

essia

**EFFETTI SULLA SALUTE DEGLI
INQUINANTI AERODISPERSI
IN REGIONE LOMBARDIA**

Convenzione tra
REGIONE LOMBARDIA – DG SANITA’
FONDAZIONE IRCCS CA’ GRANDA OSPEDALE MAGGIORE POLICLINICO -
Dipartimento di Medicina Preventiva
UNIVERSITA’ DEGLI STUDI DI MILANO – Dipartimento di Medicina del Lavoro

**Relazione Finale
Aprile 2011 - Aprile 2012**

Hanno partecipato alla progettazione e conduzione delle attività:

Pier Alberto Bertazzi, Responsabile scientifico, (Università degli Studi di Milano e Fondazione IRCCS Ca' Granda Ospedale Maggiore Policlinico)

Annibale Biggeri (Università degli Studi di Firenze)

Laura Angelici (Università degli Studi di Milano)

Andrea Baccarelli (Harvard University – School of Public Health)

Michela Baccini (Università degli Studi di Firenze)

Francesco Barretta (Università degli Studi di Milano)

Valentina Bollati (Università degli Studi di Milano)

Matteo Bonzini (Università dell'Insubria, Varese)

Laura Cantone (Fondazione IRCCS Ca' Granda Ospedale Maggiore Policlinico)

Catelan Dolores ((Università degli Studi di Firenze)

Dario Consonni (Fondazione IRCCS Ca' Granda Ospedale Maggiore Policlinico)

Laura Dioni (Università degli Studi di Milano)

Chiara Favero (Università degli Studi di Milano)

Paolo Grillo (Fondazione IRCCS Ca' Granda Ospedale Maggiore Policlinico)

Grisotto Laura (Università degli Studi di Firenze)

Mirjam Hoxha (Università degli Studi di Milano)

Barbara Marinelli (Università degli Studi di Milano)

Carolina Mensi (Fondazione IRCCS Ca' Granda Ospedale Maggiore Policlinico)

Francesco Nordio (Harvard University – School of Public Health)

Angela Pesatori (Università degli Studi di Milano e Fondazione IRCCS Ca' Granda Ospedale Maggiore Policlinico)

Luciano Riboldi (Fondazione IRCCS Ca' Granda Ospedale Maggiore Policlinico)

Maurizia Rubagotti (Università degli Studi di Milano)

Joel Schwartz (Harvard University – School of Public Health)

Letizia Tarantini (Università degli Studi di Milano)

Con l'Assistenza Tecnica di:

Silvia Adamoli (Università degli Studi di Milano)

Manuela Bertani (Università degli Studi di Milano)

Enrico Radice (Università degli Studi di Milano)

Il progetto **ESSIA, Effetti Sulla Salute dell'Inquinamento Atmosferico**, è stato disegnato con lo scopo di indagare gli effetti dell'inquinamento atmosferico sulla salute della popolazione in Regione Lombardia e di conoscere in modo più approfondito i meccanismi biologici alla base di tali effetti. La stima dell'impatto degli inquinanti sulla salute e la conoscenza dei meccanismi della loro azione forniscono le basi conoscitive necessarie all'identificazione di adeguate misure di prevenzione e di contrasto degli effetti nocivi e permettono, in aggiunta, la verifica dell'idoneità ed efficacia di quelle già in atto.

Il progetto, di durata biennale, è stato approvato con deliberazione della Giunta di Regione Lombardia N°VIII/010462 del 9 novembre 2009 ed ha preso avvio in data 25 marzo 2010 dopo l'approvazione e sottoscrizione di una Convenzione tra DG Sanità Regione Lombardia, IRCCS Fondazione Ca' Granda OM Policlinico e Università degli Studi di Milano.

Sono state per la prima volta condotte stime quantitative dell'impatto a-breve-termine sulla salute di PM₁₀ e NO₂ a livello regionale, basandoci su stime di effetto ottenute nel territorio e nella popolazione ivi residente, e non tratte dalla letteratura scientifica. Le stime sono presentate come eventi (decessi e ricoveri) che si sarebbero potuti evitare se il livello medio annuale d'inquinanti fosse stato pari a una prefissata soglia di concentrazione. E' emerso che interventi capaci di diminuire anche solo di una frazione (20%) i livelli nelle aree con concentrazioni superiori a 40µg/m³ come media annuale porterebbero un sostanziale, immediato beneficio in termini di ricoveri ospedalieri e morti premature evitate. Particolare rilevanza nel produrre gli effetti indagati sembra avere - in accordo con i dati di molte altre aree del mondo - il traffico veicolare.

RIASSUNTO

L'inquinamento atmosferico è emerso nell'ultimo decennio come uno dei problemi di maggior rilievo per la salute di chi vive nelle aree urbane. La ricerca medico-scientifica ha in gran parte identificato gli effetti patologici degli inquinanti atmosferici ed anche l'entità del rischio associato all'innalzamento del loro livello. Di ancor maggiore interesse, da un punto di vista di salute di comunità e di scelte politico-amministrative, sono le stime d'impatto sulla salute (*health impact assessment* – HIA) che rispondono alla domanda di quale sia la frazione di una data patologia che in una popolazione è riconducibile alla presenza di un particolare fattore di rischio e, quindi, della porzione di essa che potrebbe essere evitata rimuovendolo. In questo progetto è stata compiuta una valutazione d'impatto, riferita all'intera regione Lombardia e all'anno 2007, riguardante la mortalità totale, per cause naturali e per cause cardiorespiratorie nonché i ricoveri ospedalieri non programmati per malattie cardiache, cerebrovascolari e respiratorie attribuibili all'esposizione a PM_{10} e a NO_2 e quindi evitabili con il controllo di tali inquinanti. Per giungere a tali stime è stato necessario compiere una stima quantitativa della relazione tra inquinanti atmosferici e rischio per la salute della popolazione (stima di **effetto**) basata sulle caratteristiche specifiche della Lombardia; in secondo luogo, si sono ottenute stime dei livelli d'inquinanti atmosferici propri di ciascun comune della regione, basate sui dati della rete di qualità dell'aria di ARPA Lombardia (stima di **esposizione**); in terzo luogo sono state ottenute, per le cause d'interesse, per la popolazione di ciascun comune, stime della mortalità e dei ricoveri 'di base'. In tal modo - partendo dalle stime del modello esposizione-effetto proprio della Lombardia, dal livello d'inquinamento proprio del comune e dalla mortalità e dai ricoveri di base della sua popolazione - è stato possibile ottenere la stima del numero di morti e di ricoveri aggiuntivi dovuti all'inquinamento atmosferico e quindi prevenibili con il suo abbattimento (stima d'**impatto**).

L'effetto di PM_{10} lag0-1 espresso come variazione percentuale (vp%) per ogni $10\mu g/m^3$ è pari a 0.30% per la *mortalità* naturale complessiva, ancora 0.30% anche per i decessi per patologie cardiovascolari e 1.64% per decessi per malattie respiratorie. Questi effetti sulla mortalità sono più pronunciati nella stagione calda ed aumentano con l'incrementarsi dell'età. L'effetto di NO_2 lag0-1 è più elevato rispetto a PM_{10} per i *decessi* per cause naturali (0.70%) e per patologie cardiovascolari (1.12%) che per i decessi da malattie respiratorie (0.46%) ed è nettamente accentuato dalla stagione calda soprattutto per le cause cardiovascolari. L'influenza dell'età è meno distinta: l'effetto sui decessi per cause respiratorie è maggiore in età inferiore a 65 anni, mentre l'età più avanzata influenza l'effetto sulle patologie cardiovascolari.

L'effetto di PM_{10} lag0-3 sui *ricoveri* è pari a 0.14% per malattie cardiache, 0.77% per patologie cerebrovascolari e 0.54% per malattie respiratorie. Gli effetti sui ricoveri sono più pronunciati nella stagione calda. L'incremento di ricoveri per malattie cardiache è maggiore prima dei 65 anni; per malattie cerebrovascolari e respiratorie l'incremento è maggiore nelle età più avanzate.

Per i *ricoveri* l'effetto di un incremento di $10\mu g/m^3$ di NO_2 lag0-3 è per le malattie cardiache pari a 1.14%; per le patologie cerebrovascolari, 1.20%; per le malattie respiratorie, 1.70%. E' presente un effetto della stagione calda. L'effetto è maggiore prima dei 75 anni.

Le stime d'effetto città-specifiche *a posteriori* ("pesate", come illustrato nel testo, sulla stima complessiva meta-analitica d'effetto e sulla dimensione della popolazione di ciascuna città) mostrano un'eterogeneità contenuta tra le diverse aree sia per la mortalità sia per i ricoveri. Fa eccezione l'effetto sulla mortalità naturale del PM_{10} che a Milano ha un valore circa doppio (vp%=0.63 intervallo di credibilità 50% 0.48; 0.78) rispetto a quella dell'intera regione (vp%=0.30 intervallo di credibilità 50% 0.14; 0.50). Nel complesso, per riassumere i risultati dei due inquinanti

sulla mortalità e sui ricoveri, si vede che, oltre a Milano, sono le città del suo hinterland a nord, da Rho a Monza, e gli altri agglomerati urbani più consistenti come Brescia che presentano valori superiori a quello complessivo della meta-analisi.

Il calcolo degli eventi attribuibili è stato compiuto per ciascun comune utilizzando i risultati delle misure di effetto, il valore medio di esposizione a inquinanti nel 2007 e la mortalità o i ricoveri osservati in quello stesso anno. Essi rappresentano gli eventi (decessi o ricoveri per specificate cause) che si sarebbero potuti evitare se il livello medio d'inquinamento annuale di ogni comune non avesse superato un determinato valore di riferimento.

Così, il non superare la media annuale di $40\mu\text{g}/\text{m}^3$ di PM_{10} (scenario 1) avrebbe evitato nel 2007, in regione, 169 decessi per cause naturali: di essi 144 erano in provincia di Milano e 93 nella sola città. La diminuzione del 20% dei valori di media annua nei comuni in cui si supera la soglia di $40\mu\text{g}/\text{m}^3$; (scenario 2) porterebbe ad evitare 160 decessi in regione, 133 in provincia di Milano e 85 in Milano città. Per la mortalità per cause cardiache i numeri corrispondenti sono 41, 32, 15; e per quelle respiratorie 53, 42 e 21.

Il numeri di decessi evitabili nello scenario 1, scendendo cioè sotto la media annua di $40\mu\text{g}/\text{m}^3$ di NO_2 , è pari a 410: di essi, 366 erano in provincia di Milano e 193 nella sola città. I corrispondenti valori per lo scenario 2 (diminuzione del 20%) sono 278 (regione), 235 (provincia) e 116 (città). La mortalità per cause cardiache a livello regionale presenta valori nettamente più elevati rispetto a quella per cause respiratorie: 217 decessi contro 22 sotto lo scenario 1; 148 contro 15 sotto lo scenario 2.

I ricoveri evitabili con la riduzione al disotto di $40\mu\text{g}/\text{m}^3$ del valore annuo medio di PM_{10} sono, a livello regionale, 171 per le malattie respiratorie (160 nello scenario 2 di riduzione del 20%), 53 per quelle cerebrovascolari (49 nello scenario 2) e 40 per le malattie cardiache (37 nello scenario 2). Per NO_2 si tratta invece di 421 ricoveri (285 nello scenario 2) evitabili per cause cardiache; 255 (172 nello scenario 2) per cause cerebrovascolari; e ancora 421 (283) per cause respiratorie. La diminuzione del 20% dei valori di media annua nei comuni in cui si supera la soglia di $40\mu\text{g}/\text{m}^3$ appare quindi, anche per le stime di ricovero ospedaliero, una misura con potenziale, importante impatto migliorativo delle condizioni di salute della popolazione.

L'impatto tende a concentrarsi nelle are più popolose, e questo è ovvio trattandosi di numero di eventi causati da un determinato effetto unitario. Queste aree, tuttavia, sono anche quelle più inquinate e quelle dove le popolazioni presentano, probabilmente, elementi di fragilità rispetto a questi fattori di rischio. Paradigmatico è il caso di Milano. Qui la popolazione ha un'attesa di vita superiore, cioè vive mediamente più a lungo, rispetto alle popolazioni di altre aree della regione o del paese. Tuttavia, giunti a un'età più avanzata proprio grazie all'assenza o alla minor gravità e/o diffusione dei fattori di rischio che penalizzano altre popolazioni, gli abitanti di Milano vengono a trovarsi in una condizione di fragilità rispetto a questi fattori di rischio ambientali.

Va tenuto presente che i valori d'impatto dei due inquinanti non devono essere sommati. Infatti, sia PM_{10} sia NO_2 sono marcatori della medesima esposizione, cioè della complessa miscela di sostanze e composti che definiamo 'inquinamento atmosferico'. Che siano misurazioni diverse di uno stesso fenomeno è messo in luce dal confronto delle loro stime di effetto. Si può, infatti, mostrare, come esemplificato nel testo, che riportando le loro stime d'effetto per unità di deviazione standard (o per *range* interquartile) non si ha evidenza di un'importante differenza tra gli effetti dei due indicatori d'inquinamento.

In generale, i valori d'impatto ottenuti per NO_2 sono più elevati di quelli per PM_{10} . Si tratta di un'evidenza empirica solida (si vedano gli intervalli di credibilità delle stime). Per quanto appena detto, non sembra, però, che ciò possa essere attribuito a un effetto unitario maggiore del primo inquinante. E' quanto documentano anche i valori-limite di qualità dell'aria definiti da OMS, che differiscono per i due inquinanti: per PM_{10} , dove più forti sono le prove tossicologiche e le evidenze

epidemiologiche circa una relazione causale, il limite è di $20\mu\text{g}/\text{m}^3$; per NO_2 , considerato invece come marcatore generico di esposizione, è di $40\mu\text{g}/\text{m}^3$. L'impatto dei superamenti del livello EU di $40\mu\text{g}/\text{m}^3$ ha quindi un significato diverso a seconda dell'inquinante considerato, con NO_2 che rappresenta un impatto generico e PM_{10} un impatto relativo ad una effettiva riduzione della concentrazione del principio 'biologicamente attivo' sotto una certa soglia. Per la mortalità per cause naturali, l'impatto di NO_2 con circa 400 decessi si colloca a livello intermedio tra quello calcolato per PM_{10} sotto lo scenario 1 (limite $40\mu\text{g}/\text{m}^3$) che è di circa 170 decessi, e quello sotto lo scenario 3 (limite OMS $20\mu\text{g}/\text{m}^3$) che è di circa 760 decessi

Accanto a queste considerazioni generali, va ricordato il ruolo che può invece aver giocato il livello di esposizione che per NO_2 tende a raggiungere concentrazioni medie più elevate rispetto a PM_{10} in molte aree, soprattutto in quelle dove il traffico come sorgente d'inquinanti sembra avere maggiore rilevanza. Gli effetti tossici di NO_2 riguardano in particolare le vie aeree, soprattutto dopo esposizioni accidentali a concentrazioni molto elevate quali possono svilupparsi negli ambienti di lavoro; anche l'esposizione a concentrazioni più basse per periodi prolungati è ritenuta favorire la comparsa, nel tempo, di alterazioni respiratorie croniche. Per PM_{10} , al contrario, esiste un'ampissima letteratura sui possibili effetti nell'organismo umano a livello sistemico, legati, in particolare, alla sua componente più sottile ($\text{PM}_{2.5}$). Sembra, quindi, che per documentare complessivamente l'impatto sulla salute dell'inquinamento atmosferico la componente "particolato" sia più pertinente da un punto di vista biologico. La componente "ossido nitrico" si caratterizza, invece, per le sue elevate concentrazioni sul territorio regionale legate, in particolare, al traffico e le stime ad essa associate potrebbero rappresentare il 'limite superiore' ovvero lo "scenario peggiore" (*worst case scenario*) della variazione d'impatto prevedibile.

La collaborazione in atto con l'Università Harvard (USA) ha aperto ulteriori importanti prospettive la prima delle quali è una più completa e avanzata stima a livello regionale dell'inquinamento da PM_{10} con l'utilizzo dei dati satellitari. Sfruttando le misure di densità ottica della colonna d'aria (AOD) rilevate dal satellite MODIS della NASA abbiamo costruito un modello geografico che stima la concentrazione giornaliera di PM_{10} dal 2000 al 2009 a due diversi livelli di risoluzione per la regione Lombardia. Il primo livello in celle di $10\text{km} \times 10\text{km}$ e il secondo livello in celle di $200\text{m} \times 200\text{m}$. Il modello geografico adottato ha riportato delle buone statistiche di *performance*, migliori di altri modelli proposti in letteratura. Questo nuovo strumento permetterà di associare una stima d'esposizione ai soggetti residenti in Lombardia per studiare anche gli effetti a lungo termine dell'inquinamento sulla salute umana.

In conclusione:

In questo progetto sono state per la prima volta condotte stime quantitative dell'impatto a-breve termine sulla salute di PM_{10} e NO_2 a livello regionale. L'impatto è stato basato su stime di effetto ottenute nel territorio e nella popolazione ivi residente, e non tratte dalla letteratura scientifica. Le stime sono presentate come eventi (decessi e ricoveri) che si sarebbero potuti evitare se il livello medio annuale d'inquinanti fosse stato pari a una prefissata soglia di concentrazione. E' emerso che interventi capaci di diminuire anche solo di una frazione (20%) i livelli nelle aree con concentrazioni superiori a $40\mu\text{g}/\text{m}^3$ come media annuale porterebbero un sostanziale, immediato beneficio in termini di ricoveri ospedalieri e morti premature evitate. Particolare rilevanza nel produrre gli effetti indagati sembra avere - in accordo con i dati di molte altre aree del mondo - il traffico veicolare.

IMPATTO A BREVE TERMINE DELLA ESPOSIZIONE A PM₁₀ E NO₂, 2003-2007

1. INTRODUZIONE

L'inquinamento atmosferico è emerso nell'ultimo decennio quale uno tra i più importanti fattori determinanti lo stato di salute di chi vive nelle aree urbane. La sua rilevanza non è sostenuta unicamente dalla percezione che ne ha la popolazione, ma lo è, soprattutto, dai risultati della ricerca scientifica che ha documentato in modo concorde, nelle aree metropolitane di tutto il mondo, l'influenza di elevati livelli d'inquinamento sullo stato di salute degli abitanti, con effetti sia a breve termine (aumento di ospedalizzazioni e casi di morte dopo innalzamenti del livello di inquinanti) sia a lungo termine (aumento di patologie respiratorie, incluso tumore polmonare, e cardiovascolari croniche). Su queste basi l'Unione Europea ha legiferato dal 2000 proponendo valori limite d'inquinanti da rispettare e l'Organizzazione Mondiale della Sanità (*WHO 2005*) ha pubblicato linee guida di qualità dell'aria per ridurre l'impatto sulla salute.

La ricerca medico-scientifica ha in gran parte identificato gli specifici effetti patologici degli inquinanti atmosferici ed anche l'entità del rischio associato all'innalzamento del loro livello. Dal 2000 sono anche state condotte stime d'impatto sulla salute (*health impact assessment – HIA*) ovvero della frazione di una data patologia che in una popolazione è riconducibile alla presenza di un particolare fattore di rischio e, quindi, della porzione di essa che potrebbe essere evitata rimuovendolo. Questa, come si comprende, è l'informazione più importante per chi debba assumere decisioni politico-amministrative riguardanti non solo la salute ma anche l'organizzazione sociale e l'economia di determinati territori. Simili stime sono state ripetutamente condotte a livello urbano ma raramente per contesti più ampi.

Per questo motivo abbiamo progettato nell'ambito del progetto “*ESSIA - Effetti Sulla Salute degli Inquinanti Aerodispersi*” - svolto grazie ad una convenzione tra Regione Lombardia (DGR VIII/010462, 09 nov. 2009), IRCCS Fondazione Ca' Granda Policlinico e Università degli Studi di Milano - una valutazione di impatto riferita all'intera regione Lombardia riguardante la mortalità per cause naturali, totale e per patologie cardiorespiratorie nonché i ricoveri ospedalieri non programmati per cause cardiache, cerebrovascolari e respiratorie.

2. RAZIONALE E OBIETTIVI DEL PROGETTO

L'utilità di stime d'impatto è tipicamente illustrata dal caso dell'inquinamento atmosferico. Considerando, ad esempio, gli effetti a breve termine determinati sulla mortalità dall'innalzamento dei livelli di PM₁₀, le stime condotte in diversi contesti italiani, europei e statunitensi mostrano concordemente un incremento di mortalità inferiore a 1% (lag0-1) per ogni incremento di 10µg/m³ dell'inquinante. Tali valori potrebbero essere considerati modesti o addirittura trascurabili in alcuni casi (con incrementi di 0,2% o 0,3% ad esempio). Tuttavia, se tale proporzione d'incremento è applicata, oltre che a un multiplo di 10µg/m³, anche a una popolazione molto ampia, potrebbe tradursi in centinaia o migliaia di casi aggiuntivi di morte e/o di casi di malattia che richiedono ricovero ospedaliero (*Nawrot et al. Lancet 2011*). E, in effetti, se i rischi aggiuntivi stimati nei singoli studi sono modesti, in campo scientifico l'impatto dell'inquinamento atmosferico sulla salute è unanimemente considerato importante e probabilmente ancora sottostimato.

Stime d'impatto sono state prodotte da numerosi enti e organizzazioni, ma per quanto riguarda la situazione italiana ci si è talvolta riferiti a stime di effetto ottenute in altri paesi e comunque sempre a realtà urbane. In ogni caso non esistono stime riferite a grandi realtà regionali.

Il primo obiettivo che ci si è prefissi con questo progetto è stato quello di ottenere una stima della relazione tra inquinanti atmosferici e rischio per la salute della popolazione (stima di **effetto**) basata sulle caratteristiche specifiche della Lombardia, partendo dai dati d'inquinamento e dai dati sanitari (mortalità e ricoveri per cause principali) delle principali realtà urbane (> 50.000 abitanti) e di una tipica realtà agricola (tutti i comuni della provincia di Lodi) della regione. E' stato così possibile ottenere stime di effetto sia di area sia, attraverso tecniche meta-analitiche, complessive.

Secondo obiettivo è stato quello di ottenere una stima dei livelli d'inquinanti atmosferici propri di ciascun comune della regione, stima resa possibile dai dati della rete di qualità dell'aria di ARPA Lombardia (stima di **esposizione**).

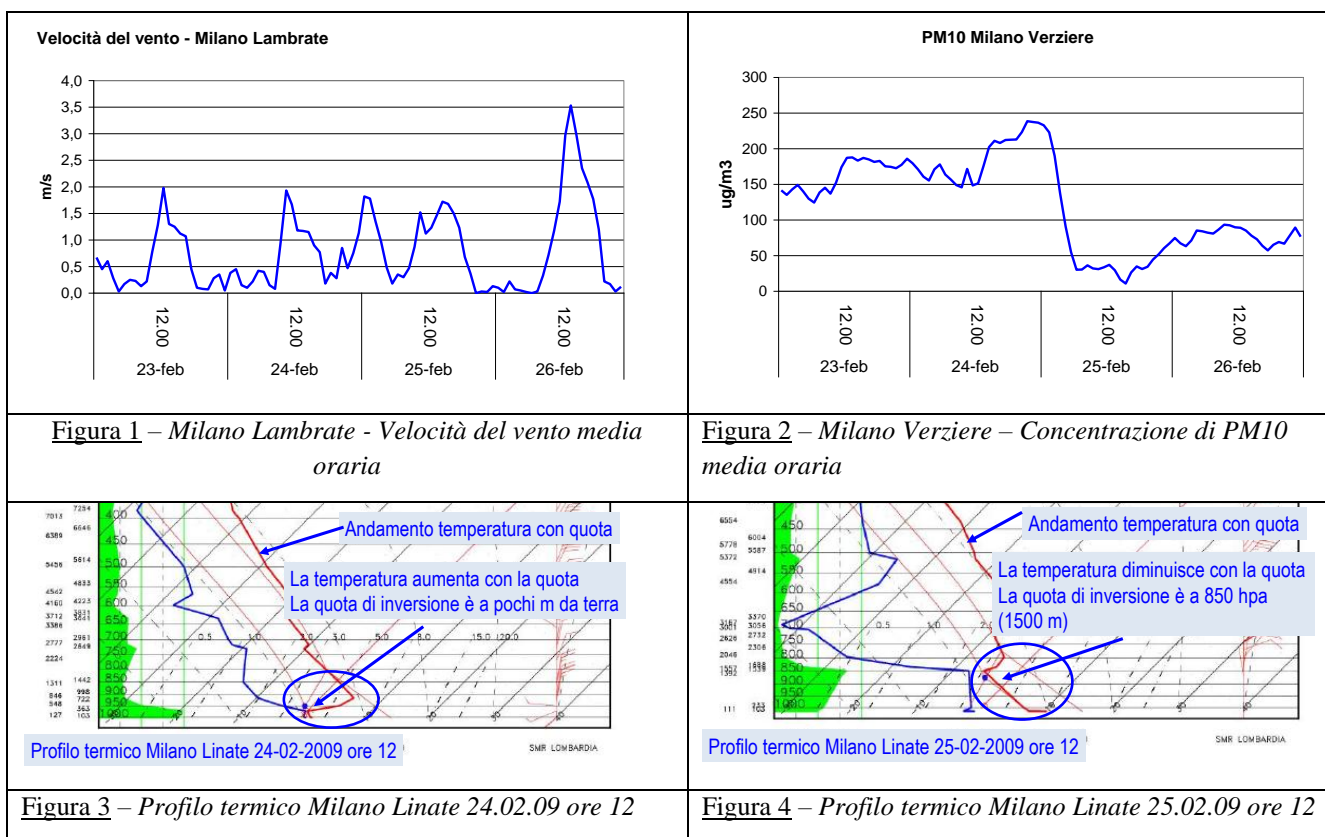
Utilizzando le stime del modello esposizione-effetto proprio della Lombardia e la stima del livello d'inquinamento proprio del comune, è stato possibile ottenere - partendo dalla mortalità e dai ricoveri di base della popolazione di ciascun comune - la stima del numero di morti e di ricoveri aggiuntivi dovuti all'inquinamento atmosferico (stima d'**impatto**).

3. LA PIANURA PADANA E LA SUA ATMOSFERA: IL QUADRO GENERALE

La necessità di compiere stime specifiche e di non utilizzare stime generali per ambienti talora molto differenti è ben illustrata dalle peculiari caratteristiche della regione Lombardia. Un territorio di 23.865 km² abitato da quasi 10 milioni di abitanti (412 per km²) distribuiti su 12 province e 1.546 comuni. E', tra le regioni italiane, la più popolata e, non solo per questo, la prima in termini di prodotto interno lordo totale (20% dell'intero PIL italiano) e pro capite (€33.648). La regione può essere ripartita dal punto di vista geografico ed economico in tre grandi aree, da nord a sud. La zona alpina, che rappresenta circa il 40% dell'intero territorio; le Prealpi lombarde con la pianura immediatamente seguente dove si situano l'area di Milano, con il grande sviluppo del settore terziario avanzato e dei servizi, e l'area delle province di Varese, Como, Lecco, Bergamo, Brescia che rappresentano il territorio di maggior densità industriale manifatturiera ed artigiana; infine l'ampio territorio della valle del Po dove tuttora persiste ed è in sviluppo un ricco ed importante settore agricolo e zootecnico. La popolazione è soprattutto concentrata nell'area di Milano e tra il capoluogo e le Prealpi, dove vivono circa 6,5 milioni di abitanti raggiungendo una densità di 1.200 abitanti per km². La regione ha visto incrementarsi molto rapidamente dagli anni '80 il settore dei servizi e del terziario avanzato; allo stesso tempo è rimasta la più importante area industriale del paese e tra le prime per produzione agricola.

Il **Bacino Padano** chiuso dalle montagne su tre lati, rappresenta una sorta di catino chiuso in cui le emissioni d'inquinanti si distribuiscono, ma faticano a disperdersi. La presenza della barriera alpina determina condizioni meteorologiche particolarmente sfavorevoli per la qualità dell'aria: le perturbazioni atlantiche in molti casi aggirano, ma non superano la barriera delle Alpi; ne consegue un mancato ricambio delle masse d'aria. Inoltre le velocità dei venti sono mediamente tra le più basse d'Europa, spesso, nella pianura lombarda e piemontese, inferiori a 1m/s. Frequentemente s'instaurano condizioni di alta pressione associata a stabilità atmosferica (il numero di giorni con condizioni di tempo anticiclonico a Milano è sempre maggiore di 100/anno); l'inversione termica, che limita la dispersione, è molto frequente durante l'inverno, con gli inquinanti che possono rimescolarsi in altezza solo fino a pochi metri dal suolo. Esplicativo al riguardo è l'episodio rilevato a Milano dal 23 al 26 febbraio 2009 descritto nelle figure 14-17. Pur con un vento a terra sempre modesto (figura 1), nella notte tra il 24 e il 25 febbraio 2009, le concentrazioni di PM10 sono

bruscamente calate da valori orari superiori a $150\mu\text{g}/\text{m}^3$ a valori inferiori a $50\mu\text{g}/\text{m}^3$ (figura 2). La ragione di tale decrescita è da ricercarsi nella rottura dell'inversione termica per irruzione sulla pianura di aria fredda in quota realizzatasi nella notte tra il 24 e il 25 (figure 3, 4). Purtroppo le condizioni tipiche dell'inverno padano non sono quelle del giorno 25 febbraio ma quelle del giorno 24. La situazione migliora, diventando più simile ad altre aree d'Europa, man mano che ci si avvicina alle Alpi e agli Appennini, con l'aumento della ventosità e, con l'esclusione dei fondovalle, di condizioni termiche meno sfavorevoli alla dispersione.



La realtà socio-economica del Bacino Padano è sicuramente importante: la densità abitativa nelle aree di pianura e nei fondovalle è elevata, le attività antropiche sono rilevanti e contribuiscono in modo sensibile alla produzione della ricchezza del Paese. La popolazione del bacino rappresenta più del 40% della popolazione italiana e il prodotto interno lordo dell'area rende conto di più della metà dell'intero PIL nazionale, con una realtà produttiva basata soprattutto su piccole e medie imprese, con la conseguente necessità di mobilità.

Ciò nonostante, la situazione delle emissioni d'inquinanti nel Bacino Padano *rapportata alla popolazione o al PIL*, è tra le più virtuose in Europa e i margini di miglioramento sono pertanto ancora più impegnativi: riferendoci al 2008, l'emissione pro-capite e pro unità di PIL delle regioni del Bacino Padano, e in particolare della Lombardia, di SO_2 , NO_x , CO, PM_{10} , $\text{PM}_{2.5}$, CO_2 equivalenti - figura 5 - sono inferiori a quelle della media europea (sia a 15 che a 27 Stati) e inferiori o paragonabili a quelle degli stati più avanzati.

