. Counterfactual scenario of a 20% reduction in pollutant concentration up to the 18 µg/m³ limit (European Union Directive). EpiAir2 project, 2006-2009.

centrazioni di PM₁₀ è risultato maggiore in termini relativi nelle città della Pianura Padana, nella Piana fiorentina e nelle grandi realtà metropolitane di Roma, Napoli e Palermo, dove la frazione attribuibile di decessi variava dallo 0,8% all'1,6%. Per il PM_{2,5} le percentuali di decessi attribuibili più alte sono state quelle riscontrate nelle città di Torino, Venezia-Mestre, Padova, Milano, Ferrara e Bologna.

CONCLUSIONI

In questo progetto sono state effettuate per la prima volta nell'ambito del sistema di sorveglianza EpiAir stime quantitative dell'impatto a breve termine di PM₁₀ e PM_{2,5} sulla salute.

L'impatto è stato basato su stime di effetto ottenute sulla popolazione residente nelle città coinvolte, e non tratte dalla letteratura scientifica, ed è stato presentato in termini di eventi che si sarebbero potuti evitare se il livello medio annuale degli inquinanti fosse stato pari a una soglia di concentrazione prefissata.

I livelli di inquinamento osservati nel periodo in studio sono stati responsabili di un numero importante di decessi nelle 23 città analizzate. Considerando la popolazione con più di 35 anni di età, è stato stimato un numero complessivo di 839 decessi attribuibili ogni anno a livelli medi annuali di PM₁₀ superiori a 20 µg/m³ (lo 0,9% della mortalità per cause naturali, assumendo indipendenza tra città l'intervallo di credibilità all'80% è 0,4-1,4%).

Poche tra le città analizzate superavano nel periodo considerato il limite di 40 µg/m³ per la concentrazione media annuale di PM₁₀ (Milano, Padova, Torino, Modena e Venezia-Mestre). In totale, si sarebbero potuti evitare 98 decessi se tale limite fosse stato rispettato.

L'impatto è stato più evidente nelle città della Pianura Padana, nella Piana fiorentina e nelle grandi realtà metropolitane di Roma, Napoli e Palermo, dove la percentuale di decessi attribuibili è stata mediamente dell'1%, contro lo

CITTÀ	FRAZIONE ATTRIBUIBILE (%)	
	PM ₁₀ LIMITE 20 µg/m ³	PM _{2,5} LIMITE 10 µg/m ³
ANCONA	0,58	0,53
BOLOGNA	0,88	0,87
BRINDISI	0,16	–
CAGLIARI	0,38	–
FERRARA	1,03	1,01
FIRENZE	0,85	–
GENOVA	0,45	–
MILANO	1,20	1,15
MODENA	0,93	0,58
NAPOLI	0,84	0,24
PADOVA	1,21	1,32
PALERMO	0,82	–
PARMA	0,71	0,54
PIACENZA	1,04	–
PISA	0,62	–
REGGIO EMILIA	0,95	0,70
RIMINI	0,79	0,55
ROMA	0,93	0,59
TARANTO	0,46	–
TORINO	1,56	1,62
TREVISIO	1,06	–
TRIESTE	0,18	–
VENEZIA-MESTRE	1,12	1,32

Tabella 10. Percentuale di decessi attribuibili all'inquinamento. Scenario controfattuale di 20 µg/m³ per il PM₁₀ e scenario controfattuale di 10 µg/m³ per il PM_{2,5} (linee guida OMS). Progetto EpiAir2, 2006-2009.

Table 10. Percentage of deaths attributable to air pollution. Counterfactual scenario of 20 µg/m³ for PM₁₀ and counterfactual scenario of 10 µg/m³ for PM_{2,5} (WHO air quality guidelines). EpiAir2 project, 2006-2009.

0,4% nelle altre città analizzate. Questi stessi centri sono quelli dove è stato superato il limite dei 35 giorni all'anno con livello di PM_{10} maggiore di $50 \mu g/m^3$.

L'analisi sul $PM_{2,5}$ ha confermato questi risultati (i decessi attribuibili assommano allo 0,8% della mortalità naturale; ICr80% 0,2-1,3) e indica coerentemente che le città della Pianura Padana sono quelle interessate da un impatto più forte. E' interessante osservare che riducendo le concentrazioni del 20%, fino ad arrivare a $20 \mu g/m^3$ per il PM_{10} e a $18 \mu g/m^3$

per il $PM_{2,5}$, si sarebbe ottenuto un risparmio rispettivamente del 42% e del 51% dei decessi attribuibili. Questo indica che politiche di contenimento volte alla diminuzione percentuale delle concentrazioni annuali di polveri possono ridurre in modo importante l'impatto dell'inquinamento sulla salute.

Conflitti di interesse dichiarati: nessuno.