Emissioni pro capite e pro unità di PIL								
	Inquinanti normati dalla Direttiva 2008/50/CE					Altri inquinanti		
	SO2	NOx	CO	PM10	PM2.5	NH3	NMVOC	CO2 eq
Differenza % Lombardia - Media UE 27 PRO CAPITE	-88%	-26%	-33%	-51%	-46%	28%	7%	-27%
Differenza % Lombardia - Media UE 15 PRO CAPITE	-75%	-28%	-30%	-43%	-39%	26%	7%	-30%
Differenza % Lombardia - Media UE 27 PRO Unità PIL	-91%	-46%	-51%	-64%	-61%	-8%	-22%	-47%
Differenza % Lombardia - Media UE 15 PRO Unità PIL	-79%	-40%	-42%	-53%	-50%	3%	-12%	-42%

Figura 5: Emissioni pro capite e pro unità di PIL

4. MONITORAGGIO DEGLI INQUINANTI: LA RETE ARPA

ARPA Lombardia, secondo quanto previsto dalla legge L.R. 16/99 istitutiva dell'Agenzia, svolge un ruolo di supporto tecnico alla Regione e alle Amministrazioni Locali per la definizione e l'attuazione delle politiche di protezione di salute e ambiente, di pianificazione dell'uso del territorio e di sviluppo delle strategie di risanamento. In particolare, per quanto concerne la matrice aria, ARPA Lombardia gestisce la rete di rilevamento regionale di qualità dell'aria, le cui stazioni di monitoraggio sono attive già dagli anni Sessanta e da allora, oltre ad essere aumentate di numero, sono state di volta in volta riqualificate al fine di potersi adattare alla caratterizzazione dei "nuovi" inquinanti che, con l'evoluzione dei combustibili impiegati e delle tecnologie diffuse, si sono mostrati essere gli indicatori delle situazioni di maggiore criticità per l'inquinamento dell'aria e quindi anche per la protezione della salute umana. Tra questi il particolato fine PM₁₀ (particolato avente diametro aerodinamico < 10µm) è uno degli inquinanti maggiormente critici, sia in termini di concentrazioni rilevate in aria che di estensione di territorio interessato e quindi di popolazione esposta.

La stazione di rilevamento è posta in modo da essere la più possibile rappresentativa dello stato della qualità dell'aria dell'agglomerato o della zona in cui è posta e della tipologia di stazione che interpreta. Infatti, una rete di rilevamento deve avere stazioni sia in posizioni di fondo, capaci di rilevare l'inquinamento diffuso in modo generalizzato nel territorio, sia in posizioni di picco, ad esempio in prossimità di vie di traffico, così da valutare la qualità dell'aria in casi critici (sebbene in ogni caso diffusi sul territorio e connessi alla reale esposizione della popolazione), in aree o all'interno di zone dove si raggiungono i livelli più elevati di concentrazione a cui la popolazione sia esposta per un periodo di tempo significativo. (Si veda sito della agenzia regionale per l'ambiente, ARPA: http://ita.arpalombardia.it/ITA/qaria/doc_ZonizCriteri.asp).

Secondo i criteri dell'[Agenzia Europea per l'ambiente](#) (EEA) le stazioni di misura della qualità dell'aria, per gli inquinanti considerati nel [Decreto Ministeriale n.° 60 del 02/04/2002](#), vengono classificate a seconda delle tipologia della stazione e dell'area e delle caratteristiche della zona:

- Tipo di stazione: Traffico (T), Industriale (I), Fondo (o background, B)
- Tipo di area: Urbana (U), Suburbana (S), Rurale (R)
- Caratteristiche dell'area: Residenziale (R), Commerciale (C), Industriale (I), Agricola (A), Naturale (N).
- Stazioni di traffico: considera la tipologia della strada e il flusso di traffico medio circolante sulla stessa. Deve essere rappresentativa della qualità dell'aria lungo la linea degli edifici.

Le stazioni sono classificate tramite una combinazione delle caratteristiche sopraelencate. Ogni giorno questa rete di rilevamento di qualità dell'aria di ARPA Lombardia misura la concentrazione dei diversi inquinanti 24 ore su 24, in oltre 150 stazioni distribuite sul territorio regionale. Specifici modelli matematici di chimico-fisica dell'atmosfera, partendo dai dati misurati dalla rete, dai dati di emissioni degli inquinanti stimati dall'inventario regionale INEMAR e dalle variabili meteorologiche, riproducono l'andamento spaziale e temporale degli inquinanti permettendo di ricostruire le condizioni d'inquinamento non solo in prossimità del punto di misura ma su tutto il territorio regionale. Ciò rende possibile un confronto con i limiti e gli obiettivi previsti dalla normativa (D. Lgs. 351/99; DM60/02; D.Lgs. 183/04; D. Lgs. 152/07). Tale normativa prevede, per alcuni inquinanti, standard di qualità su base annuale, il cui conseguimento deve essere raggiunto con piani di risanamento anche su base pluriennale. Per alcuni di essi (ozono, SO₂ e NO₂) sono inoltre indicate soglie di allarme il cui superamento può far scattare provvedimenti di emergenza: negli ultimi anni, in Lombardia, le soglie di allarme sono state saltuariamente superate solo per ozono.

Il confronto con i limiti e gli obiettivi previsti dalla normativa su base annuale rivela che tale normativa è rispettata per biossido di zolfo (SO₂), monossido di carbonio (CO) e piombo. Anche per il benzene il valore limite previsto per il 2010 (5µg/m³ come media annuale) è rispettato ormai da anni. La figura 6, riferita al 2008, mostra che invece per PM₁₀, NO₂ e ozono i limiti sono superati.

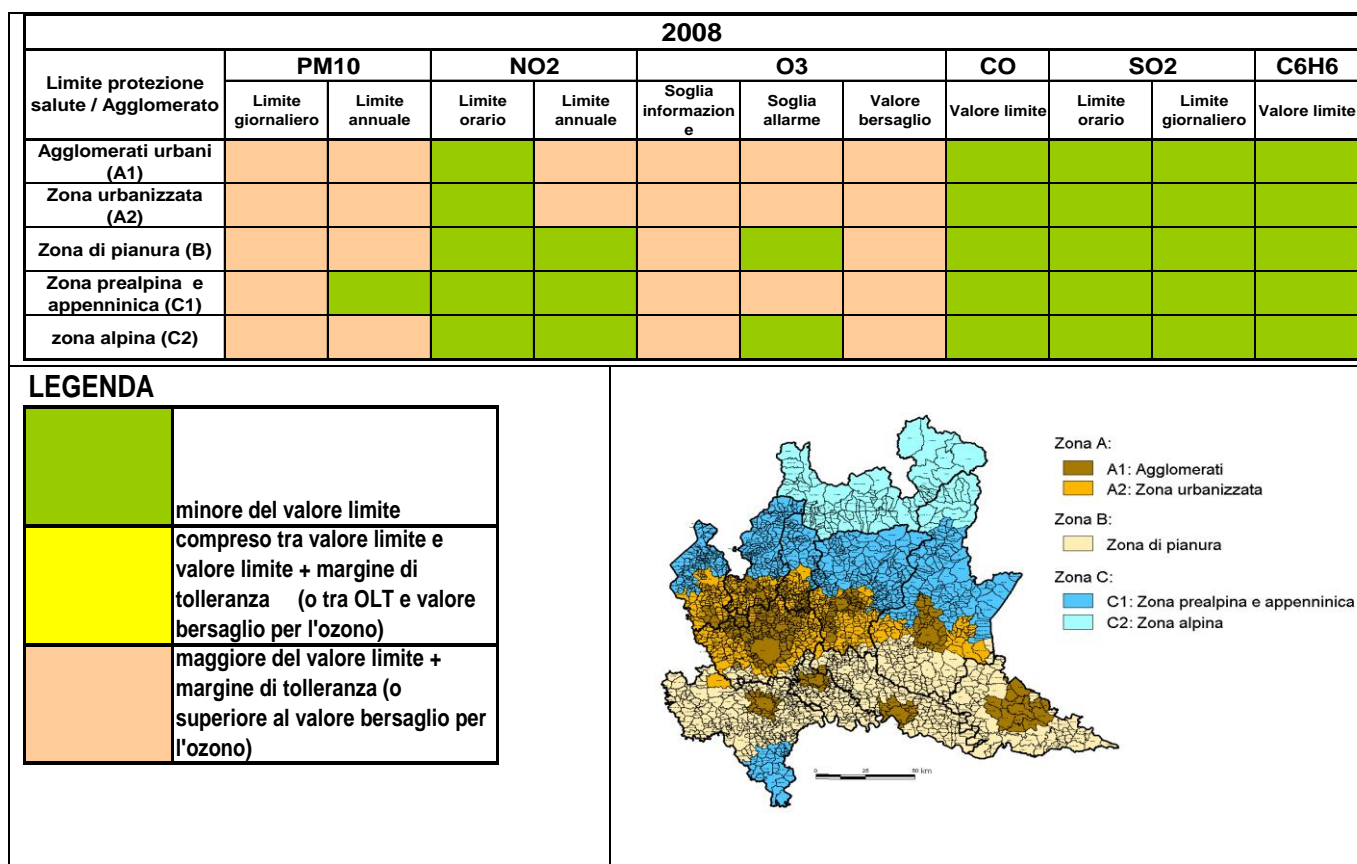


Figura 6: Valutazione del livello dei diversi inquinanti nelle varie aree rispetto ai limiti di riferimento.

PM₁₀ presenta concentrazioni progressivamente minori man mano che ci sposta dalla pianura e dai fondovalle alle aree prealpine e alpine; NO₂ presenta superamenti dei limiti annuali limitatamente alle maggiori aree urbane; ozono (O₃) oltre alle soglie di allarme, supera sostanzialmente gli obiettivi di protezione della salute su tutto il territorio lombardo. Poiché O₃ (ozono) è un inquinante dal forte carattere stagionale di natura esclusivamente secondaria (non è emesso cioè da alcuna

sorgente, ma si forma in atmosfera in condizioni estive di alta temperatura ed intensa radiazione solare), la trattazione che segue prende in considerazione i due inquinanti principali per la salute della popolazione generale, cioè PM₁₀ e NO₂. Il primo si trova sopra i limiti pressoché nell'intero territorio regionale; il secondo (NO₂), tipicamente dipendente dai flussi di traffico, si trova sopra i limiti nelle sole aree urbanizzate.

5. PREDIZIONE DELL'ESPOSIZIONE A PM₁₀ E NO₂ A LIVELLO REGIONALE

Le normative europee e nazionali richiedono l'utilizzo di tecniche di modellazione quale supporto per la conoscenza e la gestione della qualità dell'aria. Tale richiesta ha stimolato ARPA Lombardia a dotarsi di un sistema modellistico capace di descrivere il comportamento degli inquinanti non solo in funzione delle emissioni e della meteorologia, ma anche dalle reazioni chimiche che possono avvenire una volta che gli inquinanti sono rilasciati in atmosfera.

Il nucleo del sistema modellistico utilizzato da ARPA è rappresentato dal modello euleriano chimico-fisico FARM (*Flexible Air Quality Regional Model*). Esso appartiene alla famiglia di modelli che vanno sotto il nome di *Chemical Transport Model (CTM)* in grado di trattare i processi di trasporto e di dispersione per azione degli inquinanti e del rimescolamento atmosferico oltre che i principali processi di formazione e rimozione degli inquinanti di natura chimico-fisica.

Il sistema è complesso ed è costituito dai diversi moduli:

- modello di trasporto, diffusione e chimica dell'atmosfera,
- processori per l'organizzazione delle misure meteorologiche,
- modello diagnostico per la ricostruzione dei campi di vento, temperatura ed umidità,
- modello per la stima dei parametri che descrivono la turbolenza atmosferica e per la determinazione della velocità di deposizione secca degli inquinanti gassosi,
- modulo per l'elaborazione di inventari di emissione e la preparazione dei files emissivi in input al modello FARM (*Emission Manager*),
- moduli per la preparazione delle condizioni iniziali ed al contorno al modello FARM appoggianti al database regionale di qualità dell'aria.

La valutazione dei risultati si basa sul confronto quantitativo tra i dati di concentrazione misurati dalle postazioni di monitoraggio della qualità dell'aria e i dati simulati estratti per la cella della griglia di calcolo in corrispondenza delle coordinate delle stazioni; sul confronto grafico tra i campi di concentrazione al suolo ottenuti per i diversi inquinanti; sull'analisi della distribuzione temporale delle concentrazioni misurate e calcolate. Le postazioni della rete di qualità dell'aria in Lombardia sono state scelte in base alla tipologia di stazioni, alla distribuzione geografica e alla completezza della serie.

Dall'inizio del 2007 il sistema è utilizzato in modalità operativa di "tempo quasi reale" o *Near Real Time (NRT)* per la costruzione e la pubblicazione sul sito di ARPA di mappe di inquinamento giornaliere. Questo servizio è basato sull'applicazione quotidiana di una catena di modelli/processori allo scopo di ottenere i migliori risultati da una combinazione di diversi modelli innestati su più scale. Il dominio di calcolo su cui è applicato il sistema modellistico operativo presso ARPA Lombardia (244 x 236 km², 4 km di passo) copre la regione Lombardia e parzialmente alcune regioni confinanti. Si veda a questo proposito il sito della agenzia regionale per l'ambiente http://ita.arpalombardia.it/ITA/qaria/doc_DistribSpazialeCalcolata.asp.

6. STIME DI EFFETTO 2003-2006. META-ANALISI

L'analisi si è concentrata sull'effetto 'a-breve-termine' dell'inquinamento atmosferico sulla salute della popolazione. In particolare è stato stimato l'effetto delle concentrazioni di PM₁₀ e NO₂ su mortalità e ricoveri nel periodo 2003-2006 in un sottoinsieme di comuni della Lombardia comprendente: i capoluoghi di provincia (indipendentemente dal numero di abitanti), tutte le città con più di 50.000 abitanti e tutti i comuni della provincia di Lodi considerati come un unico aggregato. Non sono stati considerati i comuni più piccoli, poiché la precisione delle stime sarebbe stata in questo caso molto bassa a causa del numero ridotto di decessi e ricoveri giornalieri: venticinque percento dei 1.546 comuni avevano meno di 1.000 abitanti. L'analisi è stata quindi condotta su un totale di 18 comuni per l'NO₂ e su 13 comuni per il PM₁₀ dato che le misurazioni di questo inquinante non erano disponibili per cinque aree nei dintorni di Milano. Questi due sottoinsiemi rappresentano pertanto le aree amministrative della regione per le quali i dati d'inquinamento ambientale e i dati sanitari erano completi e validati per almeno tre anni consecutivi nel periodo 2003-2006. Le aree considerate per la meta-analisi rappresentano circa il 35% della popolazione totale. Il Comune di Milano include il 14% circa della popolazione regionale.

I certificati di morte sono stati ottenuti dai registri di mortalità di ciascuna ASL. Le Schede di Ricovero Ospedaliero (SDO) per gli anni 2003-2006 sono state rese disponibili dalla DG della Sanità.

La rete di controllo della qualità dell'aria di ARPA ha fornito la serie temporale giornaliera delle misurazioni di PM₁₀ e NO₂. Le centraline collocate in punti evidentemente influenzati dal traffico locale sono state escluse dall'analisi su indicazione di ARPA. Per ciascun comune, i dati giornalieri mancanti in una centralina sono imputati utilizzando le concentrazioni misurate nelle rimanenti centraline, quando esistenti. I dati mancanti in una giornata, nel caso di mancanza di dati per tutte le centraline, sono stati imputati come media della concentrazione su quattro giorni: il giorno precedente, il giorno seguente, lo stesso giorno della settimana precedente e lo stesso giorno della settimana seguente (Biggeri et al., 2004). Temperatura e umidità relativa sono misurate dalla stessa rete di monitoraggio utilizzata per gli inquinanti.

La [figura 7](#) mostra, con la localizzazione delle centraline della rete regionale per la qualità dell'aria, le aree considerate nella meta-analisi. Il criterio di scelta di queste aree non è casuale: si tratta piuttosto delle aree urbane più densamente popolate e quindi verosimilmente più inquinate. La posizione delle centraline segue lo stesso criterio.

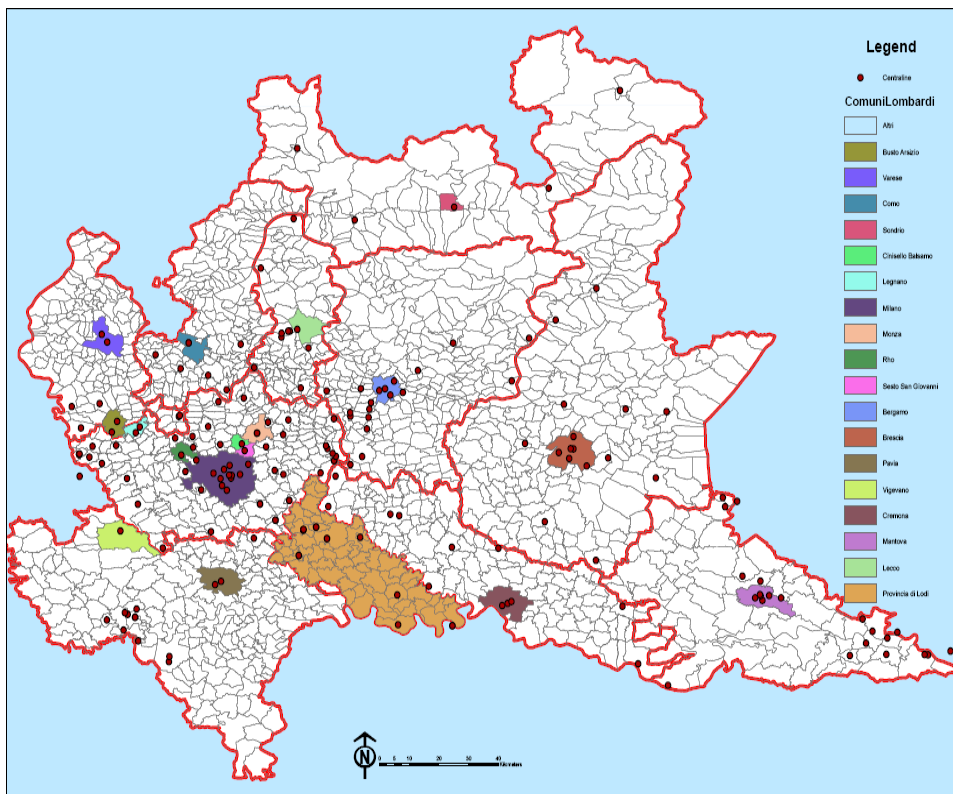


Figura 7: Localizzazione (cerchi pieni) delle stazioni di monitoraggio della qualità dell'aria della rete ARPA. Colorate le aree considerate nella metanalisi per le stime di effetto.

DATI SANITARI

Dai registri regionali di mortalità delle ASL sono state ottenute le registrazioni delle cause di morte. Le schede di ricovero ospedaliero (SDO) per gli anni 2003-2006 sono state rese disponibili dalla DG della Sanità.

i. Mortalità

Il Registro Regionale dei Decessi è tuttora in costituzione da parte della Direzione Generale Sanità della Regione Lombardia partendo dai dati Istat archiviati presso ciascuna delle 15 ASL della regione. Ognuna di esse ha fornito dal luglio 2009 le informazioni (dati anagrafici e causa codificata ICD-9 del decesso) relative ai decessi della popolazione residente nel territorio di competenza per gli anni 2003-2007.

Da ogni singolo tracciato record spedito dall'ASL alla Regione, abbiamo selezionato tutti i deceduti per cause naturali escludendo le cause esterne (ICD-9 < 800); i deceduti per cause cardiovascolari (ICD-9 ≥ 390 e ≤ 459); e i deceduti per cause respiratorie (ICD-9 ≥ 460 e ≤ 519). I decessi selezionati sono stati ulteriormente filtrati considerando per gli anni 2003-2006 solo i decessi di residenti nelle aree selezionate avvenuti all'interno del comune o nei comuni localizzati entro un raggio di 10 Km dal comune stesso. Tutti i decessi selezionati sono stati stratificati per classe di età (<65a, $\geq 65a$ e <75a, $\geq 75a$ e $\geq 85a$) e per stagione (inverno da ottobre a aprile, estate da maggio a settembre)

ii. Ricoveri

Sono state ottenute dalla DG Sanità tutte le Schede di Ricovero Ospedaliero (SDO) per gli anni 2003-2006 anonimizzate. Per le stime di rischio degli effetti acuti e per le stime meta-analitiche

abbiamo selezionato i ricoveri dei residenti in una delle 18 zone precedentemente descritte, avvenuti in ospedali localizzati entro 10 Km dal comune considerato. In seguito, per selezionare i ricoveri urgenti, abbiamo utilizzato l'algoritmo descritto nello studio MISA-2 che schematicamente riassumiamo:

- esclusione dei casi con data di nascita mancante, neonato sano, (o dei ricoveri con differenza tra data dimissione e data di nascita inferiore a 15 giorni) e dei decessi nella prima settimana di vita;
- esclusione dei seguenti gruppi da cause (sia che comparissero in diagnosi principale o condizioni secondarie):
 - complicanze della gravidanza, del parto e del puerperio (ICD9-CM 630-676)
 - condizioni morbose di origine perinatale (ICD9-CM 760-779)
 - traumatismi e avvelenamenti (ICD-9 CM 800-999);
- esclusione dei trasferimenti da altre strutture, esclusione dei TSO-TSV;
- esclusione dei ricoveri in day hospital (DH), ricoveri per riabilitazione, ricoveri in lungodegenza, psichiatrici e in unità spinale.

Dalle SDO abbiamo selezionato i ricoveri per cause cardiache ((ICD9CM \geq 390 e \leq 429), cerebrovascolari (ICD9CM \geq 460, \leq 469, \geq 480, \leq 519 ad esclusione 487) e respiratorie (ICD9CM \geq 430 e \leq 439) e sono state ottenute le relative serie storiche giornaliere stratificate per classe di età (0-64, 65-74, 75+).

COSTRUZIONE SERIE STORICHE INQUINANTI

La rete di controllo della qualità dell'aria di ARPA ha fornito la serie temporale giornaliera delle misurazioni di PM₁₀ e NO₂. Le centraline collocate in punti evidentemente influenzati dal traffico locale sono state escluse. Per ciascun comune, i dati giornalieri mancanti in una centralina sono stati inseriti utilizzando le concentrazioni misurate nelle rimanenti centraline, quando esistenti. I dati mancanti in una giornata, nel caso di mancanza di dati per tutte le centraline, sono inseriti come media di quattro giorni: il precedente e il seguente, il medesimo giorno della settimana precedente e seguente (Biggeri et al., 2004). Temperatura e umidità relativa sono misurate dalla stessa rete di centraline.

Nelle tabelle 1 e 2 sono riportate per ciascun'area per il periodo della meta-analisi, 2003-2006, le concentrazioni medie degli inquinanti (monossido di carbonio CO, biossido d'azoto NO₂, PM₁₀, ozono O₃), i valori medi delle temperature e delle umidità, la numerosità della popolazione e, stratificati per età, il numero di decessi per cause naturali, cause cardiovascolari e patologie respiratorie (tabella 1) e il numero di ricoveri per patologie cardiache, respiratorie e cerebrovascolari per età (tabella 2).

Mortalità

Tabella descrittiva - Anni 2003-06

	NO2 (Media 2003/06) µg/m3	PM10 (Media 2003/06) µg/m3	Temperatura (Media 2003/06) ° C	Umidità Relativa (Media 2003/06) %	Popolazione (Media 2003/2006) N	Classi di età	Cause naturali (N Decessi 2003/06)	Patologie cardiovascolari (N Decessi 2003/06)	Patologie respiratorie (N Decessi 2003/06)
Bergamo	42.7	46.1	14.0	81.0	115,357	<64 anni	489	84	4
						65-75 anni	719	183	30
						75+	3046	1337	258
						Totale	4254	1604	292
Brescia	62.5	49.4	12.9	65.3	190,789	<64 anni	613	116	22
						65-75 anni	831	207	38
						75+	3170	1232	375
						Totale	4619	1555	435
Busto Arsizio - VA	44.1	44.7	12.9	75.9	78,833	<64 anni	292	60	12
						65-75 anni	454	120	26
						75+	1708	857	176
						Totale	2454	1037	214
Cinisello Balsamo - MI	71.3	ND	14.5	63.3	73,419	<64 anni	204	38	7
						65-75 anni	345	94	22
						75+	1144	522	146
						Totale	1693	654	175
Como	68.3	43.6	12.5	64.6	81,917	<64 anni	312	56	9
						65-75 anni	438	109	27
						75+	2023	845	266
						Totale	2793	1010	302
Cremona	44.3	53.5	13.1	70.1	71,293	<64 anni	381	82	4
						65-75 anni	553	136	18
						75+	1957	865	178
						Totale	2891	1083	200
Lecco	58.5	38.4	14.0	65.8	46,493	<64 anni	162	35	6
						65-75 anni	280	80	12
						75+	1244	583	113
						Totale	1686	698	131
Legnano - MI	53.8	ND	12.9	75.9	55,755	<64 anni	223	52	12
						65-75 anni	297	79	14
						75+	1133	547	101
						Totale	1655	679	127
Provincia di Lodi	35.0	52.6	13.1	69.3	835,034	<64 anni	1198	306	39
						65-75 anni	1609	463	84
						75+	4973	2310	549
						Totale	7780	3079	662
Mantova	29.9	50.6	11.4	76.2	47,853	<64 anni	211	44	3
						65-75 anni	325	103	7
						75+	1495	738	91
						Totale	2031	885	101
Milano	65.5	52.5	14.5	63.3	1,288,829	<64 anni	5213	1034	207
						65-75 anni	7497	1917	381
						75+	28160	12092	3049
						Totale	40870	15043	3637
Monza	75.2	ND	14.5	63.3	121,795	<64 anni	464	75	14
						65-75 anni	640	151	21
						75+	2264	1031	207
						Totale	3368	1257	242
Pavia	55.0	44.4	16.7	63.4	71,322	<64 anni	317	54	7
						65-75 anni	556	147	14
						75+	1863	798	141
						Totale	2736	999	162
Rho - MI	53.5	ND	14.5	63.3	50,946	<64 anni	176	48	6
						65-75 anni	241	88	12
						75+	980	460	108
						Totale	1397	576	127
Sesto San Giovanni - MI	64.5	ND	14.5	63.3	81,492	<64 anni	242	49	9
						65-75 anni	337	85	21
						75+	1109	474	99
						Totale	1706	608	129
Sondrio	31.4	42.8	12.5	63.7	21,766	<64 anni	110	20	3
						65-75 anni	130	31	5
						75+	518	222	54
						Totale	758	273	62
Varese	34.7	29.6	13.2	70.3	81,895	<64 anni	324	75	16
						65-75 anni	460	124	23
						75+	2186	986	249
						Totale	2970	1185	288
Vigevano - PV	47.3	42.2	14.7	67.7	59,481	<64 anni	199	50	2
						65-75 anni	426	122	17
						75+	1409	591	112
						Totale	2034	763	131

Tabella 1. Caratteristiche delle aree inserite nella meta-analisi bayesiana dell'effetto di PM₁₀ e NO₂ sulla mortalità

Ricoveri ospedalieri
Tabella descrittiva - Anni 2003-06

	NO2 (Media 2003/06) µg/m3	PM10 (Media 2003/06) µg/m3	Temperatura (Media 2003/06) ° C	Umidità Relativa (Media 2003/06) %	Popolazione (Media 2003/2006) N	Classi di età	Patologie cardiache (N Ricoveri 2003/06)	Patologie respiratorie (N Ricoveri 2003/06)	Patologie cerebrovascolari (N Ricoveri 2003/06)
Bergamo	42.7	46.1	14.0	81.0	115,357	<64 anni	595	474	144
						65-75 anni	691	318	192
						75+	1390	919	575
						Totale	2676	1711	911
Brescia	62.5	49.4	12.9	65.3	190,789	<64 anni	1538	2035	452
						65-75 anni	1719	926	372
						75+	3646	2785	1638
						Totale	6903	5746	2662
Busto Arsizio -VA	44.1	44.7	12.9	75.9	78,833	<64 anni	562	635	154
						65-75 anni	620	313	238
						75+	1230	648	530
						Totale	2412	1596	922
Cinisello Balsamo - MI	71.3	ND	14.5	63.3	73,419	<64 anni	479	1059	102
						65-75 anni	515	294	165
						75+	1047	666	373
						Totale	2041	2019	640
Como	68.3	43.6	12.5	64.6	81,917	<64 anni	518	863	158
						65-75 anni	663	353	271
						75+	1321	1006	656
						Totale	2506	2202	1115
Cremona	44.3	53.5	13.1	70.1	71,293	<64 anni	421	732	178
						65-75 anni	597	380	253
						75+	1485	913	774
						Totale	2503	2025	1205
Lecco	58.5	38.4	14.0	65.8	46,493	<64 anni	267	308	67
						65-75 anni	344	161	112
						75+	903	360	301
						Totale	1514	829	480
Legnano - MI	53.8	ND	12.9	75.9	55,755	<64 anni	310	451	84
						65-75 anni	348	171	96
						75+	689	463	250
						Totale	1347	1085	430
Provincia di Lodi	35.0	52.6	13.1	69.3	835,034	<64 anni	1372	1971	333
						65-75 anni	1447	897	539
						75+	2849	1847	1043
						Totale	5668	4785	1915
Mantova	29.9	50.6	11.4	76.2	47,853	<64 anni	320	245	133
						65-75 anni	406	160	188
						75+	1069	456	483
						Totale	1795	861	804
Milano	65.5	52.5	14.5	63.3	1,288,829	<64 anni	7677	12225	2037
						65-75 anni	8976	5704	2991
						75+	19868	14033	8300
						Totale	36521	31962	13328
Monza	75.2	ND	14.5	63.3	121,795	<64 anni	507	867	198
						65-75 anni	556	370	262
						75+	1135	946	607
						Totale	2218	2183	1067
Pavia	55.0	44.4	16.7	63.4	71,322	<64 anni	446	416	93
						65-75 anni	503	217	152
						75+	1041	717	482
						Totale	1990	1350	727
Rho - MI	53.5	ND	14.5	63.3	50,946	<64 anni	363	437	62
						65-75 anni	422	191	107
						75+	819	453	294
						Totale	1604	1101	463
Sesto San Giovanni - MI	64.5	ND	14.5	63.3	81,492	<64 anni	562	846	138
						65-75 anni	639	442	223
						75+	1291	884	487
						Totale	2492	2272	848
Sondrio	31.4	42.8	12.5	63.7	21,766	<64 anni	111	175	33
						65-75 anni	118	73	46
						75+	274	153	142
						Totale	503	401	221
Varese	34.7	29.6	13.2	70.3	81,895	<64 anni	369	677	138
						65-75 anni	370	261	184
						75+	1032	751	550
						Totale	1771	1689	872
Vigevano - PV	47.3	42.2	14.7	67.7	59,481	<64 anni	331	547	89
						65-75 anni	468	256	185
						75+	821	501	456
						Totale	1620	1324	730

Tabella 2. Caratteristiche delle aree inserite nella meta-analisi bayesiana dell'effetto di PM₁₀ e NO₂ sui ricoveri ospedalieri.

METODI

L'analisi dell'effetto a breve termine di PM_{10} e NO_2 su mortalità e ricoveri si è articolata in due passi: prima si sono ottenute stime specifiche di effetto per tutte le 18 (NO_2) o 13 (PM_{10}) aree, utilizzando modelli lineari generalizzati con distribuzione Poisson sul numero giornaliero di eventi sanitari (morti o ricoveri); successivamente queste stime di effetto sono state combinate in una meta-analisi Bayesiana a effetti casuali. È stato possibile applicare quest'approccio per lo studio dell'effetto dell'inquinamento sulla mortalità totale e sui ricoveri per causa.

Per quanto riguarda invece la mortalità per causa, per le città più piccole non è stato possibile ottenere stime di prima fase affidabili per problemi di convergenza dell'algoritmo di stima in presenza di un numero esiguo di eventi giornalieri. In questo caso si è quindi optato per un'unica analisi di tipo case-crossover sui dati di tutte le aree.

i. Analisi città-specifica

L'effetto degli inquinanti su ciascuna area è stato stimato specificando un modello Poisson sui conteggi giornalieri di eventi sanitari. Il modello è ben consolidato e simile a quello utilizzato per l'analisi dell'effetto a breve termine dell'inquinamento atmosferico in Italia nell'ambito dello studio MISA. L'analisi è stata condotta stratificando per età, secondo la classificazione nelle tre classi: 0-64, 65-74, 75+. Per quanto riguarda l'analisi di mortalità, l'effetto confondente dell'andamento temporale di medio-lungo periodo è stato rimosso introducendo nel modello degli indicatori di stagione per le prime due classi di età e una *spline* di regressione con 5 gradi di libertà per anno per la terza classe. Per quanto riguarda invece i ricoveri ospedalieri, si sono definite tre *spline* di regressione con 7, 5 e 7 gradi di libertà per anno, rispettivamente per le classi di età 0-64, 65-74 e 75+. Per modellare la stagionalità di breve periodo, sono stati inclusi nel predittore lineare un indicatore delle festività e un indicatore del giorno della settimana (quest'ultimo in interazione con l'età quando si sono analizzati i ricoveri ospedalieri). Il modello ha tenuto conto dell'effetto confondente età-specifico delle epidemie influenzali tramite una variabile *dummy* in interazione con la classe di età. I giorni di epidemia sono stati definiti come quei giorni in cui un'appropriata funzione liscia della serie storica del numero giornaliero di ricoveri ospedalieri per influenza in Lombardia eccedeva una certa soglia. Per controllare il confondimento legato alle condizioni meteorologiche sono state incluse nel modello sia la temperatura che l'umidità. Nell'analisi di mortalità, l'effetto della temperatura è stato modellato attraverso due termini lineari vincolati a incontrarsi a 21 °C per la temperatura media calcolata sui tre giorni precedenti a quello di interesse (lag 1-3) e un termine lineare sullo scarto tra la temperatura a lag 1-3 e la temperatura del giorno corrente. Nell'analisi dei ricoveri ospedalieri, l'effetto della temperatura è stato modellato attraverso un solo termine lineare per la temperatura media nel giorno stesso e nei tre giorni precedenti. In entrambi i casi la temperatura è stata considerata nella sua interazione con la classe di età. L'umidità è stata inserita nel modello attraverso un termine lineare e un termine quadratico nell'analisi di mortalità, e attraverso un solo termine lineare nell'analisi dei ricoveri ospedalieri.

Per tener conto della diminuzione della popolazione a rischio durante la chiusura estiva delle grandi industrie è stato sempre incluso nei modelli un indicatore del periodo che va dal 15 luglio al 15 agosto.

L'esposizione a PM_{10} e NO_2 è stata misurata come media dei valori d'inquinante del giorno corrente e del precedente (lag 0-1) per l'analisi di mortalità e come media dei valori del giorno corrente e dei tre giorni precedenti (lag 0-3) per l'analisi dei ricoveri ospedalieri. L'effetto dell'inquinamento atmosferico è stato modellato con un termine lineare.

Oltre alla stima complessiva dell'effetto dei due inquinanti su mortalità e ricoveri ospedalieri, è stato stimato anche l'effetto specifico nelle tre classi di età e per stagione (stagione calda: 1 maggio-30 settembre; stagione fredda: 1 ottobre-30 aprile).

ii. *Meta-analisi*

Nella seconda fase dell'analisi, le stime di effetto specifiche per ogni area sono state combinate in una meta-analisi bayesiana ad effetti casuali.

Indicando con $\hat{\beta}_i$ e $\hat{\sigma}_i^2$ rispettivamente la stima dell'effetto dell'inquinante e la relativa varianza ottenute dal modello Poisson per l'area i -esima, il modello di meta-analisi a affetti casuali assume che:

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

dove β è l'effetto globale meta-analitico, β_i è l'effetto medio a livello di centro, τ^2 rappresenta la variabilità dei β_i attorno a β , ovvero l'eterogeneità tra aree, ε_i e u_i sono termini casuali distribuiti normalmente e mutuamente indipendenti. In ambito classico le stime dei parametri β_i sono chiamate 'stime *shrunk*'. Tali stime possono essere viste come una sorta di media pesata tra le stime specifiche per area ottenute nella prima fase dell'analisi $\hat{\beta}_i$ e la stima di effetto complessiva ottenuta dalla meta-analisi, ovvero la stima del parametro β : ogni stima area-specifica viene "spostata", proporzionalmente alla sua varianza, verso la stima di effetto globale.

Le 'stime *shrunk*' sono più stabili delle stime specifiche per area perché utilizzano l'informazione complessiva, ma al tempo stesso, a differenza della stima di effetto meta-analitica, rispecchiano l'eterogeneità tra aree. In ambito bayesiano, è possibile ottenere un'intera distribuzione a posteriori per le gli effetti specifici di area β_i . Le distribuzioni a posteriori dei parametri del modello sono state ottenute attraverso simulazioni MCMC, utilizzando il software WinBUGS.

Per valutare l'ammontare di eterogeneità nella meta-analisi si è calcolato l'indice I2, corrispondente alla percentuale di variabilità totale attribuibile alla varianza tra aree. *Analisi case-crossover*

Per stimare l'effetto di NO₂ e PM₁₀ sulla mortalità per cause respiratorie e cardiovascolari è stato utilizzato un approccio case-crossover (Hajat, 2003). Secondo uno schema di appaiamento *time-stratified*, per ogni città il livello di esposizione registrato per ciascun giorno in cui è avvenuto un decesso (caso) è stato confrontato con i livelli di esposizione rilevati negli stessi giorni della settimana entro lo stesso mese (controlli). Lo stesso si dica per i confondenti che variano entro l'insieme di giorni così definito.

L'analisi è stata quindi condotta specificando un modello di regressione logistica condizionata su tanti strati quanti sono i giorni in cui è avvenuto almeno un decesso, attribuendo a ciascun strato un peso pari al numero di morti osservate nel giorno definito come caso. La costruzione degli strati è stata effettuata separatamente per le tre classi di età 0-64, 65-74, 75+. Al fine di riprodurre il più fedelmente possibile il modello di regressione Poisson città-specifico, sono stati inclusi nel modello di regressione i seguenti termini: un indicatore di area, un indicatore di festività, un termine lineare e un termine quadratico per l'umidità, l'indicatore di influenza, due termini lineari vincolati a incontrarsi a 21°C per la temperatura a lag 1-3 e un termine lineare per lo scarto tra la temperatura corrente e la media dei tre giorni precedenti, l'indicatore di diminuzione della popolazione a rischio e infine il termine lineare per l'inquinante (lag 0-1). La stagionalità è in questo caso controllata da disegno.

La stima di effetto dell'inquinante ottenuta con quest'approccio è aggiustata per età, stagionalità e per tutti gli altri fattori di confondimento considerati nel modello; nonostante la scarsa numerosità degli eventi giornalieri, è stabile poiché si basa sui dati di tutte le aree.

Ovviamente seguendo quest'approccio non si tiene conto dell'eterogeneità tra aree e si ottiene un'unica stima di effetto media.

Anche per la mortalità per causa è stato stimato l'effetto dell'inquinante per classe di età e per stagione. A questo scopo sono stati inseriti opportuni termini d'interazione nel modello di regressione logistica condizionata.

RISULTATI

Le misure di effetto sono tutte espresse in termini di variazione percentuale nel numero di eventi sanitari associata a un incremento della concentrazione d'inquinante pari a $10\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Per quanto riguarda i risultati della meta-analisi a effetti casuali, per ciascun parametro è riportata la media della distribuzione a posteriori (la mediana per l'indice I^2), l'intervallo di credibilità (ICr) al 90%, ovvero l'intervallo compreso tra il 5° e il 95° percentile della distribuzione a posteriori, e l'ICr al 50%, ovvero l'intervallo compreso tra il primo e il terzo quartile di suddetta distribuzione.

Per quanto riguarda i risultati dell'approccio case-crossover, ovvero i risultati relativi alla mortalità per causa, insieme alla stima di effetto globale ottenuta dalla regressione logistica condizionata, si sono riportati gli intervalli di confidenza (IC) al 90% e al 50%.

i. Decessi per cause naturali, patologie cardiovascolari e malattie respiratorie

Le tabelle 3 e 4 riportano le stime meta-analitiche dell'effetto di PM_{10} e di NO_2 sulla mortalità in regione, nel periodo 2003-2006.

La stima complessiva della variazione percentuale della *mortalità* naturale associata all'incremento della concentrazione media di PM_{10} nel giorno stesso e in quello precedente (lag 0-1) è pari a 0.30% (90% CrI-0.21; 0.70) per ogni $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ (tabella 3). L'evidenza d'eterogeneità tra le stime area-specifiche è, nel complesso, modesta (I^2 4.33, 90% CrI 0.11; 28.51). Anche l'incremento dei decessi per patologie cardiovascolari è 0.30%, mentre nettamente più elevato è l'effetto sui decessi per malattie respiratorie (1.64%). La stagionalità ha un'evidente influenza sull'effetto di PM_{10} : durante l'estate l'innalzamento di $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ produce un incremento di decessi naturali pari a 2.3%; dei decessi cardiovascolari pari a 3.3%; e dei decessi da malattie respiratorie pari a 6.5%. La popolazione non è interessata in modo uniforme, ma l'effetto è maggiore sopra i 65 anni d'età, e, in modo ancor più evidente, sopra i 75 anni, soprattutto per le patologie respiratorie.

Per NO_2 , (tabella 4) l'innalzamento di $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ comporta nell'intera popolazione un incremento di *mortalità* pari a 0.70% per cause naturali, a 1.12% di decessi per patologie cardiovascolari e a 0.46% di decessi per malattie respiratorie. Evidente, anche se meno clamorosa che per PM_{10} , l'influenza della stagionalità con effetti più marcati sempre nel corso della stagione calda. I dati per età suggeriscono che la popolazione con maggior incremento di mortalità naturale e di decessi per malattie respiratorie sia quella sotto i 65 anni, mentre i decessi per patologie cardiovascolari appaiono influenzati dall'avanzare dell'età.

Le stime area-specifiche dell'effetto sulla mortalità per cause naturali nelle aree interessate dalla meta-analisi sono riportate come *forest-plot* nelle figure 8 e 9. Sono indicati il valore delle stime di effetto (i cerchi) e la loro variabilità (i segmenti) per le principali aree provinciali o sub-provinciali considerate e per l'intera regione (stima meta-analitica, OVERALL nelle figure). Per PM_{10} , alcune stime hanno il valore puntuale al di sopra e altre al di sotto del valore nullo (0, nessun effetto). Spicca il dato di Milano che ha una stima molto precisa, con variabilità contenuta, e che è l'unico ad avere l'intervallo di confidenza che non include il valore di non effetto: la stima di effetto per Milano è infatti 0.64% (90% CI 0.29; 1.02) contro il valore complessivo meta-analitico regionale, riportato in tabella 3, pari a 0.30 (90% CrI -0.21% e 0.70%). In figura 9, sono elencate un numero maggiore di aree poiché le centraline che misurano NO_2 sul territorio regionale sono in numero maggiore. Il valore della stima OVERALL di mortalità naturale (tabella 4) è 0.70% (90% CrI 0.20% e 1.18%). Como, Milano, Rho e Sondrio mostrano valori tutti al di sopra del valore di effetto

nullo. La variabilità è discreta, molto ampia per Sondrio e molto contenuta per Milano: qui il valore è pari a 0.72 (90%CI 0.26;1.17).

ii. Ricoveri per patologie cardiache, cerebrovascolari e respiratorie

Nel complesso, sull'intera popolazione, l'innalzamento del livello di PM_{10} di $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ nei tre giorni precedenti (lag 1-3) comporta un *incremento dei ricoveri* per episodi cardio-coronarici pari a 0.14% (90% CrI-0.31; 0.56) (tabella 5). L'incremento dei ricoveri per patologie cerebrovascolari è pari a 0.77% e quello per malattie respiratorie a 0.54%. L'evidenza d'eterogeneità tra le stime area-specifiche è, anche qui, contenuta. L'incremento di ricoveri per malattie *cardiache* è maggiore sotto i 65 anni d'età e nettamente più marcato nella stagione estiva (0.92% contro 0.06% in inverno). L'effetto sui ricoveri per cause *cerebrovascolari* è maggiore nei soggetti di età più avanzata ed è pari a 4.7% nella stagione estiva contro 0.5% in quella invernale. Anche per le malattie *respiratorie* l'innalzamento di $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ produce un incremento di ricoveri maggiore nelle età più avanzate; netto e coerente con le precedenti stime di ricovero l' influenza della stagionalità sull'effetto di PM_{10} : i pochi ricoveri nel corso dell'estate sono quasi esclusivamente associati all'effetto dell'inquinante. Le stime degli effetti dell'innalzamento dei livelli di NO_2 sui *ricoveri* per patologie cardiache, cerebrovascolari e respiratorie (tabella 6) sono più elevate rispetto a quelle per PM_{10} . Un innalzamento di $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ comporta nell'intera popolazione un incremento di 1.14% di ricoveri per patologie cardiache, di 1.20% di ricoveri per patologie cerebrovascolari e di 1.70% per malattie respiratorie. Le età maggiormente colpite sono quelle al di sotto dei 75 anni. Si conferma anche per NO_2 , in modo molto visibile, l'effetto stagionale con incrementi di ricoveri molto più elevati, per lo stesso incremento di inquinante, nella stagione calda rispetto a quella invernale per tutte le patologie considerate.

I *forest-plot* delle figure 10, 11, 12 illustrano le stime (e la loro variabilità) dell'incremento di ricoveri per le diverse cause dovute all'innalzamento di $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ di PM_{10} nelle principali aree provinciali o sub-provinciali incluse nella meta-analisi. Per le cause *cardiache* i valori per l'intera popolazione (OVERALL) riportati in tabella 5 erano pari a 0.14 (-0.31%; 0.56%). Si nota una certa eterogeneità degli effetti tra le diverse zone: escludendo Sondrio (per l'alta variabilità della stima legata alle ridotte dimensioni della popolazione), un incremento dei ricoveri viene notato a Cremona, Lodi, Busto A. e Milano dove l'effetto è di entità moderata (0.17, ICR90% -051; 0.69). Per le cause *cerebrovascolari* la stima complessiva è pari a 0.54% e gli incrementi più visibili si notano a Cremona, Lodi, Milano e Varese. Per le cause *respiratorie* l'innalzamento di $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ dei valori di PM_{10} produce un incremento di ricoveri OVERALL pari a 0.77% sostenuto in particolare da incrementi a Como, Milano, Vigevano, Varese e Busto Arsizio.

Nelle figure 13, 14 e 15 le stime per l'intera popolazione (OVERALL) mostrano un chiaro incremento di ricoveri per ogni innalzamento del livello di NO_2 di $10\mu\text{g}/\text{m}^3$. Ricordiamo i valori già riportati in tabella 6: 1.14% (con variabilità ICR90% 0.51%; 1.83%) per le patologie cardiache, 1.20% (0.53%; 1.81%) per le cerebrovascolari e 1.70% (0.60%; 2.66%) per le respiratorie. Questi valori sono ben riflessi nelle stime ottenute per Milano dove gli incrementi di ricoveri per queste cause hanno valori pressoché sovrapponibili a quelli OVERALL. Vi è una certa variabilità tra le diverse aree, come atteso. Per le cause cardiache è tuttavia chiara la tendenza all'incremento dei ricoveri al crescere dell'esposizione a NO_2 con le uniche eccezioni di Lecco e Varese; particolarmente apprezzabile, oltre che a Milano, è l'incremento a Bergamo. Lodi, Cinisello Balsamo, Legnano e Vigevano. Per le cause cerebrovascolari il quadro è meno omogeneo: si confermano importanti incrementi, oltre che a Milano, a Lodi, Cinisello B., Vigevano, con l'aggiunta di Sesto San Giovanni. L'effetto sui ricoveri respiratori è particolarmente visibile, oltre che a Milano, a Brescia, Como, Cinisello B., Monza, Rho, Busto Arsizio.

Giova qui ricordare che la variabile 'ricovero' può risentire dell'influenza di atteggiamenti personali, di quelli dei medici di medicina generale, oltre che della disponibilità di servizi:

quest'ultimo fattore, però, sembra poter giocare un ruolo molto limitato data la disponibilità di servizi alquanto omogenea nelle zone oggetto d'indagine.

Come verrà ripreso più avanti, le stime di effetto per PM_{10} e per NO_2 non possono essere confrontate direttamente e immediatamente: si tratta in realtà di due misure diverse che diventano confrontabili se si considerano le variazioni percentuali per incremento di una deviazione standard (DS) o intervallo interquartile (IQ). Ad esempio, lo 0.30% d'incremento della mortalità totale per PM_{10} corretto per la DS diventa 0.84; e il corrispondente valore per NO_2 pari a 0.70%, corretto diventa 0.90: la differenza dell'effetto è quindi in realtà molto modesta.

TABELLA 3. STIME DI EFFETTO COMPLESSIVE 2003-2006: MORTALITÀ PER PM₁₀

	Stima complessiva (ICr 90%) Eterogeneità [ICr 90%]	Inverno Stima complessiva (ICr 90%) Eterogeneità [ICr 90%]	Estate Stima complessiva (ICr 90%) Eterogeneità [ICr 90%]
DECESSI PER CAUSE NATURALI (ICD9 <800)	0.30 (-0.21; 0.70) I ² 4.33 (0.11; 28.51)	0.10 (-0.49; 0.54) I ² 6.54 (0.12; 33.80)	2.25 (1.11; 3.28) I ² 1.22 (0.02; 36.28)
DECESSI PER PATOLOGIE CARDIOVASCOLARI (ICD9 ≥390 E ≤459)	0.30 (-0.21; 0.82)	0.10 (-0.42; 0.63)	3.28 (1.45; 5.14)
DECESSI PER PATOLOGIE RESPIRATORIE (ICD9 ≥460 E ≤519)	1.64 (0.56; 2.72)	1.36 (0.27; 2.47)	6.49 (2.43; 10.71)

	Età <65 Stima complessiva (ICr 90%) Eterogeneità [ICr 90%]	Età 65-75 Stima complessiva (ICr 90%) Eterogeneità [ICr 90%]	Età 75+ Stima complessiva (ICr 90%) Eterogeneità [ICr 90%]
DECESSI PER CAUSE NATURALI (ICD9 <800)	-0.33 (-1.22; 0.50) I ² 0.28 (0.01; 12.55)	0.40 (-0.35; 1.10) I ² 0.40 (0.01; 12.26)	0.44 (-0.19; 0.92) I ² 5.94 (0.09; 36.49)
DECESSI PER PATOLOGIE CARDIOVASCOLARI (ICD9 ≥390 E ≤459)	0.004 (-1.83; 1.87)	0.25 (-1.09; 1.60)	0.33 (-0.23; 0.90)
DECESSI PER PATOLOGIE RESPIRATORIE (ICD9 ≥460 E ≤519)	-2.68 (-7.1; 1.98)	-1.35 (-4.32; 1.71)	2.25 (1.09; 3.42)

TABELLA 4. STIME DI EFFETTO COMPLESSIVE 2003-2006: MORTALITÀ PER NO₂

	Stima complessiva (ICr 90%) Eterogeneità [ICr 90%]	Inverno Stima complessiva (ICr 90%) Eterogeneità [ICr 90%]	Estate Stima complessiva (ICr 90%) Eterogeneità [ICr 90%]
DECESSI PER CAUSE NATURALI (ICD9 <800)	0.70 (0.20; 1.18) I ² 0.62 (0.03; 13.84)	0.52 (-0.06; 1.05) I ² 0.56 (0.02; 13.39)	1.15 (0.31; 1.98) I ² 0.25 (0.01; 9.55)
DECESSI PER PATOLOGIE CARDIOVASCOLARI (ICD9 ≥390 E ≤459)	1.12 (0.30; 1.95)	0.54 (-0.37; 1.46)	3.31 (1.57; 5.08)
DECESSI PER PATOLOGIE RESPIRATORIE (ICD9 ≥460 E ≤519)	0.46 (-1.23; 2.18)	0.40 (-1.45; 2.29)	0.71 (-2.96; 4.51)

	Età <65 Stima complessiva (ICr 90%) Eterogeneità [ICr 90%]	Età 65-75 Stima complessiva (ICr 90%) Eterogeneità [ICr 90%]	Età 75+ Stima complessiva (ICr 90%) Eterogeneità [ICr 90%]
DECESSI PER CAUSE NATURALI (ICD9 <800)	1.05 (-0.03; 2.17) I ² 0.23 (0.01; 8.64)	0.72 (-0.23; 1.73) I ² 0.42 (0.01; 15.6)	0.58 (-0.06; 1.15) I ² 0.54 (0.02; 13.61)
DECESSI PER PATOLOGIE CARDIOVASCOLARI (ICD9 ≥390 E ≤459)	-0.37 (-3.22; 2.55)	1.61 (-0.53; 3.79)	1.17 (0.27; 2.08)
DECESSI PER PATOLOGIE RESPIRATORIE (ICD9 ≥460 E ≤519)	2.75 (-4.10; 10.08)	-2.40 (-7.01; 2.44)	0.69 (-1.13; 2.55)

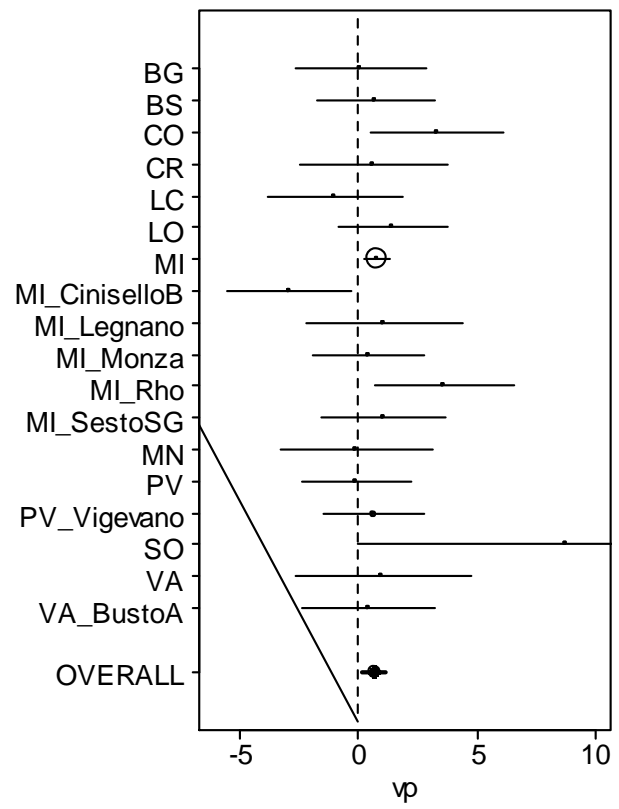
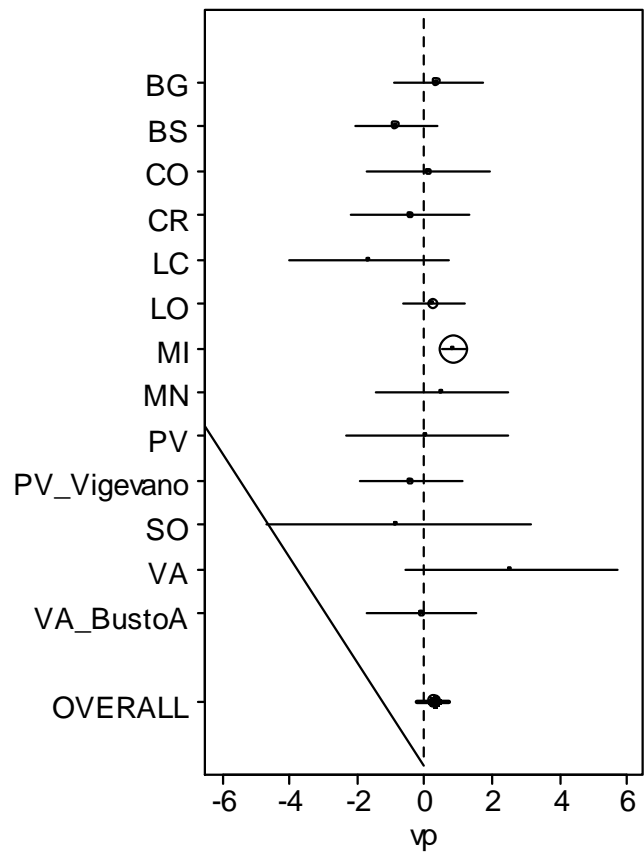


TABELLA 5. STIME DI EFFETTO COMPLESSIVE 2003-2006: RICOVERI PER PM₁₀

	Stima complessiva (ICr 90%) Eterogeneità [ICr 90%]	Inverno Stima complessiva (ICr 90%) Eterogeneità [ICr 90%]	Estate Stima complessiva (ICr 90%) Eterogeneità [ICr 90%]
CARDIACI (ICD9CM ≥390 E ≤429)	0.14 (-0.31; 0.56) I ² 0.56 (0.03; 14.07)	0.06 (-0.41; 0.50) I ² 0.55 (0.03; 15.05)	0.92 (-0.38; 2.19) I ² 0.22 (0.01; 10.47)
CEREBROVASCOLARI (ICD9CM ≥460, ≤469, ≥480, ≤519 E NO 487)	0.77 (0.31; 1.32) I ² 0.69 (0.03; 17.27)	0.54 (0.04; 1.21) I ² 0.99 (0.03; 22.08)	4.71 (2.31; 6.47) I ² 1.80 (0.01; 30.04)
RESPIRATORI (ICD9CM ≥430 E ≤439)	0.54 (-0.14; 1.23) I ² 0.32 (0.01; 10.43)	0.34 (-0.37; 1.07) I ² 0.36 (0.01; 14.66)	2.99 (0.64; 5.21) I ² 0.24 (0.003; 17.91)

	Età <65 Stima complessiva (ICr 90%) Eterogeneità [ICr 90%]	Età 65-75 Stima complessiva (ICr 90%) Eterogeneità [ICr 90%]	Età 75+ Stima complessiva (ICr 90%) Eterogeneità [ICr 90%]
CARDIACI (ICD9CM ≥390 E ≤429)	0.31 (-0.60; 1.25) I ² 0.27 (0.01; 13.27)	0.05 (-0.91; 0.89) I ² 0.38 (0.01; 16.53)	0.10 (-0.48; 0.69) I ² 0.54 (0.02; 17.69)
CEREBROVASCOLARI (ICD9CM ≥460, ≤469, ≥480, ≤519 E NO 487)	0.34 (-0.46; 1.07) I ² 0.41 (0.01; 18.19)	1.12 (0.10; 2.19) I ² 0.20 (0.01; 8.53)	1.39 (0.35; 2.93) I ² 7.68 (0.03; 47.52)
RESPIRATORI (ICD9CM ≥430 E ≤439)	1.17 (-0.58; 3.03) I ² 0.13 (0.002; 10.42)	1.56 (-0.22; 3.03) I ² 0.33 (0.004; 18.12)	-0.05 (-0.92; 0.84) I ² 0.26 (0.01; 10.57)

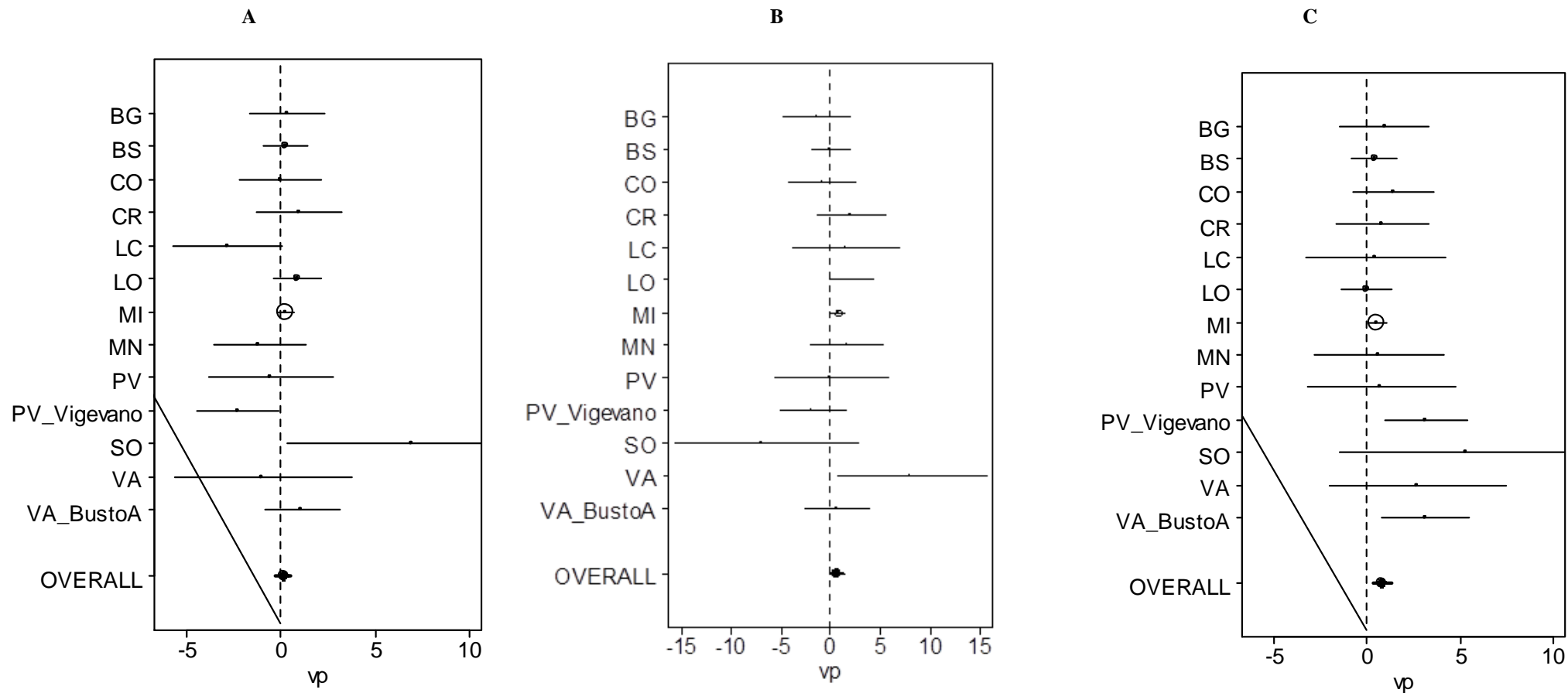


Figure 10, 11 e 12. Forest-plot stime area specifiche e complessiva (overall) di ricovero per eventi cardiaci (A) cerebrovascolari (B) e respiratori (C) per PM₁₀.