BIBLIOGRAFIA

1. Steenland K, Armstrong B. An overview of methods for calculating the burden of disease due to specific risk factors. *Epidemiology* 2006;17(5):512-9.
2. Biggeri A, Bellini P, Terracini B. Metanalisi italiana degli studi sugli effetti a breve termine dell'inquinamento atmosferico – MISA 1996-2002. *Epidemiol Prev* 2004;28(4-5) Suppl:4-100.
3. Martuzzi M, Mitis F, Iavarone I et al. *Health impact of PM10 and ozone in 13 Italian cities*. Copenhagen, WHO Regional Office for Europe, 2006.
4. Baccini M, Biggeri A, Grillo P, Consonni D, Bertazzi PA. Health impact assessment of fine particles pollution at the regional level. *Am J Epidemiol* 2011;174(12):1396-405.
5. Künzli N, Kaiser R, Medina S et al. Public-health impact of outdoor and traffic-related air pollution: a European assessment. *Lancet* 2000;356(9232):795-801.
6. Cohen AJ, Anderson HR, Ostro B et al. Mortality impacts of urban air pollution. In: Ezzati M, Lopez AD, Rodgers A et al. (eds). *Comparative quantification of health risks: Global and regional burden of disease due to selected major risk factors*. Vol. 2. Geneva, World Health Organization, 2004.
7. Medina S, Plasencia A, Ballester F, Mucke HG, Schwartz J; Apehis group. Apehis: public health impact of PM_{10} in 19 European cities. *J Epidemiol Community Health* 2004;58(10):831-6.
8. Ballester F, Medina S, Boldo E et al; Apehis network. Reducing ambient levels of fine particulates could substantially improve health: a mortality impact assessment for 26 European cities. *J Epidemiol Community Health* 2008;62(2):98-105.
9. Boldo E, Medina S, LeTertre A et al; Apehis group. Apehis: Health impact assessment of long-term exposure to $PM_{2.5}$ in 23 European cities. *Eur J Epidemiol* 2006;21(6):449-58.
10. Boldo E, Linares C, Lumbreras J et al. Health impact assessment of a reduction in ambient $PM_{2.5}$ levels in Spain. *Environ Int* 2011;37(2):342-8.
11. Li Y, Gibson JM, Jat P et al. Burden of disease attributed to anthropogenic air pollution in the United Arab Emirates: estimates based on observed air quality data. *Sci Total Environ* 2010;408(23):5784-93.
12. Orru H, Teinmaa E, Lai T et al. Health impact assessment of particulate pollution in Tallinn using fine spatial resolution and modelling techniques. *Environ Health* 2009;8:7.
13. Sutton AJ, Abrams KR. Bayesian methods in meta-analysis and evidence synthesis. *Stat Methods Med Res* 2001;10(4):277-303.
14. Post E, Hoaglin D, Deck L, Larntz K. An empirical Bayes approach to estimating the relation of mortality to exposure to particulate matter. *Risk Anal* 2001;21(5):837-42.
15. Le Tertre A, Schwartz J, Touloumi G. Empirical Bayes and adjusted estimates approach to estimating the relation of mortality to exposure of PM_{10} . *Risk Anal* 2005;25(3):711-8.
16. Ades AE, Lu G, Higgins JP. The interpretation of random-effects meta-analysis in decision models. *Med Decis Making* 2005;25(6):646-54.
17. Gandini M, Berti G, Cattani G et al; Gruppo collaborativo EpiAir2. Indicatori ambientali nello studio EpiAir2: i dati di qualità dell'aria per la sorveglianza epidemiologica. *Epidemiol Prev* 2013;37(4-5):209-19.
18. Di Lonardo S, Nuvolone D, Forastiere F, Cadum E, Barchielli A; Gruppo collaborativo EpiAir2. Le politiche per la promozione della mobilità sostenibile e la riduzione dell'inquinamento atmosferico causato dal traffico veicolare nelle città partecipanti allo studio EpiAir2. *Epidemiol Prev* 2013;37(4-5):242-51.
19. Scarinzi C, Alessandrini ER, Chiusolo M et al; Gruppo collaborativo EpiAir2. Inquinamento atmosferico e ricoveri ospedalieri urgenti in 25 città italiane: risultati del progetto EpiAir2. *Epidemiol Prev* 2013;37(4-5):230-41.
20. Alessandrini ER, Faustini A, Chiusolo M et al; Gruppo collaborativo EpiAir2. Inquinamento atmosferico e mortalità in venticinque città italiane: risultati del progetto EpiAir2. *Epidemiol Prev* 2013;37(4-5):220-9.
21. Higgins JP, Thompson SG, Deeks JJ, Altman DG. Measuring inconsistency in meta-analyses. *BMJ* 2003;327(7414):557-60.
22. Lunn DJ, Thomas A, Best N, Spiegelhalter D. WinBUGS – A Bayesian modelling framework: Concepts, structure, and extensibility. *Statistics and Computing* 2000;10:325-37.
23. R Development Core Team. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, 2008. ISBN 3-900051-07-0. Disponibile all'indirizzo: <http://www.R-project.org>
24. Direttiva 2008/50/CE del Parlamento europeo e del consiglio del 21 maggio 2008 relativa alla qualità dell'aria ambiente e per un'aria più pulita in Europa. *Gazzetta ufficiale dell'Unione europea*, L152/1, 11.06.2008. Disponibile all'indirizzo: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2008:152:0001:0044:IT:PDF>
25. World Health Organization. Air Quality Guidelines. Global Update 2005. Particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulphur dioxide. Copenhagen, WHO Regional Office for Europe, 2005. Disponibile all'indirizzo: http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0005/78638/E90038.pdf