TABELLA 6. STIME DI EFFETTO COMPLESSIVE 2003-2006: RICOVERI PER NO₂

	Stima complessiva (ICr 90%) Eterogeneità [ICr 90%]	Inverno Stima complessiva (ICr 90%) Eterogeneità [ICr 90%]	Estate Stima complessiva (ICr 90%) Eterogeneità [ICr 90%]
CARDIACI (ICD9CM ≥390 E ≤429)	1.14 (0.51; 1.83) I ² 0.70 (0.02; 21.06)	1.09 (0.30; 1.99) I ² 1.29 (0.02; 33.89)	1.27 (0.19; 2.32) I ² 0.10 (0.003; 4.01)
CEREBROVASCOLARI (ICD9CM ≥430 E ≤439)	1.20 (0.53; 1.81) I ² 0.28 (0.01; 7.25)	0.41 (-0.32; 1.09) I ² 0.28 (0.01; 7.61)	3.92 (2.65; 5.15) I ² 0.08 (0.002; 3.96)
RESPIRATORI (ICD9CM ≥460, ≤469, ≥480, ≤519 E NO 487)	1.70 (0.60; 2.66) I ² 0.29 (0.01; 11.85)	0.65 (-0.59; 1.76) I ² 0.25 (0.005; 13.52)	4.53 (2.43; 6.34) I ² 0.13 (0.001; 9.93)

	Età <65 Stima complessiva (ICr 90%) Eterogeneità [ICr 90%]	Età 65-75 Stima complessiva (ICr 90%) Eterogeneità [ICr 90%]	Età 75+ Stima complessiva (ICr 90%) Eterogeneità [ICr 90%]
CARDIACI (ICD9CM ≥390 E ≤429)	1.22 (-0.04; 2.56) I ² 0.19 (0.004; 8.55)	1.74 (0.47; 2.97) I ² 0.28 (0.005; 21.61)	0.67 (-0.16; 1.58) I ² 0.42 (0.01; 15.68)
CEREBROVASCOLARI (ICD9CM ≥430 E ≤439)	1.54 (0.08; 2.71) I ² 1.17 (0.01; 29.18)	1.17 (-0.49; 2.63) I ² 0.26 (0.003; 13.67)	0.82 (-0.20; 2.01) I ² 0.33 (0.01; 13.79)
RESPIRATORI (ICD9CM ≥460, ≤469, ≥480, ≤519 E NO 487)	2.95 (-0.34; 5.71) I ² 0.23 (0.001; 24.56)	4.16 (1.89; 6.10) I ² 0.15 (0.002; 12.53)	0.33 (-1.06; 1.59) I ² 0.18 (0.004; 7.62)

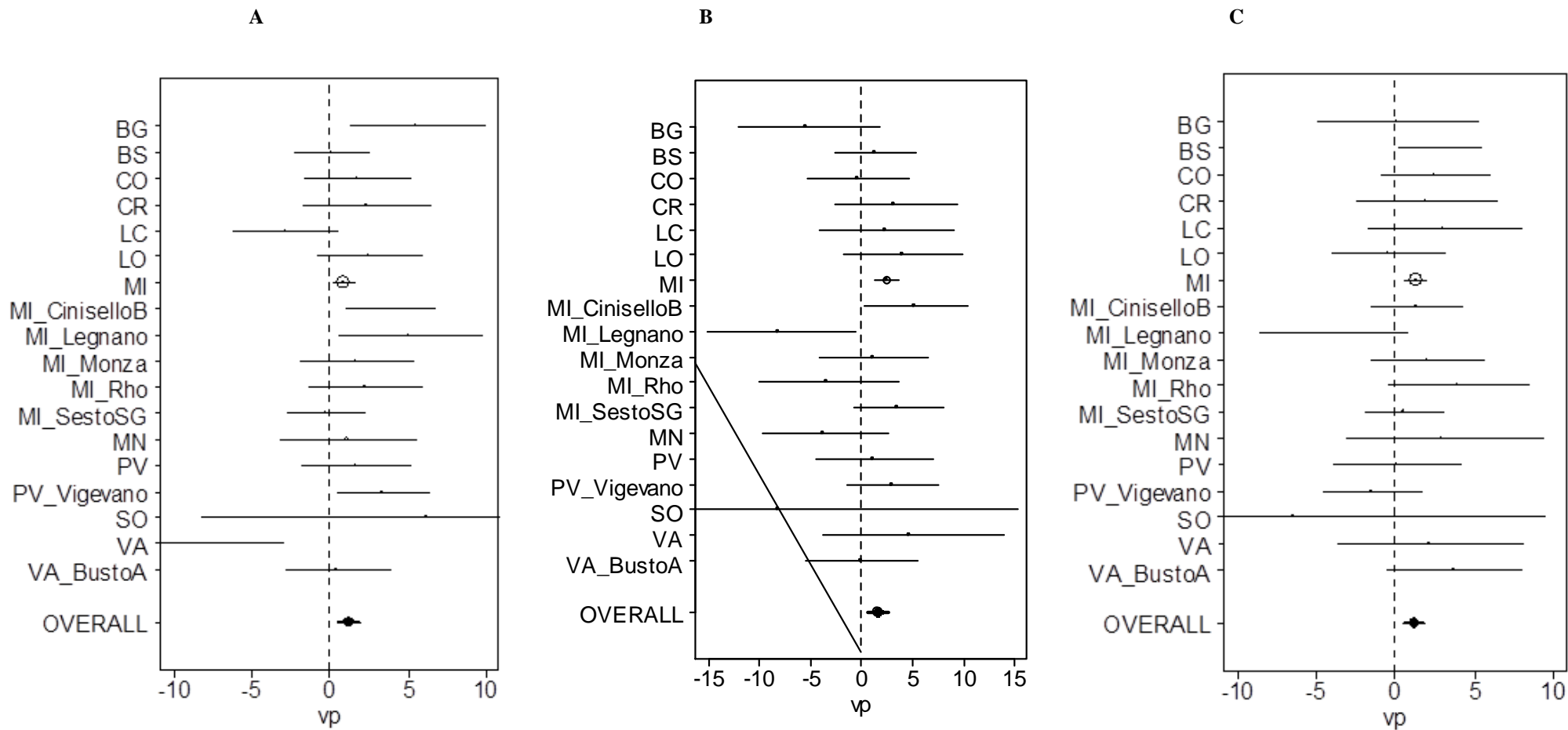


Figure 13, 14 e 15. Forest-plot stime area specifiche e complessiva (overall) di ricovero per eventi cardiaci (A) cerebrovascolari (B) e respiratori (C) per NO_2

7. STIME DI EFFETTO 2003-2006 A POSTERIORI CITTÀ-SPECIFICHE

Tali stime possono essere viste come una sorta di media pesata tra le stime specifiche per area ottenute nella prima fase dell'analisi (e riportate nei *forest-plot*) e la stima di effetto complessiva ottenuta dalla meta-analisi. Si potrebbe dire che la stima specifica di ogni area viene corretta o aggiustata "spostandola", proporzionalmente alla sua varianza, verso la stima di effetto globale dell'area più ampia della quale essa è parte. Tali stime, definite 'shrunk', sono più stabili delle stime specifiche per area perché utilizzano l'informazione complessiva; al tempo stesso, a differenza della stima di effetto meta-analitica, rispecchiano l'eterogeneità tra aree.

Nelle tabelle che seguono vengono riportate le stime *a posteriori* città-specifiche, con i rispettivi intervalli di credibilità al 50% e al 90%, per la variazione percentuale dell'evento considerato (mortalità e ricoveri) associata ad un incremento di $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ della concentrazione di PM_{10} e NO_2 .

Per le città più piccole, tuttavia, non è stato possibile ottenere stime di prima fase affidabili per la mortalità specifica per causa, per problemi di convergenza dell'algoritmo di stima in presenza di un numero esiguo di eventi giornalieri (il venticinque per cento dei 1.546 comuni aveva meno di 1000 abitanti).

In questo caso si è quindi optato per un'unica analisi di tipo case-crossover sui dati di tutte le aree. Tale stima globale meta-analitica della variazione percentuale di mortalità per cause naturali, per cause cardiovascolari e per cause respiratorie, già precedentemente presentata, viene riportata in calce alla tabelle di mortalità per comodità di lettura e interpretazione.

i. Mortalità per PM_{10}

La tabella 7 riporta i valori delle stime area-specifiche *a posteriori* della variazione percentuale (VP%) della mortalità per cause naturali conseguenti a un incremento di $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ di PM_{10} . Variazioni incrementali della mortalità per cause naturali si osservano, in particolare, per Bergamo, Lodi, Mantova, Varese e soprattutto per Milano con un valore ($\text{vp}=0.63\%$) più che doppio rispetto a quello regionale complessivo ($\text{vp}=0.30\%$). Tra le stime complessive di mortalità, quella dei decessi per cause respiratorie è, come abbiamo visto, la più elevata.

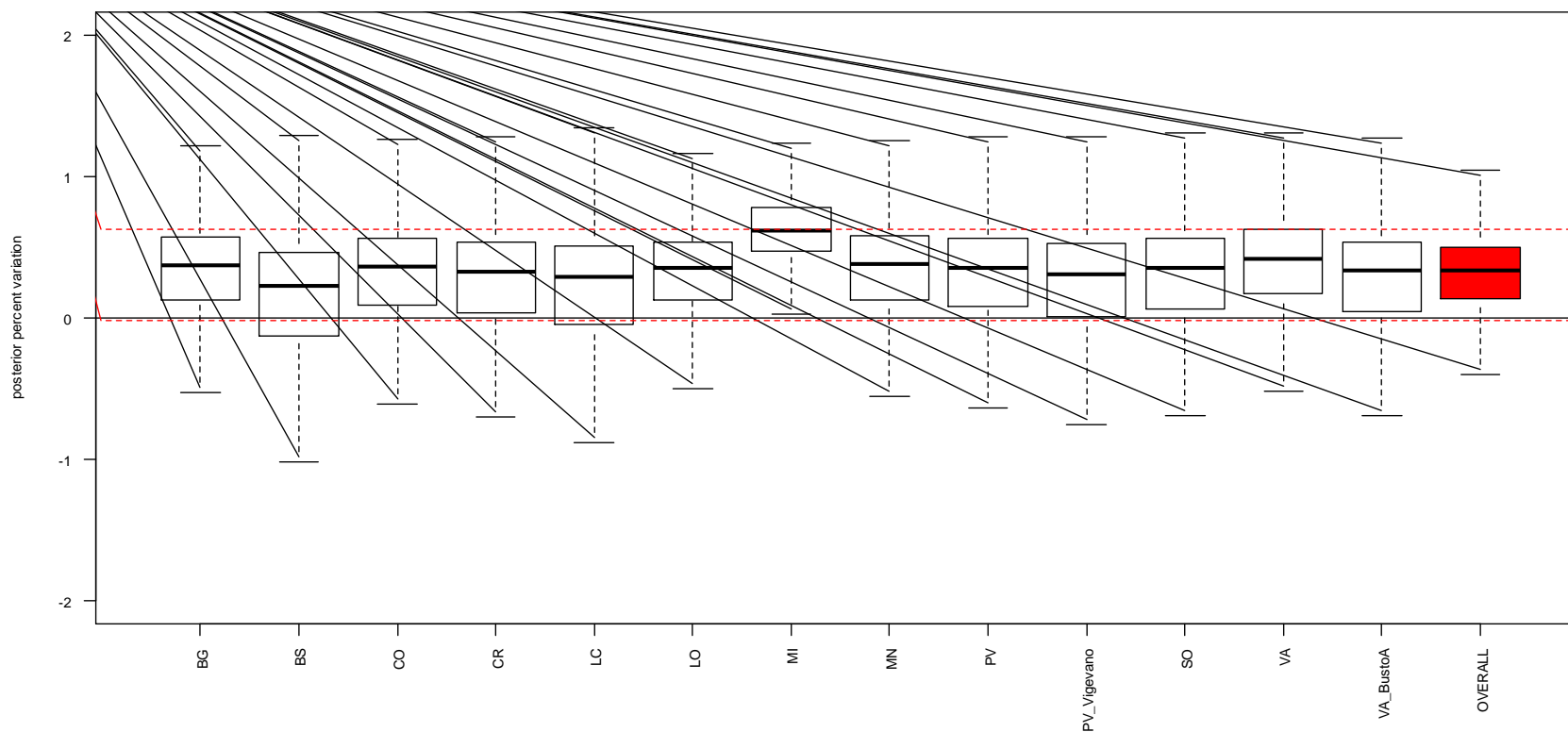
La figura 16 riporta *box-plot* multipli della distribuzione *a posteriori* dell'effetto del PM_{10} specifico per area e *box-plot* della stima complessiva *a posteriori* per tutta la Lombardia (in rosso), periodo 2003-2006. Si tratta, in altri termini, dei valori *a posteriori*, corretti per la stima complessiva meta-analitica, delle stime area-specifiche precedentemente riportate nei *forest-plot*. Le linee tratteggiate in rosso indicano l'intervallo simmetrico pari a due deviazioni standard attorno alla media *a posteriori* complessiva. Gli effetti sono espressi in termini di variazione percentuale della mortalità per cause naturali associata ad un incremento di $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ della concentrazione di PM_{10} .

Osservando i *box-plot* si può notare che i valori area specifici *a posteriori* hanno una ridotta eterogeneità, con un'eccezione, però, cioè Milano (MI) il cui valore si colloca al limite superiore dell'intervallo di due deviazioni standard attorno alla media *a posteriori* complessiva (in rosso).

Tabella 7. Stime a posteriori città specifiche di mortalità per cause naturali da PM₁₀

	VP %	Icr 50%	Icr 90%
BERGAMO	0.33	0.13 ; 0.57	-0.34 ; 0.88
BRESCIA	0.13	-0.13 ; 0.46	-0.77 ; 0.71
COMO	0.30	0.09 ; 0.56	-0.48 ; 0.88
CREMONA	0.25	0.04 ; 0.53	-0.61 ; 0.83
LECCO	0.18	-0.05 ; 0.51	-0.79 ; 0.79
LODI	0.32	0.12 ; 0.54	-0.3 ; 0.8
MILANO	0.63	0.48 ; 0.78	0.28 ; 1.02
MANTOVA	0.34	0.13 ; 0.58	-0.42 ; 0.93
PAVIA	0.29	0.08 ; 0.56	-0.53 ; 0.9
VIGEVANO	0.24	0.01 ; 0.52	-0.59 ; 0.81
SONDRIO	0.28	0.06 ; 0.56	-0.61 ; 0.91
VARESE	0.40	0.17 ; 0.63	-0.36 ; 1.09
BUSTO ARSIZIO	0.27	0.05 ; 0.54	-0.51 ; 0.85
Stime a posteriori complessive per mortalità per PM₁₀			
	VP %	Icr 50%	Icr 90%
CAUSE NATURALI	0.30	0.14 ; 0.50	-0.21 ; 0.70
CAUSE CARDIOVASCOLARI	0.30	0.09 ; 0.51	-0.21 ; 0.82
CAUSE RESPIRATORIE	1.64	1.20 ; 2.08	0.56 ; 2.72

Figura 16. Box plot multipli della distribuzione a posteriori dell'effetto del PM_{10} specifico per area e box plot della stima complessiva a posteriori per tutta la Lombardia (in rosso), periodo 2003-2006. Le linee tratteggiate in rosso indicano l'intervallo simmetrico pari a 2 deviazioni standard attorno alla media a posteriori complessiva. Gli effetti sono espressi in termini di variazione percentuale dalla **mortalità per cause naturali** associata ad un incremento di $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ della concentrazione di PM_{10} . Si può notare che i valori area specifici a posteriori hanno una ridotta eterogeneità con un'eccezione, però, cioè Milano il cui valore si colloca al limite superiore dell'intervallo di due deviazioni standard attorno alla media a posteriori complessiva (in rosso).



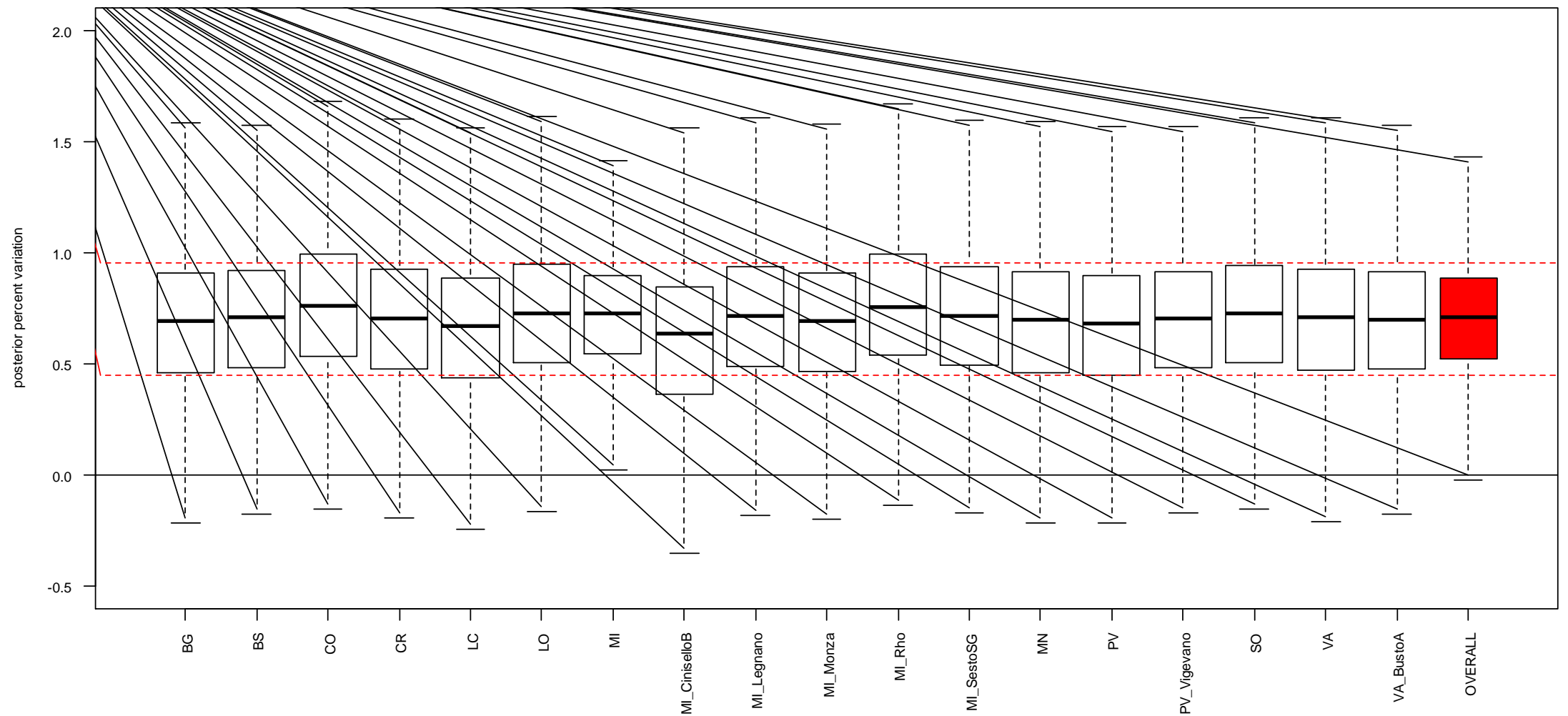
ii. *Mortalità per NO₂*

La tabella 8 riporta le stime *a posteriori* città-specifiche e intervalli di credibilità al 50% e al 90% per la variazione percentuale della mortalità per cause naturali associata ad un incremento di 10µg/m³ della concentrazione di NO₂. Nelle ultime righe è riportata la stima globale meta-analitica della variazione percentuale per la mortalità naturale, per cause cardiovascolari e per cause respiratorie con gli intervalli di credibilità al 50% e al 90%.

Tabella 8. Stime <i>a posteriori</i> città specifiche per mortalità per NO₂			
	VP %	Icr 50%	Icr 90%
BERGAMO	0.68	0.45 ; 0.92	0.00 ; 1.31
BRESCIA	0.70	0.48 ; 0.93	0.04 ; 1.35
COMO	0.80	0.53 ; 1.00	0.15 ; 1.57
CREMONA	0.70	0.48 ; 0.93	0.05 ; 1.36
LECCO	0.64	0.43 ; 0.89	-0.09 ; 1.26
LODI	0.74	0.50 ; 0.95	0.11 ; 1.40
MILANO	0.72	0.54 ; 0.90	0.26 ; 1.17
CINISELLO	0.56	0.36 ; 0.85	-0.34 ; 1.18
LEGNANO	0.72	0.49 ; 0.94	0.06 ; 1.37
MONZA	0.68	0.46 ; 0.92	0.01 ; 1.31
RHO	0.81	0.54 ; 1.00	0.16 ; 1.61
SESTO SG	0.72	0.49 ; 0.94	0.07 ; 1.38
MANTOVA	0.68	0.46 ; 0.92	-0.01 ; 1.32
PAVIA	0.66	0.44 ; 0.90	-0.03 ; 1.28
VIGEVANO	0.70	0.48 ; 0.92	0.05 ; 1.32
SONDRIO	0.74	0.50 ; 0.96	0.08 ; 1.47
VARESE	0.70	0.47 ; 0.93	0.01 ; 1.37
BUSTO ARSIZIO	0.69	0.47 ; 0.92	0.02 ; 1.33
Stime <i>a posteriori</i> complessive per mortalità per NO₂			
	VP %	Icr 50%	Icr 90%
CAUSE NATURALI	0.70	0.52 ; 0.89	0.20 ; 1.18
CAUSE CARDIOVASCOLARI	1.12	0.78 ; 1.45	0.30 ; 1.95
CAUSE RESPIRATORIE	0.46	-0.23 ; 1.16	-1.23 ; 2.18

Le stime *a posteriori* di mortalità per NO₂ hanno, mediamente, valori più elevati di quelli per PM₁₀. I valori di variazione percentuale sono piuttosto omogenei tra le aree, con una variazione che oscilla all'incirca tra 0.65% e 0.80%. Nessuna delle aree mostra valori di VP% che tendono a valicare l'intervallo di due deviazioni standard intorno alla media dell'intera regione, come illustra il box-plot della pagina seguente. Tra le stime *a posteriori* complessive, più elevata è risultata quella per cause cardiovascolari. La figura 17 riporta i box-plot di queste stime mettendone in evidenza la contenuta eterogeneità tra aree.

Figura 17. Box-plot multipli della distribuzione a posteriori dell'effetto di NO_2 specifico per area e box-plot della stima complessiva a posteriori per tutta la Lombardia (in rosso), periodo 2003-2006. Le linee tratteggiate in rosso indicano l'intervallo simmetrico pari a 2 deviazioni standard attorno alla media a posteriori complessiva. Gli effetti sono espressi in termini di variazione percentuale dalla mortalità per cause naturali associata ad un incremento di $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ della concentrazione di NO_2 .



iii. Ricoveri per PM_{10} .

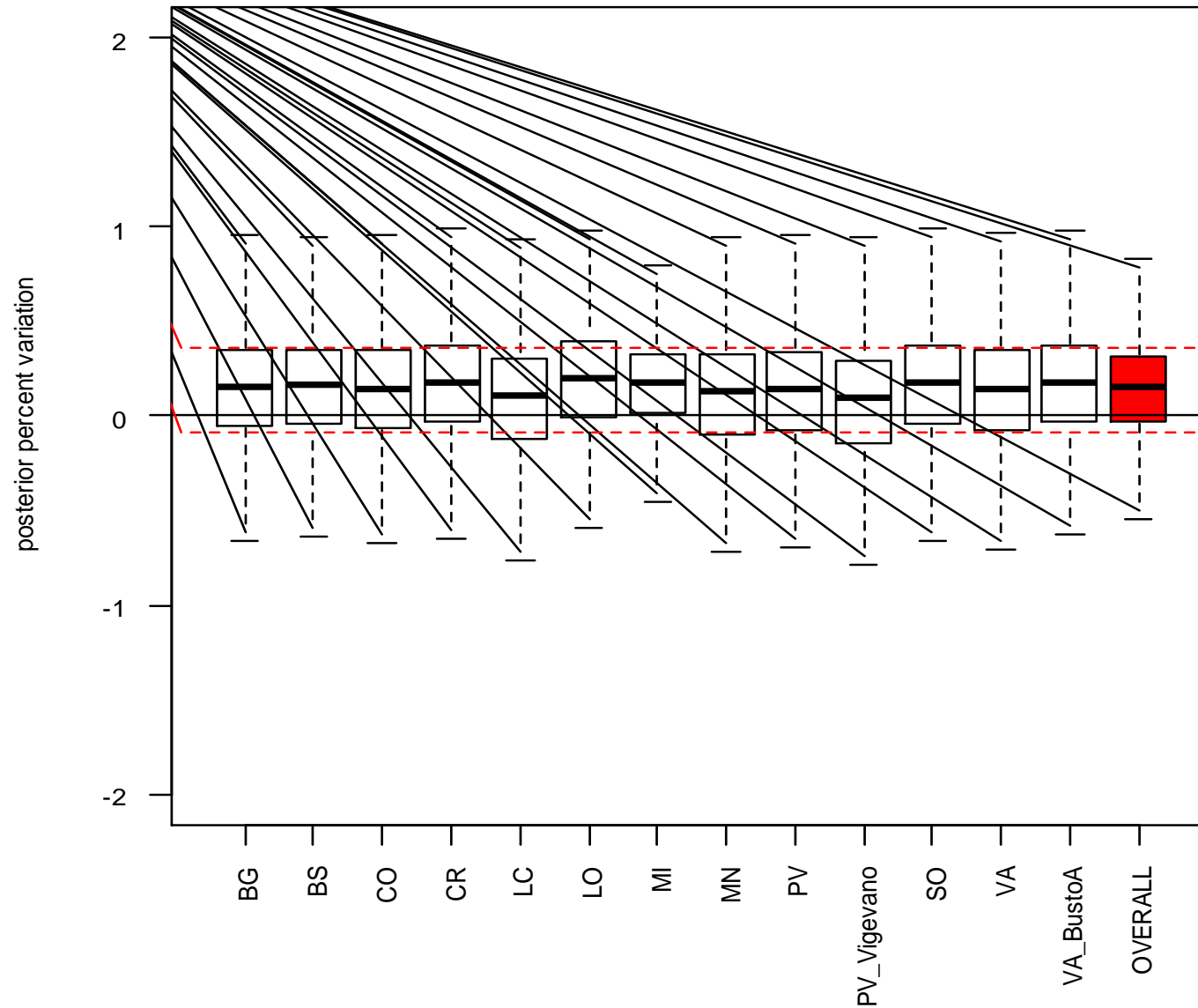
Cause cardiache

La tabella riporta le stime a posteriori città-specifiche e intervalli di credibilità al 50% e al 90% per la variazione percentuale dei ricoveri ospedalieri non programmati per cause cardiache associata ad un incremento di $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ della concentrazione di PM_{10} . Nell'ultima riga è riportata la stima globale meta-analitica della variazione percentuale con intervalli di credibilità al 50% e al 90%.

Tabella 9. Stime a posteriori città specifiche per ricoveri per malattie cardiache per PM_{10}			
	VP %	Icr 50%	Icr 90%
BERGAMO	0.15	-0.06 ; 0.35	-0.41 ; 0.70
BRESCIA	0.15	-0.05 ; 0.35	-0.36 ; 0.66
COMO	0.14	-0.06 ; 0.35	-0.46 ; 0.69
CREMONA	0.18	-0.03 ; 0.37	-0.39 ; 0.80
LECCO	0.05	-0.12 ; 0.30	-0.67 ; 0.60
LODI	0.21	0.00 ; 0.39	-0.29 ; 0.81
MILANO	0.17	0.01 ; 0.33	-0.23 ; 0.55
MANTOVA	0.09	-0.09 ; 0.32	-0.56 ; 0.63
PAVIA	0.12	-0.08 ; 0.34	-0.51 ; 0.69
VIGEVANO	0.03	-0.14 ; 0.29	-0.71 ; 0.58
SONDRIO	0.19	-0.04 ; 0.37	-0.41 ; 0.81
VARESE	0.12	-0.08 ; 0.34	-0.53 ; 0.69
BUSTO ARSIZIO	0.19	-0.03 ; 0.38	-0.36 ; 0.79
Stime a posteriori complessive ricoveri per cause cardiache per PM_{10}			
	VP %	Icr 50%	Icr 90%
CAUSE CARDIACHE	0.14	-0.03 ; 0.31	-0.31 ; 0.56

I ricoveri per patologie cardiache mostrano nelle stime a posteriori città-specifiche una generale omogeneità dell'effetto dell'incremento della concentrazione di PM_{10} , con valori di VP% che oscillano all'incirca tra 0.10% e 0.20%. Vigevano e Lecco soltanto mostrano valori sensibilmente inferiori a questo range. L'esame del box-plot della pagina seguente ([figura 18](#)) conferma visivamente per i ricoveri da malattie cardiache la contenuta eterogeneità delle stime a posteriori città specifiche.

Figura 18. Box plot multipli della distribuzione a posteriori dell'effetto del PM_{10} specifico per area e box plot della stima complessiva a posteriori per tutta la Lombardia (in rosso), periodo 2003-2006. Le linee tratteggiate in rosso indicano l'intervallo simmetrico pari a 2 deviazioni standard attorno alla media a posteriori complessiva. Gli effetti sono espressi in termini di variazione percentuale dei ricoveri ospedalieri non programmati per cause cardiache associata ad un incremento di $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ della concentrazione di PM_{10} .



Cause cerebrovascolari

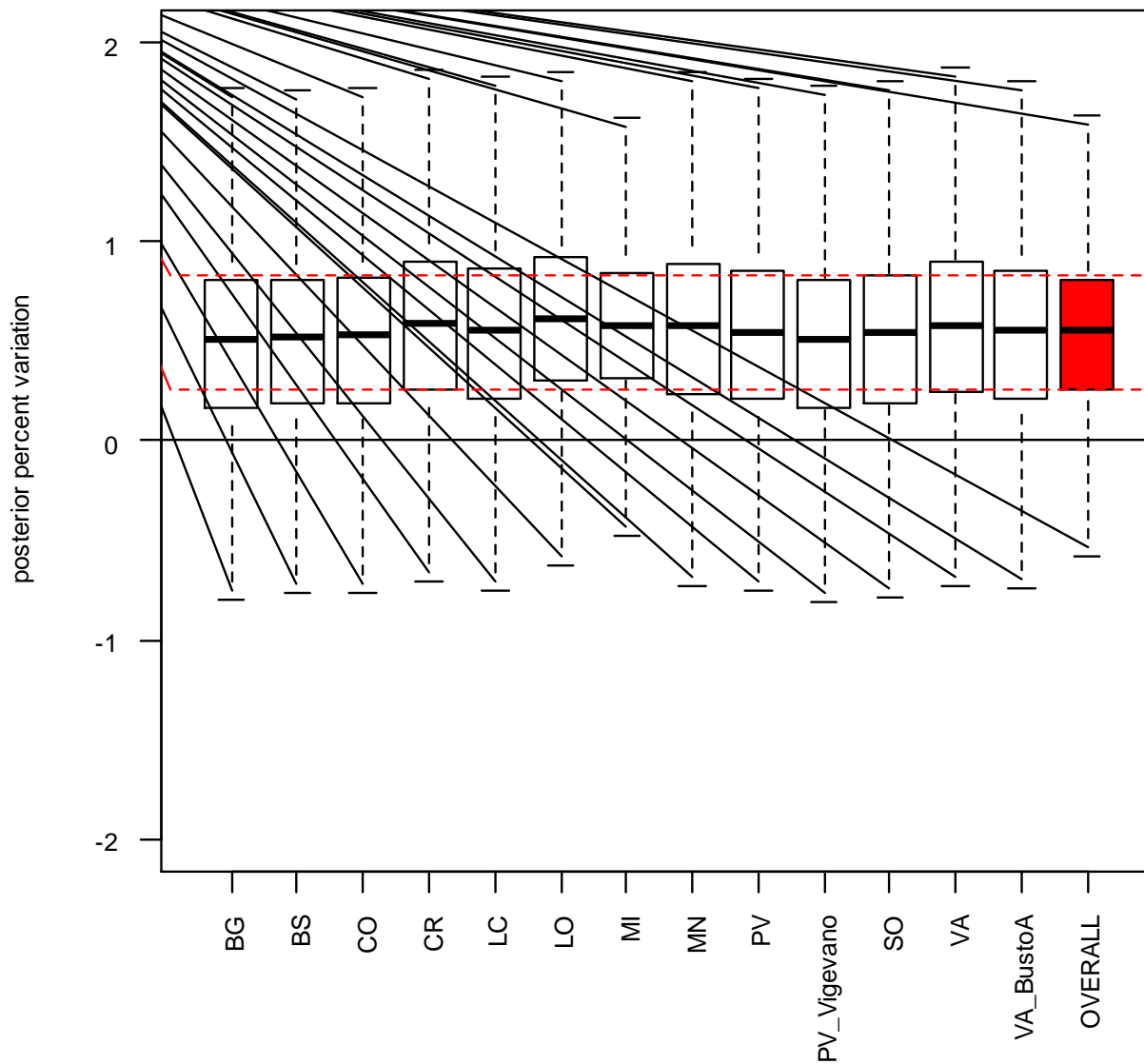
La tabella 10 riporta le stime a posteriori città-specifiche e intervalli di credibilità al 50% e al 90% per la variazione percentuale dei ricoveri ospedalieri non programmati per cause cerebrovascolari associata ad un incremento di $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ della concentrazione di PM_{10} . Nell'ultima riga è riportata la stima globale meta-analitica della variazione percentuale con intervalli di credibilità al 50% e al 90%.

Tabella 10. Stime a posteriori città specifiche ricoveri per cause cerebrovascolari per PM_{10}			
	VP %	Icr 50%	Icr 90%
BERGAMO	0.47	0.17 ; 0.81	-0.44 ; 1.28
BRESCIA	0.49	0.18 ; 0.81	-0.33 ; 1.27
COMO	0.50	0.19 ; 0.82	-0.38 ; 1.33
CREMONA	0.61	0.25 ; 0.90	-0.23 ; 1.51
LECCO	0.55	0.21 ; 0.86	-0.31 ; 1.43
LODI	0.64	0.30 ; 0.92	-0.12 ; 1.55
MILANO	0.58	0.31 ; 0.84	-0.06 ; 1.23
MANTOVA	0.57	0.24 ; 0.88	-0.26 ; 1.44
PAVIA	0.53	0.21 ; 0.85	-0.36 ; 1.39
VIGEVANO	0.46	0.16 ; 0.81	-0.47 ; 1.28
SONDRIO	0.50	0.18 ; 0.83	-0.41 ; 1.37
VARESE	0.61	0.25 ; 0.90	-0.24 ; 1.56
BUSTO ARSIZIO	0.54	0.21 ; 0.85	-0.29 ; 1.38
Stime a posteriori complessive ricoveri per cause cerebrovascolari per PM_{10}			
	VP %	Icr 50%	Icr 90%
CAUSE CEREBROVASCOLARI	0.54	0.25 ; 0.81	-0.14 ; 1.23

La stima complessiva di VP% di ricoveri per cause cerebrovascolari a seguito d'incremento di PM_{10} pari a $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ ha dato un valore di 0.54%. I valori delle stime a posteriori area-specifiche hanno valori oscillanti tra 0.46% e 0.64%. I più elevati sono a Cremona, Lodi, Varese.

Come mostra il box-plot della pagina seguente, l'eterogeneità delle stime è contenuta. I tratti in grassetto che rappresentano i valori centrali della stima sono pressoché allineati.

Figura 19. Box plot multipli della distribuzione a posteriori dell'effetto del PM_{10} specifico per area e box plot della stima complessiva a posteriori per tutta la Lombardia (in rosso), periodo 2003-2006. Le linee tratteggiate in rosso indicano l'intervallo simmetrico pari a 2 deviazioni standard attorno alla media a posteriori complessiva. Gli effetti sono espressi in termini di variazione percentuale dei ricoveri ospedalieri non programmati per cause cerebrovascolari associata ad un incremento di $10 \mu g/m^3$ della concentrazione di PM_{10} .



Cause respiratorie

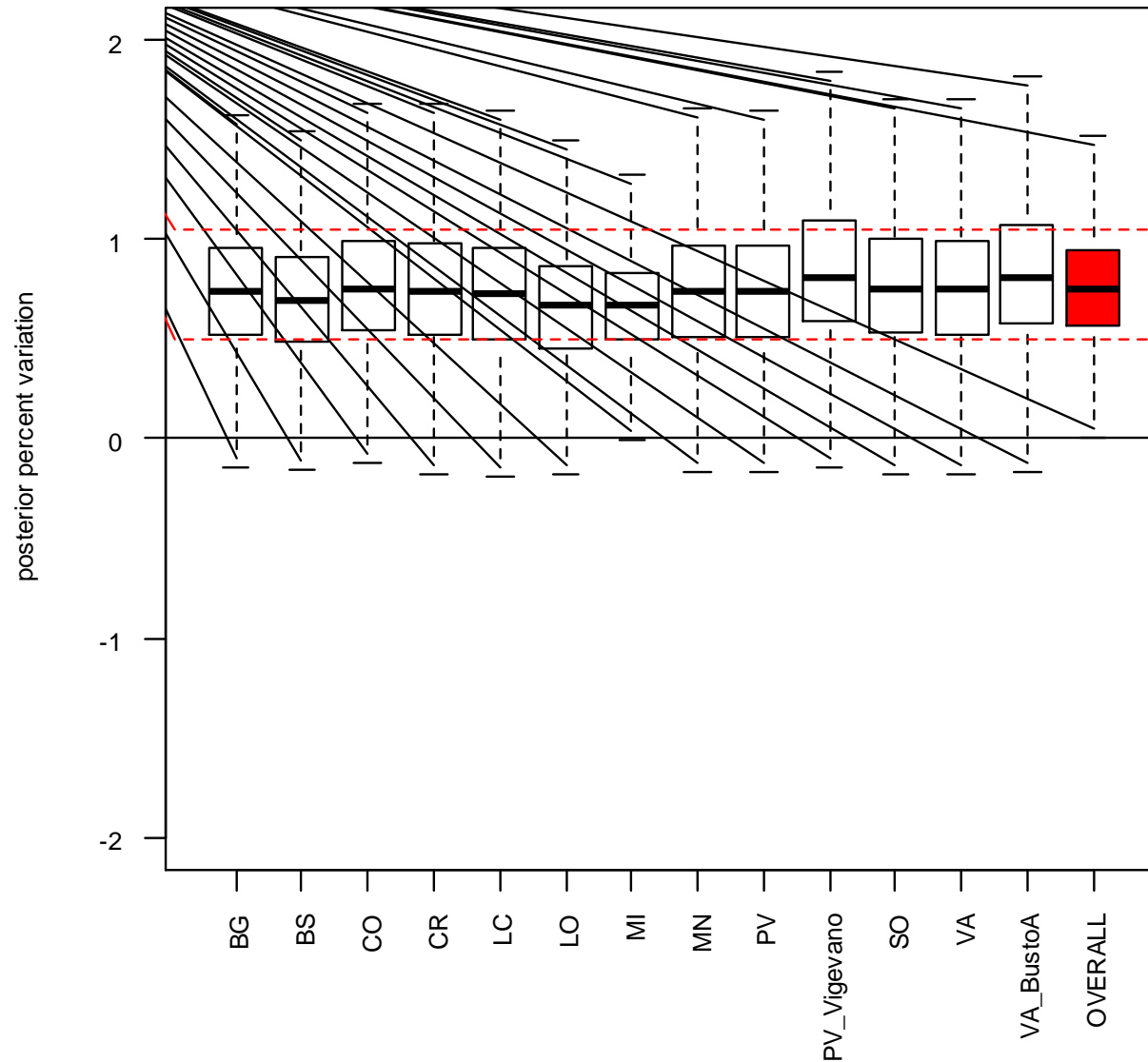
La tabella riporta stime a posteriori città-specifiche e intervalli di credibilità al 50% e al 90% per la variazione percentuale dei ricoveri ospedalieri non programmati per cause respiratorie associata ad un incremento di $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ della concentrazione di PM_{10} . Nell'ultima riga è riportata la stima globale meta-analitica della variazione percentuale con intervalli di credibilità al 50% e al 90%.

Tabella 11. Stime a posteriori città specifiche ricoveri per cause respiratorie per PM_{10}			
	VP %	Icr 50%	Icr 90%
BERGAMO	0.77	0.52 ; 0.96	0.16 ; 1.52
BRESCIA	0.70	0.48 ; 0.91	0.13 ; 1.26
COMO	0.81	0.54 ; 1.00	0.20 ; 1.63
CREMONA	0.77	0.52 ; 0.98	0.14 ; 1.55
LECCO	0.75	0.50 ; 0.96	0.10 ; 1.54
LODI	0.65	0.45 ; 0.87	0.02 ; 1.22
MILANO	0.66	0.49 ; 0.83	0.24 ; 1.06
MANTOVA	0.76	0.51 ; 0.97	0.12 ; 1.54
PAVIA	0.77	0.51 ; 0.97	0.11 ; 1.55
VIGEVANO	0.92	0.59 ; 1.09	0.29 ; 2.03
SONDRIO	0.81	0.53 ; 1.00	0.17 ; 1.73
VARESE	0.80	0.52 ; 0.99	0.16 ; 1.68
BUSTO ARSIZIO	0.90	0.58 ; 1.08	0.27 ; 1.98
Stime a posteriori complessive ricoveri per cause respiratorie per PM_{10}			
	VP %	Icr 50%	Icr 90%
CAUSE RESPIRATORIE	0.77	0.57 ; 0.95	0.31 ; 1.32

La stima globale meta-analitica della variazione percentuale dei ricoveri per cause respiratorie associata a un incremento di $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ della concentrazione di PM_{10} è pari a 0.77%. Le stime a posteriori area-specifiche assumono valori che variano da 0.65% (Lodi e Milano) a 0.90% e oltre (Busto Arsizio e Vigevano).

Il pattern dei valori riportati in tabella è ben riconoscibile nel grafico dei box-plot della pagina seguente ([figura 20](#)).

Figura 20. Box-plot multipli della distribuzione a posteriori dell'effetto del PM_{10} specifico per area e box-plot della stima complessiva a posteriori per tutta la Lombardia (in rosso), periodo 2003-2006. Le linee tratteggiate in rosso indicano l'intervallo simmetrico pari a 2 deviazioni standard attorno alla media a posteriori complessiva. Gli effetti sono espressi in termini di variazione percentuale dei ricoveri ospedalieri non programmati per cause respiratorie associate ad un incremento di $10\mu g/m^3$ della concentrazione di PM_{10} .



iv. Ricoveri per NO₂.

Cause cardiache

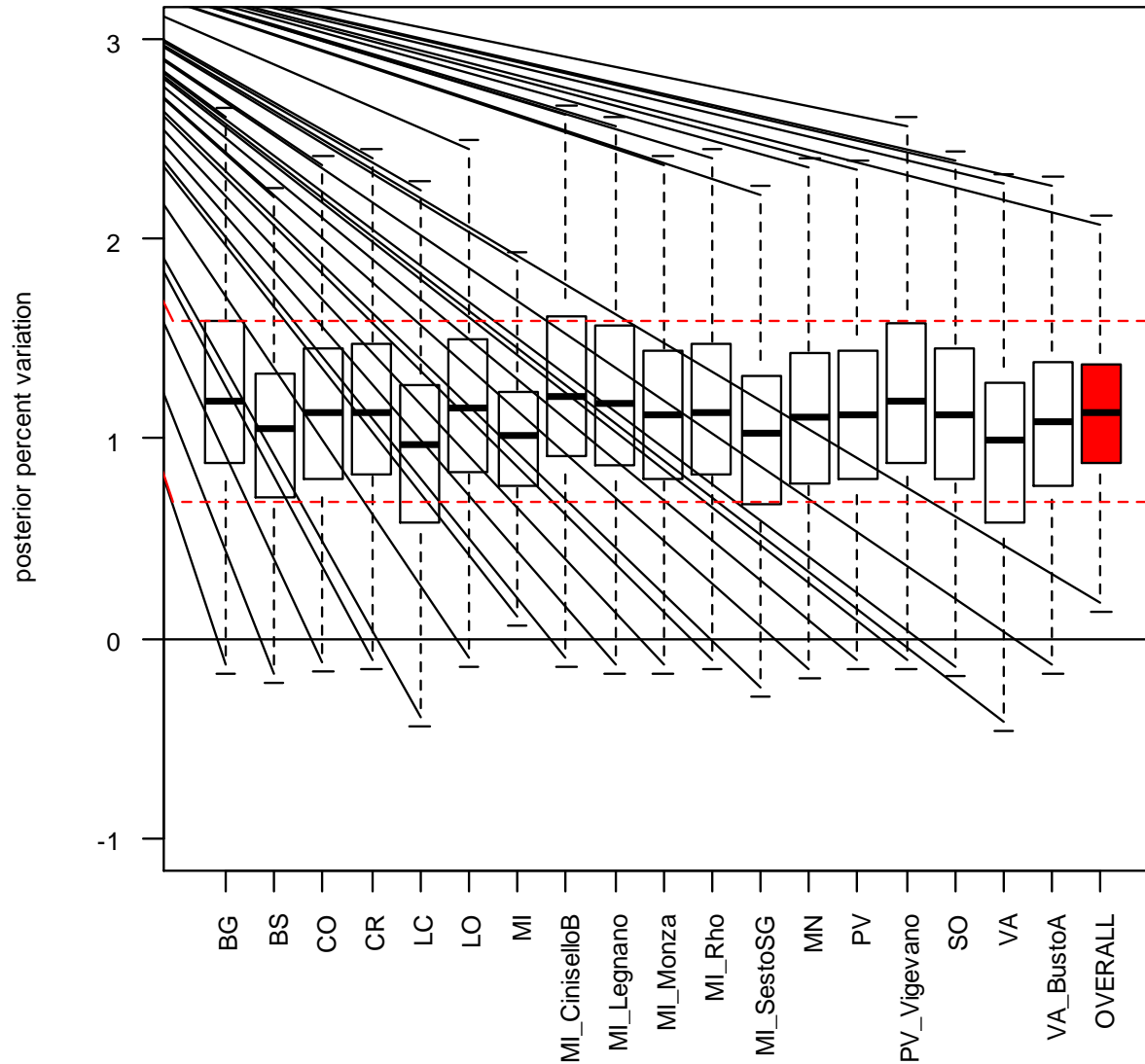
La tabella 12 riporta le stime a posteriori città-specifiche e intervalli di credibilità al 50% e al 90% per la variazione percentuale dei ricoveri ospedalieri non programmati per cause cardiache associata ad un incremento di 10µg/m³ della concentrazione di NO₂. Nell'ultima riga è riportata la stima globale meta-analitica della variazione percentuale con intervalli di credibilità al 50% e al 90%.

Tabella 12. Stime a posteriori città specifiche ricoveri per cause cardiache per NO₂			
	VP %	Icr 50%	Icr 90%
BERGAMO	1.37	0.89 ; 1.59	0.39 ; 3.04
BRESCIA	1.00	0.71 ; 1.33	-0.05 ; 1.88
COMO	1.17	0.81 ; 1.44	0.23 ; 2.33
CREMONA	1.20	0.82 ; 1.46	0.27 ; 2.48
LECCO	0.83	0.58 ; 1.26	-0.64 ; 1.74
LODI	1.23	0.84 ; 1.49	0.33 ; 2.49
MILANO	0.99	0.76 ; 1.23	0.38 ; 1.55
CINISELLO	1.38	0.92 ; 1.63	0.46 ; 2.97
LEGNANO	1.33	0.87 ; 1.57	0.38 ; 2.87
MONZA	1.15	0.80 ; 1.43	0.21 ; 2.30
RHO	1.20	0.82 ; 1.47	0.28 ; 2.47
SESTO SG	0.96	0.68 ; 1.31	-0.19 ; 1.84
MANTOVA	1.13	0.78 ; 1.42	0.15 ; 2.31
PAVIA	1.16	0.81 ; 1.43	0.22 ; 2.33
VIGEVANO	1.32	0.89 ; 1.57	0.42 ; 2.73
SONDRIO	1.17	0.79 ; 1.44	0.17 ; 2.53
VARESE	0.80	0.59 ; 1.28	-0.87 ; 1.80
BUSTO ARSIZIO	1.07	0.76 ; 1.38	0.07 ; 2.08
Stime a posteriori complessive per ricoveri per cause cardiache per NO₂			
	VP %	Icr 50%	Icr 90%
CAUSE CARDIACHE	1.14	0.87 ; 1.37	0.51 ; 1.83

La stima globale meta-analitica della variazione percentuale dei ricoveri per cause respiratorie associata a un incremento di 10µg/m³ della concentrazione di NO₂ è pari a 1.14% mentre le stime area-specifiche oscillano da 0.80% circa (Lecco e Varese) a oltre 1.30% (Bergamo, Cinisello Balsamo, Legnano, Vigevano).

Esaminando il grafico dei box-plot delle stime in figura 21 si può constatare che nessuna delle stime a posteriori area-specifiche si pone al di fuori dell'intervallo pari a 2 deviazioni standard attorno alla media a posteriori complessiva. Si può, nel contempo, apprezzare la discreta eterogeneità delle stime la cui variazione oscilla in tabella tra 0.80 (Varese) e 1.38 (Cinisello).

Figura 21. Box plot multipli della distribuzione a posteriori dell'effetto del NO₂ specifico per area e box plot della stima complessiva a posteriori per tutta la Lombardia (in rosso), periodo 2003-2006. Le linee tratteggiate in rosso indicano l'intervallo simmetrico pari a 2 deviazioni standard attorno alla media a posteriori complessiva. Gli effetti sono espressi in termini di variazione percentuale dei ricoveri ospedalieri non programmati per cause cardiache associata ad un incremento di 10 µg/m³ della concentrazione di NO₂.



Cause cerebrovascolari

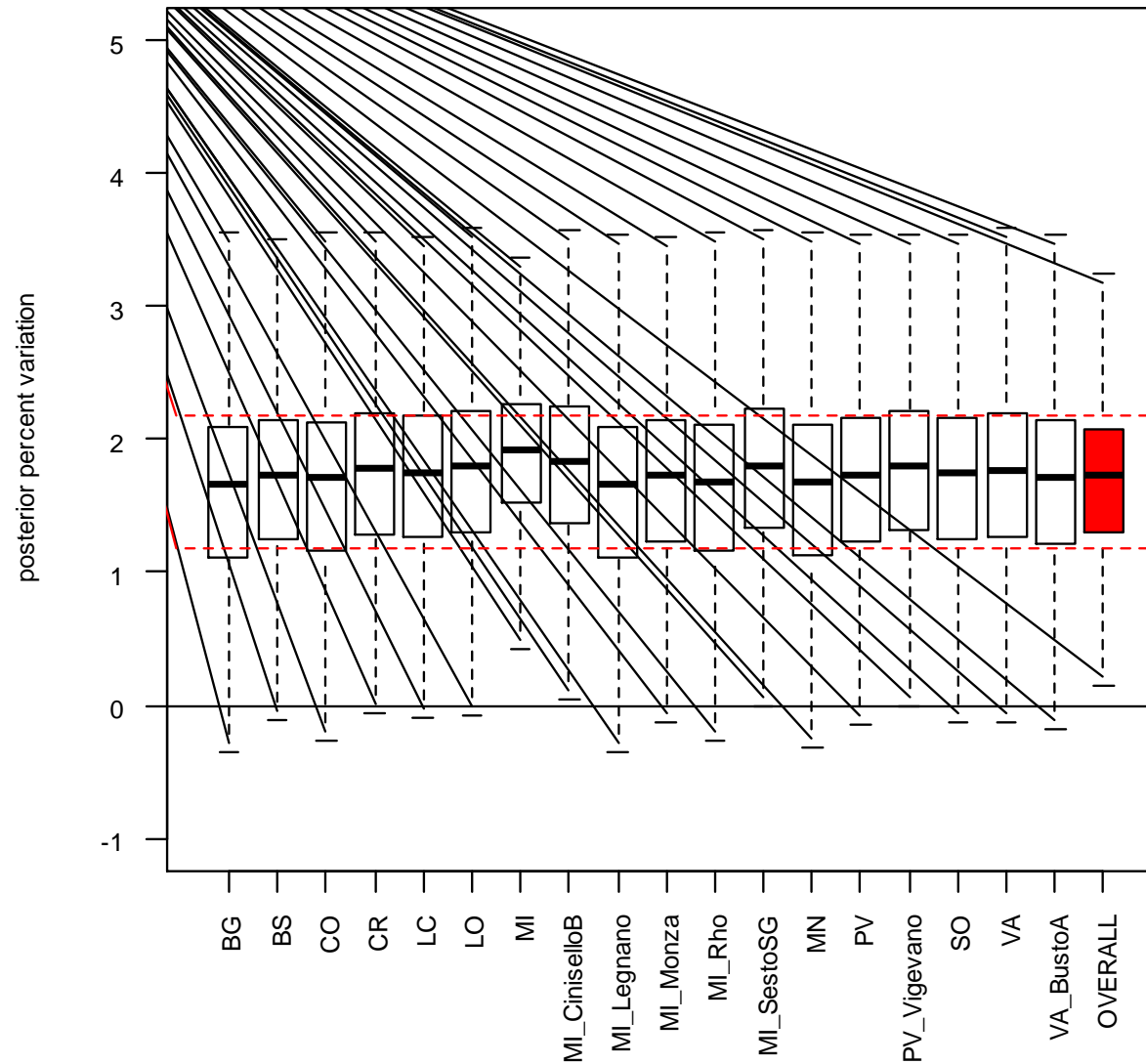
La tabella 13 riporta le stime a posteriori città-specifiche e intervalli di credibilità al 50% e al 90% per la variazione percentuale dei ricoveri ospedalieri non programmati per cause cerebrovascolari associata ad un incremento di $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ della concentrazione di NO_2 . Nell'ultima riga è riportata la stima globale meta-analitica della variazione percentuale con intervalli di credibilità al 50% e al 90%.

Tabella 13. Stime a posteriori città specifiche ricoveri per cause cerebrovascolari per NO_2			
	VP %	Icr 50%	Icr 90%
BERGAMO	1.52	1.16 ; 2.12	-0.39 ; 2.79
BRESCIA	1.69	1.28 ; 2.17	0.20 ; 2.87
COMO	1.61	1.22 ; 2.14	-0.06 ; 2.82
CREMONA	1.77	1.32 ; 2.23	0.37 ; 3.04
LECCO	1.73	1.30 ; 2.19	0.27 ; 2.96
LODI	1.79	1.33 ; 2.24	0.43 ; 3.06
MILANO	1.93	1.55 ; 2.28	1.02 ; 2.87
CINISELLO	1.88	1.40 ; 2.28	0.60 ; 3.26
LEGNANO	1.49	1.15 ; 2.10	-0.48 ; 2.75
MONZA	1.67	1.27 ; 2.18	0.13 ; 2.90
RHO	1.57	1.19 ; 2.14	-0.21 ; 2.81
SESTO SG	1.83	1.36 ; 2.25	0.53 ; 3.10
MANTOVA	1.54	1.17 ; 2.12	-0.30 ; 2.78
PAVIA	1.68	1.27 ; 2.18	0.15 ; 2.91
VIGEVANO	1.79	1.35 ; 2.24	0.46 ; 3.01
SONDRIO	1.67	1.27 ; 2.18	0.02 ; 2.94
VARESE	1.75	1.30 ; 2.22	0.23 ; 3.05
BUSTO ARSIZIO	1.64	1.25 ; 2.16	0.05 ; 2.83
Stime a posteriori complessive ricoveri per cause cerebrovascolari per NO_2			
	VP %	Icr 50%	Icr 90%
CAUSE CEREBROVASCOLARI	1.70	1.33 ; 2.10	0.60 ; 2.66

La stima globale meta-analitica della variazione percentuale dei ricoveri per cause cerebrovascolari associata a un incremento di $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ della concentrazione di NO_2 è pari a 1.70%. Tutte le stime area-specifiche hanno valori superiori a 1.50%. Il valore più elevato, pari a 1.93%, è stato ottenuto per Milano, seguito da due grossi e trafficati comuni del suo hinterland (Cinisello Balsamo e Sesto San Giovanni).

Il pattern dei valori, nessuno dei quali si discosta sensibilmente dal valore complessivo di 1.70%, è ben visibile nel box-plot della pagina seguente. Ben apprezzabili sono anche i valori più elevati che caratterizzano l'hinterland a Nord di Milano.

Figura 22. Box-plot multipli della distribuzione a posteriori dell'effetto del NO_2 specifico per area e box plot della stima complessiva a posteriori per tutta la Lombardia (in rosso), periodo 2003-2006. Le linee tratteggiate in rosso indicano l'intervallo simmetrico pari a 2 deviazioni standard attorno alla media a posteriori complessiva. Gli effetti sono espressi in termini di variazione percentuale dei ricoveri ospedalieri non programmati per cause cerebrovascolari associata ad un incremento di $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ della concentrazione di NO_2 .



Cause respiratorie

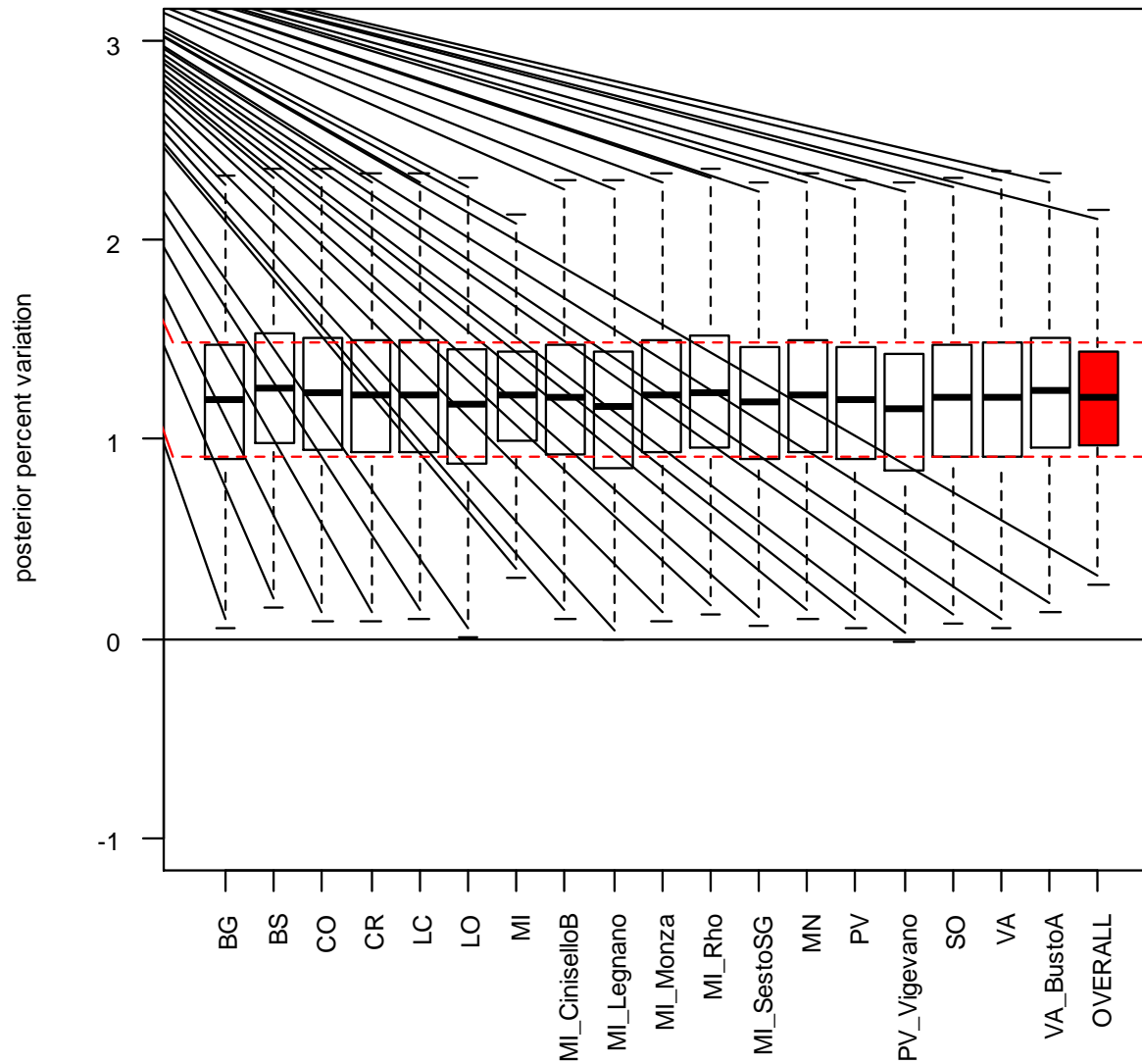
In tabella 14 sono riportate le stime a posteriori città-specifiche e intervalli di credibilità al 50% e al 90% per la variazione percentuale dei ricoveri ospedalieri non programmati per cause respiratorie associata ad un incremento di $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ della concentrazione di NO_2 . Nell'ultima riga è riportata la stima globale meta-analitica della variazione percentuale con intervalli di credibilità al 50% e al 90%.

Tabella 14. Stime a posteriori città specifiche ricoveri per cause respiratorie per NO_2			
	VP %	Icr 50%	Icr 90%
BERGAMO	1.18	0.90 ; 1.48	0.30 ; 1.98
BRESCIA	1.28	0.98 ; 1.54	0.47 ; 2.16
COMO	1.24	0.94 ; 1.52	0.40 ; 2.08
CREMONA	1.22	0.93 ; 1.50	0.37 ; 2.06
LECCO	1.23	0.94 ; 1.51	0.38 ; 2.07
LODI	1.15	0.88 ; 1.46	0.26 ; 1.91
MILANO	1.21	0.99 ; 1.45	0.59 ; 1.78
CINISELLO	1.21	0.93 ; 1.49	0.37 ; 2.01
LEGNANO	1.11	0.86 ; 1.44	0.19 ; 1.87
MONZA	1.22	0.93 ; 1.50	0.37 ; 2.04
RHO	1.26	0.95 ; 1.53	0.42 ; 2.15
SESTO SG	1.17	0.90 ; 1.47	0.32 ; 1.91
MANTOVA	1.22	0.93 ; 1.51	0.37 ; 2.06
PAVIA	1.17	0.89 ; 1.47	0.30 ; 1.96
VIGEVANO	1.10	0.85 ; 1.43	0.16 ; 1.84
SONDRIO	1.19	0.92 ; 1.48	0.31 ; 2.02
VARESE	1.20	0.92 ; 1.50	0.33 ; 2.05
BUSTO ARSIZIO	1.26	0.97 ; 1.53	0.43 ; 2.13
Stime a posteriori complessive ricoveri per cause respiratorie per NO_2			
	VP %	Icr 50%	Icr 90%
CAUSE RESPIRATORIE	1.20	0.97 ; 1.45	0.53 ; 1.81

La stima complessiva a posteriori della variazione percentuale dei ricoveri per cause respiratorie associata a un incremento di $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ della concentrazione di NO_2 è pari a 1.20% e le stime a posteriori area-specifiche si situano in modo abbastanza omogeneo intorno a tale valore, con incrementi un poco più marcati a Brescia, Rho e Busto Arsizio.

Il grafico dei box-plot della figura 23 conferma, anche visivamente, la sostanziale omogeneità delle stime.

Figura 23. Box-plot multipli della distribuzione a posteriori dell'effetto del NO₂ specifico per area e box plot della stima complessiva a posteriori per tutta la Lombardia (in rosso), periodo 2003-2006. Le linee tratteggiate in rosso indicano l'intervallo simmetrico pari a 2 deviazioni standard attorno alla media a posteriori complessiva. Gli effetti sono espressi in termini di variazione percentuale dei ricoveri ospedalieri non programmati per cause respiratorie associata ad un incremento di 10 µg/m³ della concentrazione di NO₂.



CONFRONTO CON PRECEDENTI STUDI

Rispetto alle stime di effetto condotte in altri studi italiani in anni recenti, le stime ottenute in ESSIA non hanno dimostrato divergenze o incoerenze. Tuttavia nei diversi progetti sono stati compresi territori non uniformi, precisamente le città di Torino, Milano, Mestre, Venezia, Bologna, Genova, Ravenna, Pisa, Roma, Palermo, Catania nel progetto MISA; le città di Torino, Milano, Mestre-Venezia, Bologna, Firenze, Ravenna, Pisa, Roma, Taranto, Palermo, Cagliari nel progetto EpiAir; mentre nel progetto ESSIA era compreso il territorio dell'intera Lombardia, come più sopra illustrato, incluse aree non urbanizzate. Inoltre, il periodo coperto da MISA era 1996-2002; da EpiAir 2001-2005; da ESSIA 2003-2006. Alcune differenze metodologiche ne limitano la comparabilità immediata. Uno dei risultati più robusti, che si presta perciò meglio a confronti, è quello riguardante la mortalità naturale complessiva. La tabella 15 mostra le stime di effetto come variazione percentuale e intervallo di credibilità al 90% – vp% e CrI90% - della mortalità naturale per incrementi di $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ della concentrazione di PM_{10} con lag 0-1. Si può notare che la stima più elevata è nello studio EpiAir rispetto sia al precedente progetto MISA sia allo studio pressoché contemporaneo dell'intera regione Lombardia (ESSIA). Quest'ultimo confronto va interpretato anche alla luce del fatto che le città considerate nella tabella per EpiAir e MISA erano di dimensioni maggiori, ed anche con inquinamento maggiore, rispetto a numerose delle aree urbane e comunali lombarde comprese in ESSIA. (Biggeri et al., 2006; Berti et al., 2009)

Tabella 15: Stima meta-analitica dell'effetto complessivo sulla mortalità dell'incremento di $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ della concentrazione di PM_{10} (lag 0-1) in tre progetti italiani

<u>Studio</u>	<u>Periodo</u>	<u>%vp</u>	<u>CrI 90%</u>
ESSIA	2003-2006	0.30	-0.21 0.70
EPIAIR	2001-2005	0.66	0.44 0.87
MISA	1996-2002	0.36	0.01 0.71

Un confronto dell'andamento delle stime nel tempo è possibile per la città di Milano compresa in tutt'e tre i progetti. La tabella 16 confronta i risultati per la città ottenuti in MISA ed ESSIA, i due studi metodologicamente più omogenei. Sono indicati i valori medi e il 95° percentile delle concentrazioni in $\mu\text{g}/\text{m}^3$ di PM_{10} per il periodo dello studio e la stima di effetto a posteriori per la città di Milano. L'effetto è espresso, come sempre, in termini di variazione percentuale della mortalità naturale associata con un incremento di $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ di PM_{10} con lag 0-1.

Tabella 16. Confronto tra le stime di effetto a posteriori per la città di Milano di differenti studi nel periodo 1996-2006.

STUDIO/PERIODO	MISA 1996-2002	ESSIA 2003-2006
Livello medio di PM_{10} e 95° percentile	56.3– 135.1	52.0 – 120.4
Media a posteriori della distribuzione città specifica della variazione %	0.36	0.64

La stima a posteriori per la città di Milano era 0.36 (90% CrI 0.08; 0.64) nel periodo 1996-2002 (MISA) ed è pari a 0.64(3) (90% CrI 0.29; 1.02) nel periodo 2003-2006 (ESSIA) anche se le concentrazioni di PM_{10} si erano nel frattempo pur modicamente ridotte (Biggeri e Baccini, 2009). Una spiegazione non è ovvia, ma può essere rilevante il possibile cambiamento della composizione del particolato, la possibile variazione climatica con la conseguente accentuazione del fenomeno dell'inversione termica, così come l'età mediamente più avanzata della popolazione esposta.

8. STIME DI IMPATTO

La valutazione d'impatto si è concentrata sull'anno 2007 cioè quello più recente che, all'inizio del progetto, possedesse l'intero set di dati sanitari e di esposizione completi e validati. L'impatto sulla salute è stato valutato calcolando per ciascun comune lombardo il numero di decessi per tutte le cause e per patologie respiratorie e cardiovascolari e il numero di ricoveri per cause respiratorie, cardiache e cerebrovascolari attribuibili in quell'anno all'esposizione a PM₁₀ e a NO₂.

Per ciascun comune, e separatamente per i due inquinanti, il calcolo degli eventi attribuibili è stato compiuto utilizzando i risultati riguardanti le misure di effetto ottenuti dalla meta-analisi, il valore medio di esposizione predetto dal modello deterministico implementato da ARPA Lombardia per il 2007 e la mortalità naturale osservata in quell'anno.

DATI SANITARI

i. Mortalità per tutte le cause naturali, per cause cardiovascolari, e cause respiratorie.

Da ogni singolo tracciato record spedito dalle ASL alla DG Sanità della Regione, abbiamo selezionato tutti i decessi avvenuti nell'anno 2007 per cause naturali (escludendo le cause esterne⁹ (ICD-9<800); i decessi per cause cardiovascolari (ICD-9 ≥ 390 e ≤ 459); e i decessi per cause respiratorie (ICD-9 ≥ 460 e ≤ 519). Per ogni singolo comune della regione abbiamo considerato il numero totale di morti sui soggetti ivi residenti, indipendentemente dal luogo di decesso. Tutti gli eventi selezionati sono stati stratificati per classe di età (0-64, 65-74, 75+) e per stagione (inverno da ottobre ad aprile, estate da maggio a settembre).

ii. Ricoveri per patologie cardiache, cerebrovascolari e respiratorie.

Sono state selezionate dalla DG Sanità della Regione tutte le Schede di Ricovero Ospedaliero (SDO) per l'anno 2007 relative all'intera regione. Abbiamo selezionato i ricoveri dei residenti di ogni comune avvenuti in ospedali localizzati entro 30 Km del confine municipale, per tener conto anche dei comuni isolati. In seguito, per selezionare i ricoveri urgenti, abbiamo utilizzato l'algoritmo descritto nello studio MISA-2 che schematicamente riassumiamo:

- esclusione dei casi con data di nascita mancante, neonato sano, (o dei ricoveri con differenza tra data dimissione e data di nascita inferiore a 15 giorni) e dei decessi nella prima settimana di vita;
- esclusione dei seguenti gruppi di cause (sia che comparissero in diagnosi principale o condizioni secondarie):
 - complicanze della gravidanza, del parto e del puerperio (ICD9-CM 630-676)
 - condizioni morbose di origine perinatale (ICD9-CM 760-779)
 - traumatismi e avvelenamenti (ICD-9 CM 800-999);
- esclusione dei trasferimenti da altre strutture, esclusione dei TSO-TSV;
- esclusione dei ricoveri in D-H, ricoveri per riabilitazione, ricoveri in lungodegenza, psichiatrici e in unità spinale.

Dalle SDO abbiamo selezionato i ricoveri osservati nell'anno d'interesse per malattie cardiache ((ICD9CM ≥ 390 e ≤ 429), malattie cerebrovascolari (ICD9CM ≥ 460 , ≤ 469 , ≥ 480 , ≤ 519 E NO 487) e malattie respiratorie (ICD9CM ≥ 430 E ≤ 439).

DATI DI ESPOSIZIONE

In questo rapporto utilizziamo le stime di concentrazione per l'intero territorio regionale ottenute da ARPA attraverso il modello euleriano per giungere a una stima del livello di concentrazione medio annuale di PM_{10} e NO_2 per ciascuno dei 1.546 comuni della regione nell'anno 2007.

La distribuzione delle medie annuali misurate dalle centraline di monitoraggio ARPA è riportata in [figura 24](#) per PM_{10} e in [figura 25](#) per NO_2 . La collocazione delle centraline non è però rappresentativa della regione poiché esse sono situate prevalentemente in aree urbane. Rappresentano i dati empirici di partenza per la stima delle concentrazioni nel territorio lombardo nel suo complesso.

Figura 24. Istogramma delle medie annuali di PM_{10} ($\mu g/m^3$) delle centraline di monitoraggio ARPA per il 2007.

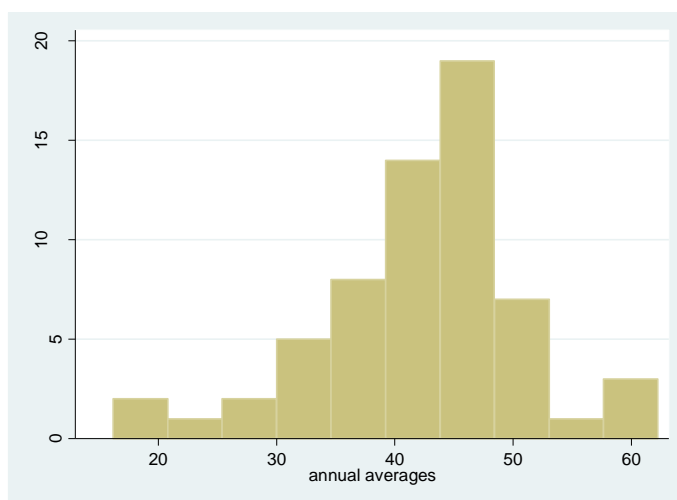
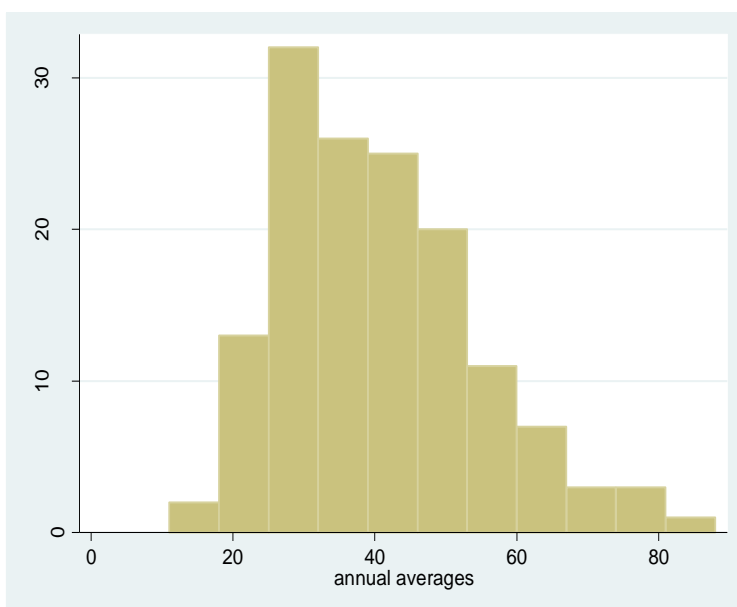


Figura 25. Istogramma delle medie annuali di NO_2 ($\mu g/m^3$) nelle centraline della rete di monitoraggio ARPA per il 2007.



In letteratura si trovano usati modelli deterministici (euleriani) che si basano su informazioni meteorologiche e orografiche e sulla posizione e tipologia delle fonti di emissione per predire le concentrazioni degli inquinanti. I dati empirici vengono in questi modelli usati per calibrare le superfici di concentrazione ottenute da modello. Noi abbiamo utilizzato il modello euleriano messo a punto da ARPA per le stime di impatto a livello regionale che vengono presentate di seguito.

Nella figura 26 le concentrazioni di PM_{10} stimate dal modello euleriano per ciascuno dei 1.546 comuni sono stratificate in sei categorie crescenti. Tutta la parte centrale pianeggiante della regione ha valori sopra la media annuale di $40\mu g/m^3$. I valori più elevati sono nelle due conurbazioni principali della regione, Milano e Brescia, e nei comuni a essi limitrofi. Sotto il limite di $20\mu g/m^3$ ci sono solo le zone montane e l'Oltrepò pavese.

La figura 27 riporta i dati di concentrazione di NO_2 . La distribuzione è simile ma non sovrapponibile e sembra disegnare le grandi conurbazioni con le direttrici di traffico. In particolare, i valori più elevati si riscontrano oltre che in Milano e in Brescia e comuni circostanti, nei comuni che si situano lungo le direttrici di maggior traffico e in particolare lunga la Milano – Bergamo – Brescia, la Milano - Lecco e Milano - Como, lungo la direttrice del Sempione e la Milano-Novara.

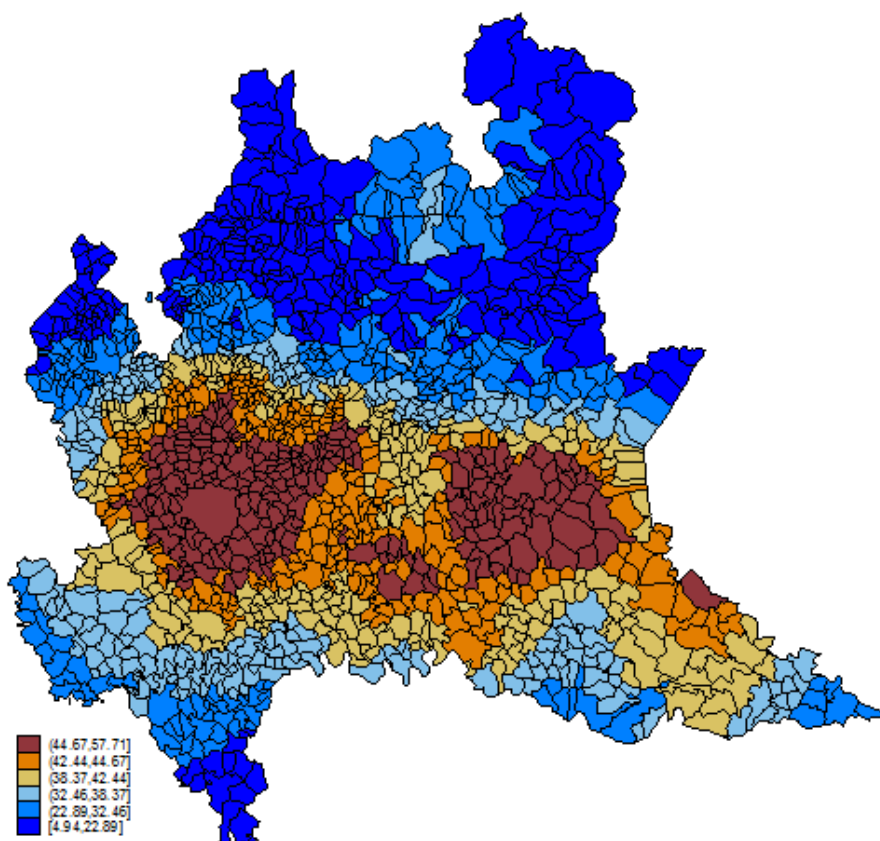


Figura 26. Concentrazione a livello comunale di PM_{10} stimata con modello euleriano ARPA

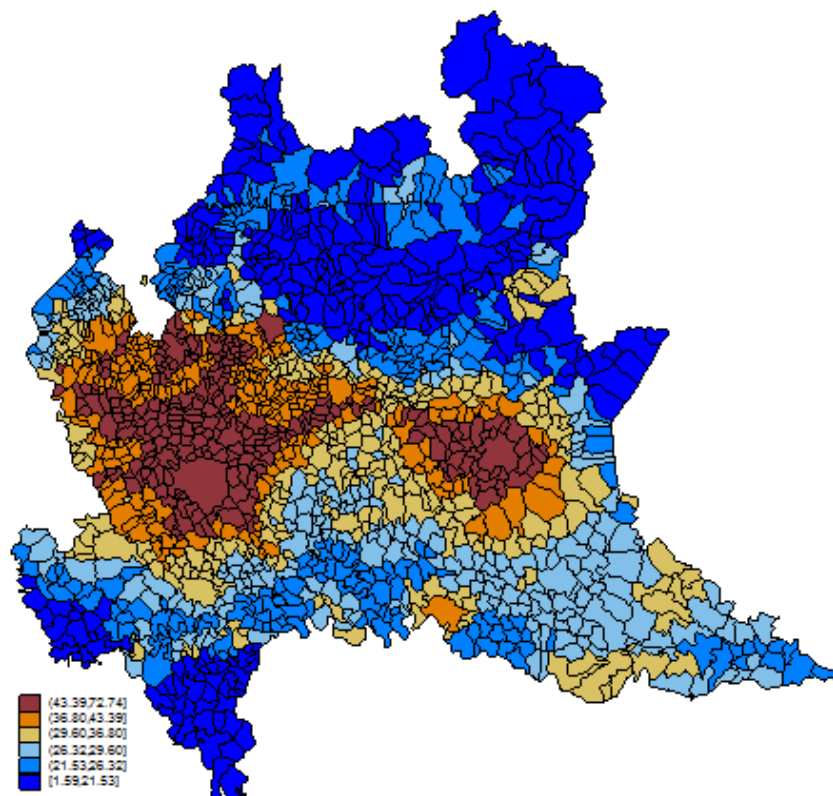


Figura 27. Concentrazione a livello comunale di NO_2 stimata con modello euleriano ARPA

Abbiamo sviluppato quindi una modellistica probabilistica utilizzando metodi geostatistici che sfruttano l'informazione empirica della rete di monitoraggio.

Il modello *Spatial Exponential Gaussian Bayesian* è stato applicato ai dati registrati dalle centraline. È stata assunta una struttura di correlazione spaziale con una funzione di distanza parametrizzata per assicurare l'assenza di correlazione di rilievo tra qualsiasi coppia di punti a una distanza massima di 250 km e una sostanziale correlazione (0.97) alla distanza minima di 3 km. GIS covariate alla sede delle centraline sono state usate per caratterizzare il trend spaziale della concentrazione degli inquinanti. Le variabili utilizzate erano 'altezza e 'land use' cioè utilizzazione del territorio. L'approccio Bayesiano permette di ottenere la distribuzione dei valori predetti in ogni maglia del reticolo a livello dell'intera regione. Poiché i punti identificati dal reticolo sono in largo eccesso rispetto al numero delle centraline attive, sono state compiute predizioni per cinque campioni del reticolo mutuamente esclusivi e i risultati sono stati combinati gerarchicamente. I valori d'inquinante predetti sono stati mediati per comune.

L'errore di predizione è stato stimato usando la cross-validazione. In pratica togliamo una centralina alla volta dai dati osservati e stimiamo il valore della centralina mancante. La misura di errore comunemente utilizzata in letteratura è la radice quadrata della media degli scarti quadratici tra valori osservati per centralina e valori predetti dalla cross-validazione (rCVE). In particolare è risultata in percentuale sulla media di PM_{10} 14% (un buon modello deve avere valori inferiori al 15%). La rCVE (in $\mu\text{g}/\text{m}^3$) = 5.62 in linea con quanto troviamo nella letteratura epidemiologica.

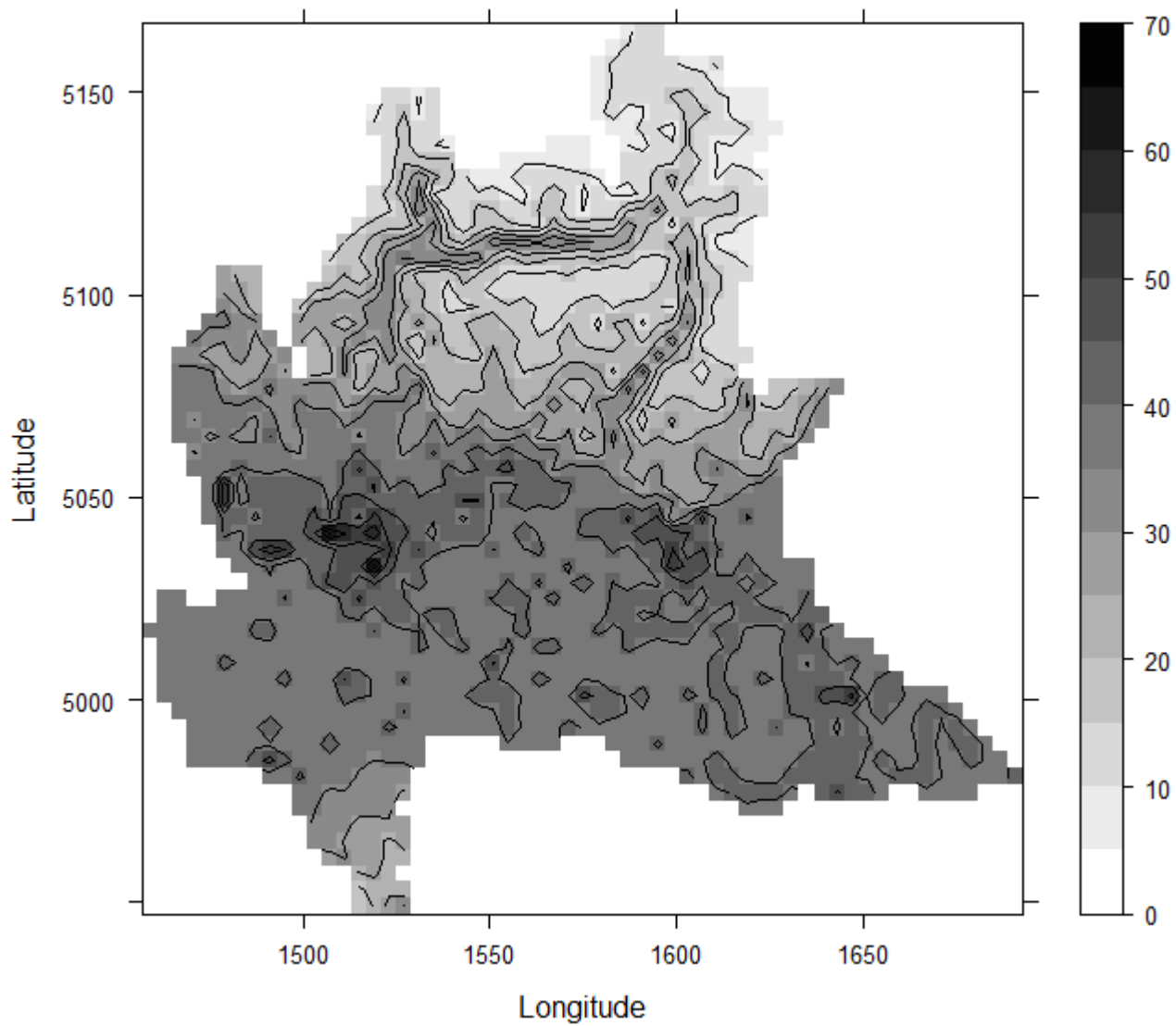


Figura 28 Mappa della distribuzione del PM_{10} stimata con il modello descritto sopra. Valore minimo di PM_{10} stimato: $5.77\text{mg}/\text{m}^3$ Valore massimo di PM_{10} stimato: $61.74\text{ mg}/\text{m}^3$

METODI

Le stime di effetto a livello comunale utilizzate per valutare l'impatto dei due inquinanti, sono quelle derivanti dall'analisi sui dati sanitari e di esposizione relativi al periodo 2003-2006 per le 13 o 18 aree della regione, selezionate come descritto nei paragrafi precedenti. In particolare, per quanto riguarda la mortalità totale e i ricoveri per causa, la valutazione d'impatto è stata condotta usando come stima di effetto a livello di ciascun comune (nel seguito del paragrafo indicata genericamente con β):

a) la media delle distribuzioni a posteriori città specifiche per le città coinvolte nella meta-analisi (13 nel caso del PM_{10} e 18 nel caso dell' NO_2)

b) la media della distribuzione a posteriori dell'effetto globale meta-analitico per tutti i restanti comuni.

La scelta di estendere la stima di effetto globale all'intera regione, è stata ritenuta ragionevole in ragione della limitata eterogeneità tra centri emersa dalla meta-analisi, fatta eccezione per la città di Milano.

Per quanto riguarda invece la mortalità per causa, è stata usata come stima di effetto per tutti i comuni quella, unica, derivante dall'analisi case-crossover.

L'impatto sanitario dell'esposizione all'inquinamento atmosferico è stato quantificato per ciascun comune della regione in termini di morti e ricoveri attribuibili ai livelli di PM_{10} e NO_2 stimati per l'anno 2007. Per rendere confrontabile tra le diverse aree la valutazione dell'impatto degli agenti inquinanti è stato calcolato anche l'ACR (*Attributable Community Rate*), vale a dire il tasso di mortalità/ricovero attribuibile all'inquinante (numero di decessi o ricoveri attribuibili ogni 100.000 abitanti).

Il modello utilizzato per la valutazione d'impatto è basato sull'assunto di omogeneità dell'esposizione entro ciascun comune 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 (NO_2 o PM_{10}) e con β la stima di effetto, gli eventi attribuibili (AD) sono stati calcolati come differenza tra gli eventi osservati (y) e gli eventi attesi in corrispondenza di un prefissato livello "soglia" di concentrazione T (y_0). Se x è superiore alla soglia T :

$$AD=y-y_0$$

$$y_0=y/\exp(\beta(x-T))$$

Mentre, se x è minore o uguale a T , $AD=0$. AD è il numero di eventi che si sarebbero potuti evitare se il livello medio di inquinamento annuale fosse stato pari a T . Scegliere il valore della soglia T , corrisponde a definire uno scenario controfattuale rispetto al quale calcolare l'impatto.

SCENARI CONTROFATTUALI

Sebbene la relazione dose-effetto sembri avere un andamento lineare sia per PM_{10} sia per NO_2 , senza che siano identificabili livelli soglia, abbiamo ugualmente condotto la valutazione dell'impatto sulla salute (HIA) specificando differenti scenari di riduzione dell'esposizione. Si tratta di un approccio che intende tener conto del fatto che non è possibile ridurre le emissioni sotto certi livelli background. Nelle prime HIA pubblicate (Künzli et al., 2000; Cohen et al., 2004) è stato utilizzato un livello di background riconducibile alle fonti naturali di emissione pari a $7.5\mu g/m^3$ per PM_{10} .

Nel presente lavoro, la valutazione d'impatto riguardante PM_{10} è stata compiuta considerando quattro scenari controfattuali:

Scenario 1: $T=40\mu g/m^3$ (limite stabilito dall'Unione Europea per la concentrazione media annuale di PM_{10}). Questo scenario ha prodotto un numero stimato di eventi attribuibili diverso da 0 solo nei comuni dove la concentrazione media annuale di PM_{10} era superiore al limite di $40\mu g/m^3$. (EU 2008/50);

Scenario 2: T pari al massimo tra $40\mu\text{g}/\text{m}^3$ e l'80% del valore di concentrazione media annuale stimato dal modello ARPA. Questo scenario ha prodotto un numero di eventi attribuibili diverso da 0 solo nei comuni dove la concentrazione media annuale di PM_{10} era superiore al limite di $40\mu\text{g}/\text{m}^3$. L'impatto sotto questo scenario è identico a quello sotto lo Scenario 1 nei comuni dove una diminuzione di inquinante del 20% porterebbe a un livello di esposizione minore di $40\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Scenario 3: $T=20\mu\text{g}/\text{m}^3$ (limite per la media annuale di PM_{10} suggerito nelle linee guida per la qualità dell'aria del WHO). Questo scenario ha prodotto un numero stimato di eventi attribuibili diverso da 0 solo nei comuni dove la concentrazione media annuale di PM_{10} era superiore al limite di $20\mu\text{g}/\text{m}^3$. (WHO Air Quality Guideline 2005)

Scenario 4: T pari al massimo tra $20\mu\text{g}/\text{m}^3$ e l'80% del valore di concentrazione media annuale stimato dal modello ARPA. Questo scenario ha prodotto un numero di eventi attribuibili diverso da 0 solo nei comuni dove la concentrazione media annuale di PM_{10} era superiore al limite di $20\mu\text{g}/\text{m}^3$. L'impatto sotto questo scenario è identico a quello sotto lo Scenario 3 nei comuni dove una diminuzione di inquinante del 20% avrebbe portato a un livello di esposizione minore a $20\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Gli scenari 2 e 4 sono stati scelti in accordo alla regolamentazione dell'UE che richiede una progressiva riduzione delle concentrazioni medie annuali fino al raggiungimento del limite stabilito nei contesti ove tale limite non possa essere rispettato nell'immediato.

Per NO_2 sono stati considerati invece solo due scenari controfattuali:

Scenario 1: $T=40\mu\text{g}/\text{m}^3$. Questo scenario ha prodotto un numero stimato di eventi attribuibili diverso da 0 solo nei comuni dove la concentrazione media annuale di NO_2 era superiore al limite di $40\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Scenario 2: T pari al massimo tra $40\mu\text{g}/\text{m}^3$ e l'80% del valore di concentrazione media annuale stimato dal modello ARPA. Questo scenario ha prodotto un numero di eventi attribuibili diverso da 0 solo nei comuni dove la concentrazione media annuale di NO_2 era superiore al limite di $40\mu\text{g}/\text{m}^3$. L'impatto sotto questo scenario è identico a quello sotto lo Scenario 1 nei comuni dove una diminuzione di inquinante del 20% porterebbe a un livello di esposizione minore di $40\mu\text{g}/\text{m}^3$.

RISULTATI

L'impatto sulla mortalità di PM_{10} e di NO_2 per le città capoluogo, le rispettive provincie e i comuni con più di 50.000 residenti nel 2007, con i diversi scenari considerati, è riportato nelle tabelle seguenti. Il numero di eventi attribuibili/evitabili per provincia è stimato sui dati dei comuni della provincia la cui media annuale era superiore a quella dello scenario di riferimento. Ci sono pertanto provincie nelle quali la media annuale complessiva era inferiore a $40\mu\text{g}/\text{m}^3$ ma entro la quale alcuni comuni superavano tale valore. Il numero di morti e di ricoveri evitabili (attribuibili) è stimato pertanto sui dati di questi comuni. Ogni tabella riporta il nome dell'area, la popolazione totale al 31 dicembre 2007, il numero di eventi attribuibili/evitabili e il tasso attribuibile di popolazione (*attributable community rate*, ACR) per ciascuno scenario (quattro, nel caso di PM_{10} e due nel caso di NO_2).

i. Mortalità

Mortalità per PM_{10}

La tabella 17 riporta le stime di impatto sulla *mortalità generale* degli elevati livelli di PM_{10} . Delle 169 morti attribuibili all'aver superato i livelli dello scenario 1, 144 sarebbero evitabili in provincia di Milano e 93 nella città. E' interessante notare che nei comuni che superano il limite di $40\mu\text{g}/\text{m}^3$ una diminuzione del 20% delle concentrazioni dell'inquinante (scenario 2) avrebbe un effetto molto simile a quello dello scenario 1 (169 vs. 160). Potrebbe qui probabilmente celarsi il suggerimento di un obiettivo raggiungibile:

abbattere di questa proporzione il livello regionale dell'inquinante dato che in gran parte dei comuni il superamento del livello di $40\mu\text{g}/\text{m}^3$ non va al di là di un eccesso del 20%. Molto più elevata, come atteso, la numerosità dei decessi attribuibili al mancato rispetto del limite di qualità per la salute di OMS pari a $20\mu\text{g}/\text{m}^3$; e molto maggiore anche il divario tra tale stima e quella per una riduzione del 20% del livello di inquinante (scenari 3 e 4).

La tabella 18 riporta le stime per la *mortalità cardiaca*, pari a 41 decessi evitabili in un anno sotto lo scenario 1. Di essi 32 verrebbero evitati nella provincia di Milano e circa la metà di essi (15) in città. Anche per queste cause lo scenario 2 di riduzione di PM_{10} avrebbe evitato all'incirca lo stesso numero di morti di quelli attribuibili al rispetto dello scenario 1. Come in precedenza, dopo Milano è Brescia la città a soffrire del maggior impatto. Gli eventi attribuibili sono, naturalmente, nettamente più numerosi sotto gli scenari 2 e 3.

Simile è il quadro per la *mortalità respiratoria* come mostra la tabella 19. I decessi attribuibili all'aver superato $40\mu\text{g}/\text{m}^3$, scenario 1, sono poco più di 53 e 50 di essi sono attribuibili a PM_{10} sotto lo scenario 2. In altri termini, una riduzione del 20% del livello di PM_{10} nei comuni che superavano $40\mu\text{g}/\text{m}^3$ avrebbe permesso di evitare la quasi totalità (pari al 94%) dei decessi attribuibili. In Milano provincia i decessi evitabili sotto lo scenario 1, sono 42 e nella città 21. Più numerosi, come atteso, i decessi evitabili sotto gli scenari 3 e 4.

Mortalità per NO_2

Le tabelle successive riportano le stime di impatto per NO_2 . Gli scenari sono ridotti a due poiché il limite di qualità dell'aria di $20\mu\text{g}/\text{m}^3$ indicato da OMS riguarda soltanto PM_{10} . Il numero di aree elencate è maggiore che non nelle tabelle per PM_{10} : la ragione è che le misurazioni di NO_2 sono più diffuse e complete nel territorio regionale rispetto a quelle di PM_{10} .

Il numero di *decessi per cause naturali* attribuibili al superamento di $40\mu\text{g}/\text{m}^3$ di NO_2 nell'intera regione è pari a 410 (tabella 20), più numerosi di quelli stimati nelle precedenti tabelle per PM_{10} . Di essi, 278 (68%) sono evitabili con una diminuzione del 20% dei livelli riscontrati in quell'anno nei comuni con valori superiori a $40\mu\text{g}/\text{m}^3$. I decessi attribuibili stimati in provincia di Milano sono 366 e in città 193. A Brescia i numeri corrispondenti sono 37 e 23. Seguono, per entità dell'impatto, le provincie di Varese (19 eventi evitabili) e di Como (19). Sensibile l'impatto nei grandi centri nell'immediato Nord di Milano quali Monza (14), Sesto San Giovanni (16) e Cinisello Balsamo (10) note per l'estrema densità delle attività in atto che condizionano flussi di traffico stabilmente, o per lunghi tratti della giornata, intensi e con un'alta proporzione di veicoli commerciali a motorizzazione diesel.

L'impatto sulla *mortalità cardiaca* è in tabella 21. Le morti attribuibili, e perciò evitabili, nei comuni con concentrazione media annuale d'inquinante superiore a $40\mu\text{g}/\text{m}^3$ sono 217 ovvero - tenendo conto della numerosità della popolazione esposta - 2,2/100.000 abitanti (ACR). Le morti evitabili con la diminuzione del 20% dei valori superiori a $40\mu\text{g}/\text{m}^3$ sono 148. Oltre che Milano - 193 morti evitabili in città più provincia e 104 nella sola città - si segnalano Brescia (18 decessi in provincia e 10 in città) e Varese (12 decessi evitabili in provincia).

L'impatto di NO_2 sulla *mortalità per cause respiratorie* è di entità più modesta (tabella 22). Si tratta, a livello regionale, di 22 decessi, nella quasi totalità concentrati in provincia di Milano.

ii. Ricoveri

Ricoveri ospedalieri per PM_{10} .

Come prima, per PM_{10} gli scenari controfattuali sono quattro. La tabella 23 mostra le stime d'impatto sui *ricoveri per cause cardiache*. Considerando i comuni con concentrazione media annuale d'inquinante superiore a $40\mu\text{g}/\text{m}^3$ i ricoveri attribuibili nell'anno sono circa 40, quasi tutti (37) evitabili con una diminuzione del 20% della concentrazione, se superiore a $40\mu\text{g}/\text{m}^3$. Le stime dei ricoveri evitabili, riferite al limite OMS di $20\mu\text{g}/\text{m}^3$, con la riduzione del 20% della concentrazione media annuale che lo superano sono, rispettivamente, 177 e 65.

Per le cause *cerebrovascolari* (tabella 24) l'impatto sui ricoveri è maggiore. Sono 53 i ricoveri attribuibili in regione al superamento del limite di $40\mu\text{g}/\text{m}^3$, dei quali oltre 43 nell'intera provincia e 20 nella sola

città di Milano. Ricordiamo, come le tabelle riportano, che Milano e la sua provincia, soprattutto la zona Nord con i comuni di Cinisello Balsamo, Sesto San Giovanni, Rho e con la città di Monza presentano i valori di inquinante più elevati. Quasi 50 dei 53 ricoveri sarebbero evitabili con la riduzione del 20% dei livelli oltre $40\mu\text{g}/\text{m}^3$. Le stime basate sul livello di $20\mu\text{g}/\text{m}^3$ e sulla sua riduzione del 20% sono, rispettivamente, di 249 e di 93 ricoveri.

I ricoveri per *cause respiratorie* attribuibili a concentrazioni medie annuali $> 40\mu\text{g}/\text{m}^3$ sono pari a 171 (tabella 25); una riduzione del 20% di quei livelli porterebbe ad evitare 160 ricoveri. Se si considera il superamento del limite OMS di $20\mu\text{g}/\text{m}^3$ le stime corrispondenti sono, rispettivamente, 781 e 290 ricoveri.

Ricoveri ospedalieri per NO_2

L'impatto di NO_2 sui ricoveri, come mostrano le tabelle seguenti, appare di dimensioni maggiori rispetto a PM_{10} . Come sopra spiegato, in queste stime gli scenari anticipati sono solo due.

Per quanto riguarda i *ricoveri per cause cardiache* (tabella 26), sono attribuibili a concentrazioni medie di inquinante superiori a $40\mu\text{g}/\text{m}^3$ oltre 421 ricoveri nell'intera regione, 285 dei quali evitabili con una riduzione di quei livelli pari al 20%. Spiccano ancora la provincia (366 ricoveri attribuibili) e la città (161) di Milano con i comuni dell'hinterland, dove sono misurate le più elevate concentrazioni di NO_2 , vale a dire Cinisello Balsamo, Sesto San Giovanni, Rho e Monza. L'altra area particolarmente interessata è quella di Brescia e della sua provincia.

La tabella 27 riporta le stime d'impatto per *ricoveri cerebrovascolari*. Si tratta di 255 ricoveri a livello regionale, dei quali 172 sarebbero evitabili con la diminuzione del 20% della concentrazione media annuale d'inquinante nei comuni con concentrazione media annuale superiore a $40\mu\text{g}/\text{m}^3$. L'area di Milano col suo hinterland nord e nord-ovest, l'area della provincia e della città di Brescia e le provincie di Como e Varese sono le più interessate da tale impatto.

Sensibile è l'impatto delle concentrazioni medie annuali superiori a $40\mu\text{g}/\text{m}^3$ anche sui *ricoveri respiratori* (tabella 28). Al superamento di tale livello sono attribuibili complessivamente 421 ricoveri. Il numero di quelli evitabili con la diminuzione del 20% delle medie annuali oltre $40\mu\text{g}/\text{m}^3$ è pari a 282. Si confermano come più colpite le aree già sopra segnalate.

Tabella 17. PM₁₀ Impatto mortalità Anno 2007

AREA	Popolazione Totale (31 dicembre 2007)	PM ₁₀ (media anno 2007)	Scenario 1		Scenario 2		Scenario 3		Scenario 4	
			N. eventi evitabili	ACR	N. eventi evitabili	ACR	N. eventi evitabili	ACR	N. eventi evitabili	ACR
BERGAMO - Provincia	1,059,593	34.3	5.3	0.5	5.3	0.5	49.9	4.7	20.2	1.9
BERGAMO	115,781	42.4	1.0	0.9	1.0	0.9	9.6	8.3	3.7	3.2
BRESCIA - Provincia	1,211,617	36.0	10.2	0.8	10.2	0.8	54.3	4.5	20.2	1.7
BRESCIA	189,742	48.4	2.0	1.1	2.0	1.1	6.6	3.5	2.3	1.2
COMO - Provincia	578,175	31.8	2.5	0.4	2.5	0.4	27.6	4.8	11.1	1.9
COMO	83,175	40.9	0.2	0.2	0.2	0.2	5.8	7.0	2.3	2.8
CREMONA - Provincia	355,947	41.1	3.4	1.0	3.4	1.0	23.9	6.7	9.2	2.6
CREMONA	71,998	43.9	0.9	1.3	0.9	1.3	5.2	7.2	1.9	2.6
LECCO - Provincia	331,607	32.9	1.0	0.3	1.0	0.3	13.7	4.1	5.7	1.7
LECCO	47,325	34.8	0.0	0.0	0.0	0.0	1.3	2.8	0.6	1.3
LODI - Provincia	219,670	41.4	1.2	0.6	1.2	0.6	13.3	6.1	5.1	2.3
MANTOVA - Provincia	403,665	38.5	2.0	0.5	2.0	0.5	25.2	6.2	10.2	2.5
MANTOVA	47,649	43.2	0.7	1.5	0.7	1.5	4.9	10.3	1.8	3.8
MILANO - Provincia	3,906,726	46.5	143.7	3.7	133.0	3.4	433.6	11.1	145.6	3.7
MILANO	1,299,633	51.0	92.8	7.1	86.4	6.7	260.6	20.1	86.4	6.7
CINISELLO BALSAMO	73,683	57.6	3.0	4.1	2.0	2.7	6.4	8.7	2.0	2.7
LEGNANO	56,942	43.7	0.5	0.9	0.5	0.9	3.5	6.2	1.3	2.3

MONZA	120,826	50.7	3.5	2.9	3.3	2.7	10.1	8.4	3.3	2.7
RHO	50,143	51.0	1.5	3.0	1.4	2.8	4.3	8.6	1.4	2.8
SESTO SG	80,886	53.8	3.3	4.1	2.6	3.2	8.1	10.0	2.6	3.2
PAVIA - Provincia	530,969	33.9	1.1	0.2	1.1	0.2	29.0	5.5	12.9	2.4
PAVIA	70,207	41.7	0.4	0.6	0.4	0.6	5.2	7.4	2.0	2.9
VIGEVANO	60,738	40.3	0.0	0.0	0.0	0.0	3.2	5.3	1.3	2.1
SONDRIO - Provincia	181,338	20.9	0.0	0.0	0.0	0.0	2.6	1.4	1.7	0.9
SONDRIO	22,214	31.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.8	3.6	0.4	1.8
VARESE - Provincia	863,099	29.4	2.7	0.3	2.7	0.3	36.0	4.2	16.1	1.9
VARESE	82,037	32.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.2	5.1	2.2	2.7
BUSTO ARSIZIO	80,633	42.2	0.4	0.5	0.4	0.5	4.4	5.5	1.7	2.1
TOTALE	9,642,406	35.0	169.4	1.8	159.1	1.7	756.4	7.8	280.2	2.9

Scenario 1 Solo i comuni con concentrazione media annuale di inquinante superiore a 40µg/m³

Scenario 2 Diminuzione del 20% nella concentrazione media annuale di inquinante nei comuni con concentrazione media annuale superiore a 40µg/m³

Scenario 3 Solo i comuni con concentrazione media annuale di inquinante superiore a 20µg/m³

Scenario 4 Diminuzione del 20% nella concentrazione media annuale di inquinante nei comuni con concentrazione media annuale superiore a 20µg/m³

ACR: Attributable Community Rate (casi/100.000 residenti)

NB: Partecipano al totale solo i campi in grassetto

Tabella 18. *PM₁₀ Impatto mortalità cardiaca Anno 2007*

			Scenario 1		Scenario 2		Scenario 3		Scenario 4	
	Popolazione Totale (31 dicembre 2007)	PM ₁₀ (media annuale 2007)	Numero eventi evitabili	ACR	Numero eventi evitabili	ACR	Numero eventi evitabili	ACR	Numero eventi evitabili	ACR
BERGAMO - Provincia	1,059,593	34.3	1.7	0.2	1.7	0.2	16.2	1.5	6.6	0.6
BERGAMO	115,781	42.4	0.3	0.3	0.3	0.3	3.0	2.6	1.1	1.0
BRESCIA - Provincia	1,211,617	36.0	4.2	0.4	4.2	0.4	21.5	1.8	8.0	0.7
BRESCIA	189,742	48.4	1.4	0.7	1.4	0.7	4.6	2.4	1.6	0.8
COMO - Provincia	578,175	31.8	0.8	0.1	0.8	0.1	9.3	1.6	3.7	0.6
COMO	83,175	40.9	0.1	0.1	0.1	0.1	2.0	2.4	0.8	1.0
CREMONA - Provincia	355,947	41.1	1.4	0.4	1.4	0.4	9.5	2.7	3.6	1.0
CREMONA	71,998	43.9	0.4	0.6	0.4	0.6	2.6	3.6	1.0	1.4
LECCO - Provincia	331,607	32.9	0.4	0.1	0.4	0.1	5.3	1.6	2.2	0.7
LECCO	47,325	34.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.9	1.9	0.4	0.9
LODI - Provincia	219,670	41.4	0.4	0.2	0.4	0.2	4.9	2.2	1.9	0.9
MANTOVA - Provincia	403,665	38.5	0.7	0.2	0.7	0.2	9.8	2.4	4.0	1.0
MANTOVA	47,649	43.2	0.2	0.4	0.2	0.4	1.6	3.4	0.6	1.3
MILANO - Provincia	3,906,726	46.5	31.8	0.8	29.4	0.8	100.5	2.6	34.0	0.9
MILANO	1,299,633	51.0	15.4	1.2	14.3	1.1	43.4	3.3	14.3	1.1
CINISELLO BALSAMO	73,683	57.6	0.8	1.1	0.6	0.8	1.8	2.4	0.6	0.8
LEGNANO	56,942	43.7	0.2	0.4	0.2	0.4	1.4	2.5	0.5	0.9

MONZA	120,826	50.7	1.2	1.0	1.1	0.9	3.4	2.8	1.1	0.9
RHO	50,143	51.0	0.5	1.0	0.5	1.0	1.4	2.8	0.5	1.0
SESTO SAN GIOVANNI	80,886	53.8	1.0	1.2	0.8	1.0	2.4	3.0	0.8	1.0
PAVIA - Provincia	530,969	33.9	0.4	0.1	0.4	0.1	11.0	2.1	4.9	0.9
PAVIA	70,207	41.7	0.1	0.1	0.1	0.1	1.8	2.6	0.7	1.0
VIGEVANO	60,738	40.3	0.0	0.0	0.0	0.0	1.5	2.5	0.6	1.0
SONDRIO - Provincia	181,338	20.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.9	0.5	0.6	0.3
SONDRIO	22,214	31.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	1.4	0.2	0.9
VARESE - Provincia	863,099	29.3	1.0	0.1	1.0	0.1	13.5	1.6	6.0	0.7
VARESE	82,037	32.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.2	1.5	0.6	0.7
BUSTO ARSIZIO	80,633	42.2	0.2	0.3	0.2	0.3	1.9	2.4	0.7	0.9
TOTALE	9,642,406	35.0	41.4	0.4	39.2	0.4	217.3	2.3	82.6	0.9

Scenario 1 Solo i comuni con concentrazione media annuale di inquinante superiore a 40 µg/m³

Scenario 2 Diminuzione del 20% nella concentrazione media annuale di inquinante nei comuni con concentrazione media annuale superiore a 40 µg/m³

Scenario 3 Solo i comuni con concentrazione media annuale di inquinante superiore a 20 µg/m³

Scenario 4 Diminuzione del 20% nella concentrazione media annuale di inquinante nei comuni con concentrazione media annuale superiore a 20 µg/m³

NB: Partecipano al totale solo i campi in grassetto

Tabella 19.. *PM₁₀ Impatto mortalità respiratoria Anno 2007*

			Scenario 1		Scenario 2		Scenario 3		Scenario 4	
	Popolazione Totale (31 dicembre 2007)	PM ₁₀ (media annuale 2007)	Numero eventi evitabili	ACR	Numero eventi evitabili	ACR	Numero eventi evitabili	ACR	Numero eventi evitabili	ACR
BERGAMO - Provincia	1,059,593	34.3	2.0	0.2	2.0	0.2	18.5	1.8	7.6	0.7
BERGAMO	115,781	42.4	0.4	0.4	0.4	0.4	3.4	2.9	1.3	1.1
BRESCIA - Provincia	1,211,617	36.0	6.2	0.5	6.2	0.5	28.9	2.4	10.6	0.9
BRESCIA	189,742	48.4	2.5	1.3	2.5	1.3	8.3	4.4	2.9	1.5
COMO - Provincia	578,175	31.8	0.9	0.2	0.9	0.2	10.8	1.9	4.5	0.8
COMO	83,175	40.9	0.1	0.1	0.1	0.1	2.2	2.7	0.9	1.1
CREMONA - Provincia	355,947	41.1	1.5	0.4	1.5	0.4	10.1	2.8	3.8	1.1
CREMONA	71,998	43.9	0.4	0.6	0.4	0.6	2.1	2.9	0.8	1.1
LECCO - Provincia	331,607	32.9	0.4	0.1	0.4	0.1	4.7	1.4	2.0	0.6
LECCO	47,325	34.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	1.1	0.2	0.4
LODI - Provincia	219,670	41.4	0.5	0.2	0.5	0.2	5.2	2.4	2.0	0.9
MANTOVA - Provincia	403,665	38.5	0.6	0.2	0.6	0.2	8.2	2.0	3.3	0.8
MANTOVA	47,649	43.2	0.2	0.4	0.2	0.4	1.4	2.9	0.5	1.1
MILANO - Provincia	3,906,726	46.5	42.3	1.1	39.0	1.0	129.1	3.3	44.0	1.1
MILANO	1,299,633	51.0	20.5	1.6	19.1	1.5	56.9	4.4	19.1	1.5
CINISELLO BALSAMO	73,683	57.6	1.6	2.2	1.1	1.5	3.4	4.6	1.1	1.5
LEGNANO	56,942	43.7	0.3	0.5	0.3	0.5	1.6	2.8	0.6	1.1

MONZA	120,826	50.7	1.5	1.2	1.4	1.2	4.2	3.5	1.4	1.2
RHO	50,143	51.0	0.7	1.4	0.7	1.4	2.0	4.0	0.7	1.4
SESTO SAN GIOVANNI	80,886	53.8	1.3	1.6	1.0	1.2	3.2	4.0	1.0	1.2
PAVIA - Provincia	530,969	33.9	0.3	0.1	0.3	0.1	9.9	1.9	4.4	0.8
PAVIA	70,207	41.7	0.1	0.1	0.1	0.1	1.6	2.3	0.6	0.9
VIGEVANO	60,738	40.3	0.0	0.0	0.0	0.0	1.6	2.6	0.6	1.0
SONDRIO - Provincia	181,338	20.9	0.0	0.0	0.0	0.0	1.7	0.9	1.1	0.6
SONDRIO	22,214	31.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	2.3	0.3	1.4
VARESE - Provincia	863,099	29.3	1.2	0.1	1.2	0.1	15.2	1.8	6.8	0.8
VARESE	82,037	32.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.4	1.7	0.8	1.0
BUSTO ARSIZIO	80,633	42.2	0.2	0.3	0.2	0.3	2.2	2.7	0.8	1.0
TOTALE	9,642,406	35.0	53.3	0.6	50.2	0.5	256.1	2.7	97.3	1.0

Scenario 1 Solo i comuni con concentrazione media annuale di inquinante superiore a 40 µg/m³

Scenario 2 Diminuzione del 20% nella concentrazione media annuale di inquinante nei comuni con concentrazione media annuale superiore a 40 µg/m³

Scenario 3 Solo i comuni con concentrazione media annuale di inquinante superiore a 20 µg/m³

Scenario 4 Diminuzione del 20% nella concentrazione media annuale di inquinante nei comuni con concentrazione media annuale superiore a 20 µg/m³

NB: Partecipano al totale solo i campi in grassetto

Tabella 20. NO₂ Impatto mortalità Anno 2007

			Scenario 1		Scenario 2	
	Popolazione Totale (31 dicembre 2007)	NO ₂ (media annuale 2007)	Numero eventi evitabili	ACR	Numero eventi evitabili	ACR
BERGAMO - Provincia	1,059,593	28.4	4.2	0.4	4.2	0.4
BERGAMO	115,781	40.5	0.5	0.4	0.5	0.4
BRESCIA - Provincia	1,211,617	31.8	36.6	3.0	26.6	2.2
BRESCIA	189,742	58.4	23.1	12.2	14.7	7.7
COMO - Provincia	578,175	34.7	18.6	3.2	17.8	3.1
COMO	83,175	51.1	8.2	9.9	7.5	9.0
CREMONA - Provincia	355,947	27.9	0.2	0.1	0.2	0.1
CREMONA	71,998	40.3	0.2	0.3	0.2	0.3
LECCO - Provincia	331,607	33.3	5.5	1.7	5.5	1.7
LECCO	47,325	49.3	2.9	6.1	2.9	6.1
LODI - Provincia	219,670	28.1	0.1	0.0	0.1	0.0
MANTOVA - Provincia	403,665	28.3	0.0	0.0	0.0	0.0
MANTOVA	47,649	33.6	0.0	0.0	0.0	0.0
MILANO - Provincia	3,906,726	47.2	365.5	9.4	234.6	6.0
MILANO	1,299,633	60.1	193.2	14.9	115.9	8.9
CINISELLO BALSAMO	73,683	72.7	10.1	13.7	4.5	6.1
LEGNANO	56,942	45.5	1.9	3.3	1.9	3.3
MONZA	120,826	59.4	14.2	11.8	8.7	7.2
RHO	50,143	60.7	6.2	12.4	3.7	7.4
SESTO SAN GIOVANNI	80,886	66	16.3	20.2	8.3	10.3
PAVIA - Provincia	530,969	23.7	0.0	0.0	0.0	0.0
PAVIA	70,207	33.8	0.0	0.0	0.0	0.0
VIGEVANO	60,738	36.4	0.0	0.0	0.0	0.0
SONDRIO - Provincia	181,338	17.7	0.0	0.0	0.0	0.0
SONDRIO	22,214	26.3	0.0	0.0	0.0	0.0
VARESE - Provincia	863,099	35.3	19.4	2.2	18.6	2.2
VARESE	82,037	43.1	1.9	2.3	1.9	2.3
BUSTO ARSIZIO	80,633	44.2	2.1	2.6	2.1	2.6
TOTALE	9,642,406	30.4	409.9	4.3	278.1	2.9

Scenario 1 Solo i comuni con concentrazione media annuale di inquinante superiore a 40 µg/m³

Scenario 2 Diminuzione del 20% nella concentrazione media annuale di inquinante nei comuni con concentrazione media annuale superiore a 40 µg/m³ **NB:** Partecipano al totale solo i campi in grassetto

Tabella 21. NO₂ Impatto mortalità cardiaca Anno 2007

			Scenario 1		Scenario 2	
	Popolazione Totale (31 dicembre 2007)	NO ₂ (media annuale 2007)	N	ACR	N	ACR
BERGAMO - Provincia	1,059,593	28.4	2.1	0.2	2.1	0.2
BERGAMO	115,781	40.5	0.3	0.3	0.3	0.3
BRESCIA - Provincia	1,211,617	31.8	18.2	1.5	13.4	1.1
BRESCIA	189,742	58.4	11.0	5.8	7.0	3.7
COMO - Provincia	578,175	34.7	9.6	1.7	9.2	1.6
COMO	83,175	51.1	4.0	4.8	3.7	4.4
CREMONA - Provincia	355,947	27.9	0.1	0.0	0.1	0.0
CREMONA	71,998	40.3	0.1	0.1	0.1	0.1
LECCO - Provincia	331,607	33.3	3.4	1.0	3.4	1.0
LECCO	47,325	49.3	2.0	4.2	2.0	4.2
LODI - Provincia	219,670	28.1	0.0	0.0	0.0	0.0
MANTOVA - Provincia	403,665	28.3	0.0	0.0	0.0	0.0
MANTOVA	47,649	33.6	0.0	0.0	0.0	0.0
MILANO - Provincia	3,906,726	47.2	193.2	4.9	124.5	3.2
MILANO	1,299,633	60.1	104.1	8.0	62.5	4.8
CINISELLO BALSAMO	73,683	72.7	5.8	7.9	2.6	3.5
LEGNANO	56,942	45.5	1.2	2.1	1.2	2.1
MONZA	120,826	59.4	7.9	6.5	4.9	4.1
RHO	50,143	60.7	3.4	6.8	2.0	4.0
SESTO SAN GIOVANNI	80,886	66	6.8	8.4	3.5	4.3
PAVIA - Provincia	530,969	23.7	0.0	0.0	0.0	0.0
PAVIA	70,207	33.8	0.0	0.0	0.0	0.0
VIGEVANO	60,738	36.4	0.0	0.0	0.0	0.0
SONDRIO - Provincia	181,338	17.7	0.0	0.0	0.0	0.0
SONDRIO	22,214	26.3	0.0	0.0	0.0	0.0
VARESE - Provincia	863,099	35.3	11.6	1.3	11.1	1.3
VARESE	82,037	43.1	1.2	1.5	1.2	1.5
BUSTO ARSIZIO	80,633	44.2	1.4	1.7	1.4	1.7
TOTALE	9,642,406	30.4	216.6	2.2	147.9	1.5

Scenario 1 Solo i comuni con concentrazione media annuale di inquinante superiore a 40 µg/m³

Scenario 2 Diminuzione del 20% nella concentrazione media annuale di inquinante nei comuni con concentrazione media annuale superiore a 40 µg/m³ NB: Partecipano al totale solo i campi in grassetto

Tabella 22. NO₂ Impatto mortalità respiratoria Anno 2007

			Scenario 1		Scenario 2	
	Popolazione Totale (31 dicembre 2007)	NO ₂ (media annuale 2007)	N	ACR	N	ACR
BERGAMO - Provincia	1,059,593	28.4	0.2	0.0	0.2	0.0
BERGAMO	115,781	40.5	0.0	0.0	0.0	0.0
BRESCIA - Provincia	1,211,617	31.8	2.3	0.2	1.7	0.1
BRESCIA	189,742	58.4	1.5	0.8	1.0	0.5
COMO - Provincia	578,175	34.7	0.8	0.1	0.8	0.1
COMO	83,175	51.1	0.3	0.4	0.3	0.4
CREMONA - Provincia	355,947	27.9	0.0	0.0	0.0	0.0
CREMONA	71,998	40.3	0.0	0.0	0.0	0.0
LECCO - Provincia	331,607	33.3	0.2	0.1	0.2	0.1
LECCO	47,325	49.3	0.1	0.2	0.1	0.2
LODI - Provincia	219,670	28.1	0.0	0.0	0.0	0.0
MANTOVA - Provincia	403,665	28.3	0.0	0.0	0.0	0.0
MANTOVA	47,649	33.6	0.0	0.0	0.0	0.0
MILANO - Provincia	3,906,726	47.2	19.9	0.5	12.8	0.3
MILANO	1,299,633	60.1	10.7	0.8	6.4	0.5
CINISELLO BALSAMO	73,683	72.7	0.9	1.2	0.4	0.5
LEGNANO	56,942	45.5	0.1	0.2	0.1	0.2
MONZA	120,826	59.4	0.8	0.7	0.5	0.4
RHO	50,143	60.7	0.4	0.8	0.2	0.4
SESTO SAN GIOVANNI	80,886	66	0.7	0.9	0.4	0.5
PAVIA - Provincia	530,969	23.7	0.0	0.0	0.0	0.0
PAVIA	70,207	33.8	0.0	0.0	0.0	0.0
VIGEVANO	60,738	36.4	0.0	0.0	0.0	0.0
SONDRIO - Provincia	181,338	17.7	0.0	0.0	0.0	0.0
SONDRIO	22,214	26.3	0.0	0.0	0.0	0.0
VARESE - Provincia	863,099	35.3	1.0	0.1	1.0	0.1
VARESE	82,037	43.1	0.1	0.1	0.1	0.1
BUSTO ARSIZIO	80,633	44.2	0.1	0.1	0.1	0.1
TOTALE *	9,642,406	30.4	22.1	0.2	14.8	0.2

Scenario 1 Solo i comuni con concentrazione media annuale di inquinante superiore a 40 µg/m³

Scenario 2 Diminuzione del 20% nella concentrazione media annuale di inquinante nei comuni con concentrazione media annuale superiore a 40 µg/m³ NB: Partecipano al totale solo i campi in grassetto

Tabella 23. *PM₁₀ Impatto ricoveri per cause cardiache Anno 2007*

			Scenario 1		Scenario 2		Scenario 3		Scenario 4	
	Popolazione Totale (31 dicembre 2007)	PM ₁₀ (media annuale 2007)	N	ACR	N	ACR	N	ACR	N	ACR
BERGAMO - Provincia	1,059,593	34.3	1.7	0.2	1.7	0.2	14.7	1.4	5.9	0.6
BERGAMO	115,781	42.4	0.2	0.2	0.2	0.2	2.1	1.8	0.8	0.7
BRESCIA - Provincia	1,211,617	36.0	5.8	0.5	5.7	0.5	27.0	2.2	9.8	0.8
BRESCIA	189,742	48.4	2.3	1.2	2.3	1.2	7.6	4.0	2.6	1.4
COMO - Provincia	578,175	31.8	0.8	0.1	0.8	0.1	8.2	1.4	3.3	0.6
COMO	83,175	40.9	0.1	0.1	0.1	0.1	1.7	2.0	0.7	0.8
CREMONA - Provincia	355,947	41.1	1.2	0.3	1.2	0.3	8.3	2.3	3.2	0.9
CREMONA	71,998	43.9	0.4	0.6	0.4	0.6	2.3	3.2	0.9	1.3
LECCO - Provincia	331,607	32.9	0.3	0.1	0.3	0.1	4.1	1.2	1.7	0.5
LECCO	47,325	34.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.6	0.1	0.2
LODI - Provincia	219,670	41.4	0.5	0.2	0.5	0.2	4.6	2.1	1.7	0.8
MANTOVA - Provincia	403,665	38.5	0.6	0.1	0.6	0.1	7.8	1.9	3.1	0.8
MANTOVA	47,649	43.2	0.1	0.2	0.1	0.2	1.0	2.1	0.4	0.8
MILANO - Provincia	3,906,726	46.5	31.8	0.8	29.3	0.7	97.9	2.5	32.9	0.8
MILANO	1,299,633	51.0	15.0	1.2	14.0	1.1	42.4	3.3	14.0	1.1
CINISELLO BALSAMO	73,683	57.6	1.1	1.5	0.7	1.0	2.3	3.1	0.7	1.0

LEGNANO	56,942	43.7	0.1	0.2	0.1	0.2	0.7	1.2	0.3	0.5
MONZA	120,826	50.7	0.9	0.7	0.8	0.7	2.5	2.1	0.8	0.7
RHO	50,143	51.0	0.7	1.4	0.6	1.2	1.9	3.8	0.6	1.2
SESTO SAN GIOVANNI	80,886	53.8	1.1	1.4	0.9	1.1	2.7	3.3	0.9	1.1
PAVIA - Provincia	530,969	33.9	0.3	0.1	0.3	0.1	7.3	1.4	3.2	0.6
PAVIA	70,207	41.7	0.1	0.1	0.1	0.1	1.6	2.3	0.6	0.9
VIGEVANO	60,738	40.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.5	0.1	0.2
SONDRIO - Provincia	181,338	20.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.8	0.4	0.5	0.3
SONDRIO	22,214	31.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	1.4	0.2	0.9
VARESE - Provincia	863,099	29.3	1.0	0.1	1.0	0.1	11.4	1.3	4.9	0.6
VARESE	82,037	32.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.7	0.9	0.4	0.5
BUSTO ARSIZIO	80,633	42.2	0.2	0.2	0.2	0.2	2.1	2.6	0.8	1.0
TOTALE	9,642,406	35.1	39.7	0.4	37.3	0.4	176.9	1.8	64.9	0.7

Scenario 1 Solo i comuni con concentrazione media annuale di inquinante superiore a 40 µg/m³

Scenario 2 Diminuzione del 20% nella concentrazione media annuale di inquinante nei comuni con concentrazione media annuale superiore a 40 µg/m³

Scenario 3 Solo i comuni con concentrazione media annuale di inquinante superiore a 20 µg/m³

Scenario 4 Diminuzione del 20% nella concentrazione media annuale di inquinante nei comuni con concentrazione media annuale superiore a 20 µg/m³

NB: Partecipano al totale solo i campi in grassetto

Tabella 24. *PM₁₀ Impatto ricoveri per cause cerebrovascolari Anno 2007*

			Scenario 1		Scenario 2		Scenario 3		Scenario 4	
	Popolazione Totale (31 dicembre 2007)	PM ₁₀ (media annuale 2007)	N	ACR	N	ACR	N	ACR	N	ACR
BERGAMO - Provincia	1,059,593	34.3	2.2	0.2	2.2	0.2	19.2	1.8	7.7	0.7
BERGAMO	115,781	42.4	0.2	0.2	0.2	0.2	2.1	1.8	0.8	0.7
BRESCIA - Provincia	1,211,617	36.0	7.2	0.6	7.2	0.6	34.6	2.9	12.7	1.0
BRESCIA	189,742	48.4	2.7	1.4	2.7	1.4	9.0	4.7	3.1	1.6
COMO - Provincia	578,175	31.8	1.3	0.2	1.3	0.2	13.6	2.4	5.5	1.0
COMO	83,175	40.9	0.1	0.1	0.1	0.1	2.6	3.1	1.0	1.2
CREMONA - Provincia	355,947	41.1	1.8	0.5	1.8	0.5	13.3	3.7	5.2	1.5
CREMONA	71,998	43.9	0.7	1.0	0.7	1.0	4.4	6.1	1.6	2.2
LECCO - Provincia	331,607	32.9	0.5	0.2	0.5	0.2	6.7	2.0	2.8	0.8
LECCO	47,325	34.8	0.0	0.0	0.0	0.0	1.1	2.3	0.5	1.1
LODI - Provincia	219,670	41.4	0.6	0.3	0.6	0.3	5.8	2.6	2.2	1.0
MANTOVA - Provincia	403,665	38.5	1.0	0.2	1.0	0.2	13.7	3.4	5.5	1.4
MANTOVA	47,649	43.2	0.3	0.6	0.3	0.6	2.5	5.2	0.9	1.9
MILANO - Provincia	3,906,726	46.5	43.5	1.1	40.2	1.0	135.9	3.5	46.0	1.2
MILANO	1,299,633	51.0	18.9	1.5	17.6	1.4	53.2	4.1	17.6	1.4
CINISELLO BALSAMO	73,683	57.6	1.5	2.0	1.0	1.4	3.1	4.2	1.0	1.4

LEGNANO	56,942	43.7	0.1	0.2	0.1	0.2	0.9	1.6	0.3	0.5
MONZA	120,826	50.7	1.6	1.3	1.5	1.2	4.4	3.6	1.5	1.2
RHO	50,143	51.0	0.8	1.6	0.7	1.4	2.2	4.4	0.7	1.4
SESTO SAN GIOVANNI	80,886	53.8	1.5	1.9	1.1	1.4	3.6	4.5	1.1	1.4
PAVIA - Provincia	530,969	33.9	0.4	0.1	0.4	0.1	12.2	2.3	5.4	1.0
PAVIA	70,207	41.7	0.2	0.3	0.2	0.3	2.1	3.0	0.8	1.1
VIGEVANO	60,738	40.3	0.0	0.0	0.0	0.0	1.7	2.8	0.7	1.2
SONDRIO - Provincia	181,338	20.9	0.0	0.0	0.0	0.0	1.1	0.6	0.7	0.4
SONDRIO	22,214	31.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	1.4	0.2	0.9
VARESE - Provincia	863,099	29.3	1.3	0.2	1.3	0.2	17.8	2.1	7.9	0.9
VARESE	82,037	32.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.7	2.1	0.9	1.1
BUSTO ARSIZIO	80,633	42.2	0.2	0.2	0.2	0.2	2.4	3.0	0.9	1.1
TOTALE	9,642,406	35.1	52.9	0.5	49.8	0.5	248.5	2.6	92.8	1.0

Scenario 1 Solo i comuni con concentrazione media annuale di inquinante superiore a 40 µg/m³

Scenario 2 Diminuzione del 20% nella concentrazione media annuale di inquinante nei comuni con concentrazione media annuale superiore a 40 µg/m³

Scenario 3 Solo i comuni con concentrazione media annuale di inquinante superiore a 20 µg/m³

Scenario 4 Diminuzione del 20% nella concentrazione media annuale di inquinante nei comuni con concentrazione media annuale superiore a 20 µg/m³

NB: Partecipano al totale solo i campi in grassetto

Tabella 25. *PM₁₀ Impatto ricoveri per cause respiratorie Anno 2007*

			Scenario 1		Scenario 2		Scenario 3		Scenario 4	
	Popolazione Totale (31 dicembre 2007)	PM ₁₀ (media annuale 2007)	N	ACR	N	ACR	N	ACR	N	ACR
BERGAMO - Provincia	1,059,593	34.3	6.5	0.6	6.5	0.6	62.2	5.9	25.3	2.4
BERGAMO	115,781	42.4	0.8	0.7	0.8	0.7	7.0	6.0	2.7	2.3
BRESCIA - Provincia	1,211,617	36.0	26.1	2.2	26.1	2.2	126.7	10.5	46.5	3.8
BRESCIA	189,742	48.4	7.9	4.2	7.9	4.2	26.5	14.0	9.1	4.8
COMO - Provincia	578,175	31.8	4.4	0.8	4.4	0.8	44.8	7.7	17.8	3.1
COMO	83,175	40.9	0.4	0.5	0.4	0.5	9.1	10.9	3.6	4.3
CREMONA - Provincia	355,947	41.1	5.1	1.4	5.1	1.4	36.1	10.1	13.9	3.9
CREMONA	71,998	43.9	1.7	2.4	1.7	2.4	10.0	13.9	3.7	5.1
LECCO - Provincia	331,607	32.9	1.4	0.4	1.4	0.4	18.4	5.5	7.7	2.3
LECCO	47,325	34.8	0.0	0.0	0.0	0.0	2.0	4.2	0.9	1.9
LODI - Provincia	219,670	41.4	2.2	1.0	2.2	1.0	18.6	8.5	7.1	3.2
MANTOVA - Provincia	403,665	38.5	2.5	0.6	2.5	0.6	32.1	8.0	13.1	3.2
MANTOVA	47,649	43.2	0.6	1.3	0.6	1.3	4.3	9.0	1.6	3.4
MILANO - Provincia	3,906,726	46.5	139.0	3.6	127.7	3.3	429.8	11.0	145.4	3.7
MILANO	1,299,633	51.0	51.7	4.0	48.1	3.7	145.2	11.2	48.1	3.7
CINISELLO BALSAMO	73,683	57.6	6.7	9.1	4.4	6.0	14.1	19.1	4.4	6.0

LEGNANO	56,942	43.7	0.4	0.7	0.4	0.7	2.5	4.4	0.9	1.6
MONZA	120,826	50.7	4.3	3.6	4.1	3.4	12.2	10.1	4.1	3.4
RHO	50,143	51.0	2.6	5.2	2.4	4.8	7.3	14.6	2.4	4.8
SESTO SAN GIOVANNI	80,886	53.8	6.0	7.4	4.7	5.8	14.5	17.9	4.7	5.8
PAVIA - Provincia	530,969	33.9	1.4	0.3	1.4	0.3	34.9	6.6	15.2	2.9
PAVIA	70,207	41.7	0.4	0.6	0.4	0.6	5.3	7.5	2.0	2.8
VIGEVANO	60,738	40.3	0.1	0.2	0.1	0.2	6.7	11.0	2.7	4.4
SONDRIO - Provincia	181,338	20.9	0.0	0.0	0.0	0.0	3.2	1.8	2.2	1.2
SONDRIO	22,214	31.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	4.5	0.6	2.7
VARESE - Provincia	863,099	29.3	4.7	0.5	4.7	0.5	54.8	6.3	23.8	2.8
VARESE	82,037	32.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.2	5.1	2.2	2.7
BUSTO ARSIZIO	80,633	42.2	0.8	1.0	0.8	1.0	8.5	10.5	3.2	4.0
TOTALE	9,642,406	35.1	171.1	1.8	160.3	1.7	780.6	8.1	289.9	3.0

Scenario 1 Solo i comuni con concentrazione media annuale di inquinante superiore a 40 µg/m³

Scenario 2 Diminuzione del 20% nella concentrazione media annuale di inquinante nei comuni con concentrazione media annuale superiore a 40 µg/m³

Scenario 3 Solo i comuni con concentrazione media annuale di inquinante superiore a 20 µg/m³

Scenario 4 Diminuzione del 20% nella concentrazione media annuale di inquinante nei comuni con concentrazione media annuale superiore a 20 µg/m³

NB: Partecipano al totale solo i campi in grassetto

Tabella 26. *NO₂ Impatto ricoveri per cause cardiache Anno 2007*

			Scenario 1		Scenario 2	
	Popolazione Totale (31 dicembre 2007)	NO ₂ (media annuale 2007)	N	ACR	N	ACR
BERGAMO - Provincia	1,059,593	28.4	5.0	0.5	5.0	0.5
BERGAMO	115,781	40.5	0.5	0.4	0.5	0.4
BRESCIA - Provincia	1,211,617	31.8	53.0	4.4	38.7	3.2
BRESCIA	189,742	58.4	31.8	16.8	20.3	10.7
COMO - Provincia	578,175	34.7	19.0	3.3	18.2	3.1
COMO	83,175	51.1	7.6	9.1	7.0	8.4
CREMONA - Provincia	355,947	27.9	0.2	0.1	0.2	0.1
CREMONA	71,998	40.3	0.2	0.3	0.2	0.3
LECCO - Provincia	331,607	33.3	5.2	1.6	5.2	1.6
LECCO	47,325	49.3	2.9	6.1	2.9	6.1
LODI - Provincia	219,670	28.1	0.1	0.0	0.1	0.0
MANTOVA - Provincia	403,665	28.3	0.0	0.0	0.0	0.0
MANTOVA	47,649	33.6	0.0	0.0	0.0	0.0
MILANO - Provincia	3,906,726	47.2	366.2	9.4	236.0	6.0
MILANO	1,299,633	60.1	160.6	12.4	96.4	7.4
CINISELLO BALSAMO	73,683	72.7	20.0	27.1	9.0	12.2
LEGNANO	56,942	45.5	1.6	2.8	1.6	2.8

MONZA	120,826	59.4	13.2	10.9	8.1	6.7
RHO	50,143	60.7	11.0	21.9	6.5	13.0
SESTO SAN GIOVANNI	80,886	66.0	14.1	17.4	7.2	8.9
PAVIA - Provincia	530,969	23.7	0.0	0.0	0.0	0.0
PAVIA	70,207	33.8	0.0	0.0	0.0	0.0
VIGEVANO	60,738	36.4	0.0	0.0	0.0	0.0
SONDRIO - Provincia	181,338	17.7	0.0	0.0	0.0	0.0
SONDRIO	22,214	26.3	0.0	0.0	0.0	0.0
VARESE - Provincia	863,099	35.3	21.8	2.5	20.7	2.4
VARESE	82,037	43.1	1.2	1.5	1.2	1.5
BUSTO ARSIZIO	80,633	44.2	2.2	2.7	2.2	2.7
TOTALE	9,642,406	30.5	421.3	4.4	285.3	3.0

Scenario 1 Solo i comuni con concentrazione media annuale di inquinante superiore a 40 µg/m³

Scenario 2 Diminuzione del 20% nella concentrazione media annuale di inquinante nei comuni con concentrazione media annuale superiore a 40 µg/m³

NB: Partecipano al totale solo i campi in grassetto

Tabella 27. *NO₂ Impatto ricoveri per cause cerebrovascolari*
Anno 2007

	Popolazione Totale (31 dicembre 2007)	NO ₂ (media annuale 2007)	Scenario 1		Scenario 2	
			N	ACR	N	ACR
BERGAMO - Provincia	1,059,593	28.4	2.3	0.2	2.3	0.2
BERGAMO	115,781	40.5	0.2	0.2	0.2	0.2
BRESCIA - Provincia	1,211,617	31.8	29.9	2.5	21.6	1.8
BRESCIA	189,742	58.4	19.7	10.4	12.6	6.6
COMO - Provincia	578,175	34.7	11.6	2.0	11.2	1.9
COMO	83,175	51.1	4.5	5.4	4.1	4.9
CREMONA - Provincia	355,947	27.9	0.2	0.1	0.2	0.1
CREMONA	71,998	40.3	0.2	0.3	0.2	0.3
LECCO - Provincia	331,607	33.3	3.6	1.1	3.6	1.1
LECCO	47,325	49.3	2.1	4.4	2.1	4.4
LODI - Provincia	219,670	28.1	0.0	0.0	0.0	0.0
MANTOVA - Provincia	403,665	28.3	0.0	0.0	0.0	0.0
MANTOVA	47,649	33.6	0.0	0.0	0.0	0.0
MILANO - Provincia	3,906,726	47.2	225.2	5.8	145.5	3.7
MILANO	1,299,633	60.1	113.0	8.7	68.1	5.2
CINISELLO BALSAMO	73,683	72.7	9.2	12.5	4.1	5.6

LEGNANO	56,942	45.5	0.6	1.1	0.6	1.1
MONZA	120,826	59.4	8.5	7.0	5.3	4.4
RHO	50,143	60.7	4.2	8.4	2.5	5.0
SESTO SAN GIOVANNI	80,886	66.0	9.1	11.3	4.7	5.8
PAVIA - Provincia	530,969	23.7	0.0	0.0	0.0	0.0
PAVIA	70,207	33.8	0.0	0.0	0.0	0.0
VIGEVANO	60,738	36.4	0.0	0.0	0.0	0.0
SONDRIO - Provincia	181,338	17.7	0.0	0.0	0.0	0.0
SONDRIO	22,214	26.3	0.0	0.0	0.0	0.0
VARESE - Provincia	863,099	35.3	13.2	1.5	12.6	1.5
VARESE	82,037	43.1	1.3	1.6	1.3	1.6
BUSTO ARSIZIO	80,633	44.2	1.4	1.7	1.4	1.7
TOTALE	9,642,406	30.5	255.1	2.6	172.4	1.8

Scenario 1 Solo i comuni con concentrazione media annuale di inquinante superiore a 40 µg/m³

Scenario 2 Diminuzione del 20% nella concentrazione media annuale di inquinante nei comuni con concentrazione media annuale superiore a 40 µg/m³

NB: Partecipano al totale solo i campi in grassetto

Tabella 28. NO₂ Impatto ricoveri per cause respiratorie Anno 2007

			Scenario 1		Scenario 2	
	Popolazione Totale (31 dicembre 2007)	NO ₂ (media annuale 2007)	N	ACR	N	ACR
BERGAMO - Provincia	1,059,593	28.4	3.7	0.3	3.7	0.3
BERGAMO	115,781	40.5	0.3	0.3	0.3	0.3
BRESCIA - Provincia	1,211,617	31.8	50.1	4.1	36.0	3.0
BRESCIA	189,742	58.4	31.5	16.6	20.1	10.6
COMO - Provincia	578,175	34.7	19.3	3.3	18.5	3.2
COMO	83,175	51.1	7.4	8.9	6.8	8.2
CREMONA - Provincia	355,947	27.9	0.2	0.1	0.2	0.1
CREMONA	71,998	40.3	0.2	0.3	0.2	0.3
LECCO - Provincia	331,607	33.3	4.1	1.2	4.1	1.2
LECCO	47,325	49.3	2.1	4.4	2.1	4.4
LODI - Provincia	219,670	28.1	0.1	0.0	0.1	0.0
MANTOVA - Provincia	403,665	28.3	0.0	0.0	0.0	0.0
MANTOVA	47,649	33.6	0.0	0.0	0.0	0.0
MILANO - Provincia	3,906,726	47.2	372.8	9.5	239.6	6.1
MILANO	1,299,633	60.1	172.5	13.3	103.7	8.0
CINISELLO BALSAMO	73,683	72.7	19.1	25.9	8.6	11.7
LEGNANO	56,942	45.5	0.8	1.4	0.8	1.4

MONZA	120,826	59.4	12.1	10.0	7.4	6.1
RHO	50,143	60.7	7.9	15.8	4.7	9.4
SESTO SAN GIOVANNI	80,886	66.0	16.8	20.8	8.6	10.6
PAVIA - Provincia	530,969	23.7	0.0	0.0	0.0	0.0
PAVIA	70,207	33.8	0.0	0.0	0.0	0.0
VIGEVANO	60,738	36.4	0.0	0.0	0.0	0.0
SONDRIO - Provincia	181,338	17.7	0.0	0.0	0.0	0.0
SONDRIO	22,214	26.3	0.0	0.0	0.0	0.0
VARESE - Provincia	863,099	35.3	20.4	2.4	19.5	2.3
VARESE	82,037	43.1	1.6	2.0	1.6	2.0
BUSTO ARSIZIO	80,633	44.2	2.3	2.9	2.3	2.9
TOTALE	9,642,406	30.5	420.8	4.4	282.5	2.9

Scenario 1 Solo i comuni con concentrazione media annuale di inquinante superiore a 40 µg/m³

Scenario 2 Diminuzione del 20% nella concentrazione media annuale di inquinante nei comuni con concentrazione media annuale superiore a 40 µg/m³

NB: Partecipano al totale solo i campi in grassetto

•

9. SINTESI GRAFICA DEI RISULTATI

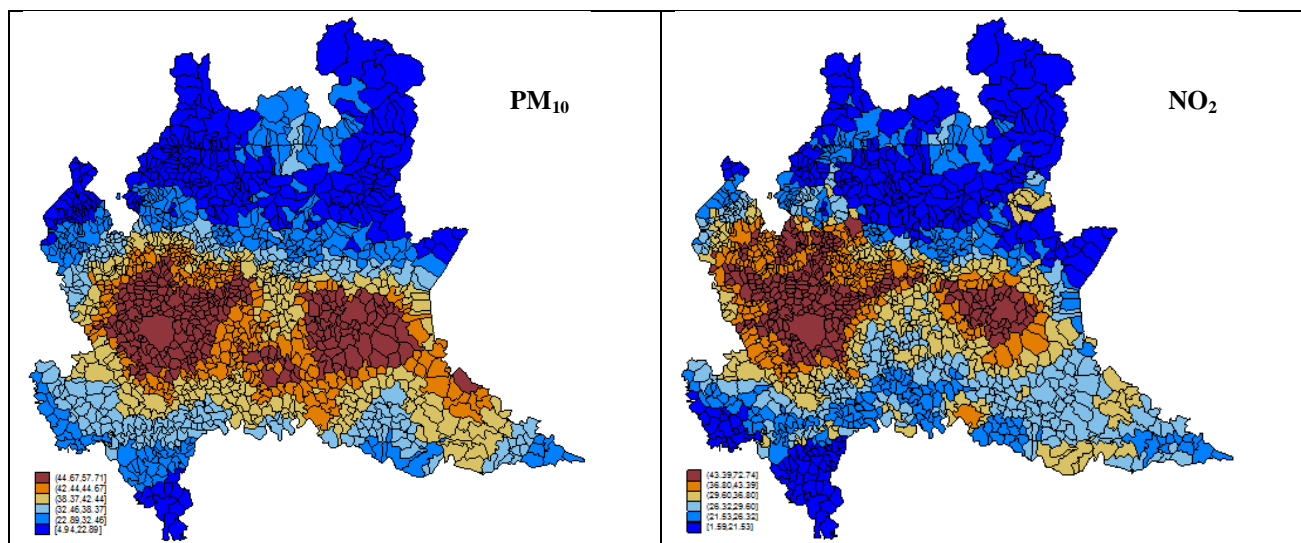
Nelle figure che seguono vengono sintetizzati graficamente i risultati delle stime di impatto sulla mappa della regione Lombardia suddivisa per aree comunali.

La mappatura delle morti attribuibili a PM₁₀ (figura 29) evidenzia il gradiente tra area pianeggiante centrale, area collinare sud e zona prealpina e alpina a nord. Nell'area centrale spicca l'area metropolitana di Milano con la corona di comuni a nord, nord-est.

In figura 30, che rappresenta le morti attribuibili a NO₂, l'area centrale pianeggiante con i valori più elevati si restringe ma aumentano le aree comunali con un numero apprezzabile di eventi attribuibili. Si distinguono due aggregazioni principali: Brescia con i comuni circostanti e Milano cui fanno corona un numero maggiore di comuni rispetto all'immagine di PM₁₀. Anche Como e Varese si distaccano dal resto della regione.

Le mappe dei ricoveri ospedalieri per l'insieme delle cause considerate attribuibili a PM₁₀ (figura 31) e a NO₂ (figura 32) ricalcano e precisano l'immagine emersa dalla mappatura dei decessi nei singoli comuni.

Per favorire un confronto visivo tra mappatura degli inquinanti e mappatura degli eventi (mortalità e ricoveri) vengono riproposte qui sotto le figure 26 e 27 già riportate in precedenza.



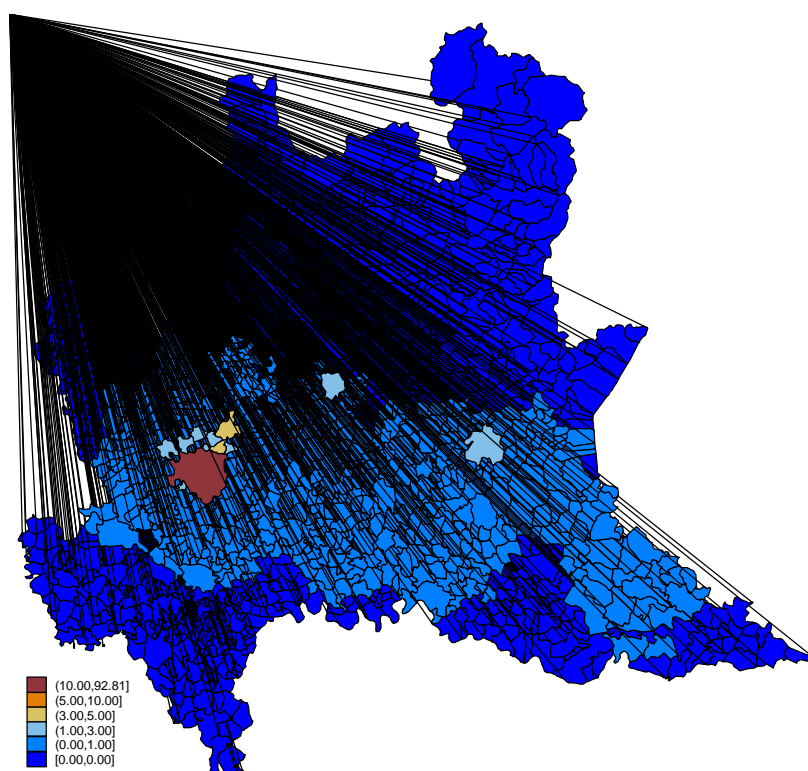


Figura 29. Decessi attribuibili a PM_{10} nei 1.546 comuni

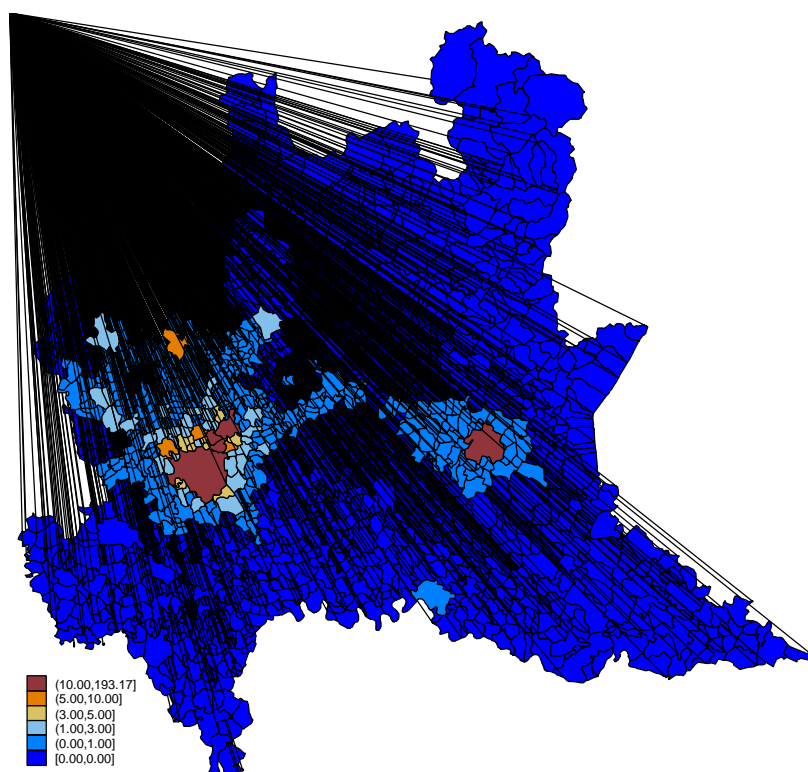


Figura 30. Decessi attribuibili a NO_2 nei 1.546 comuni

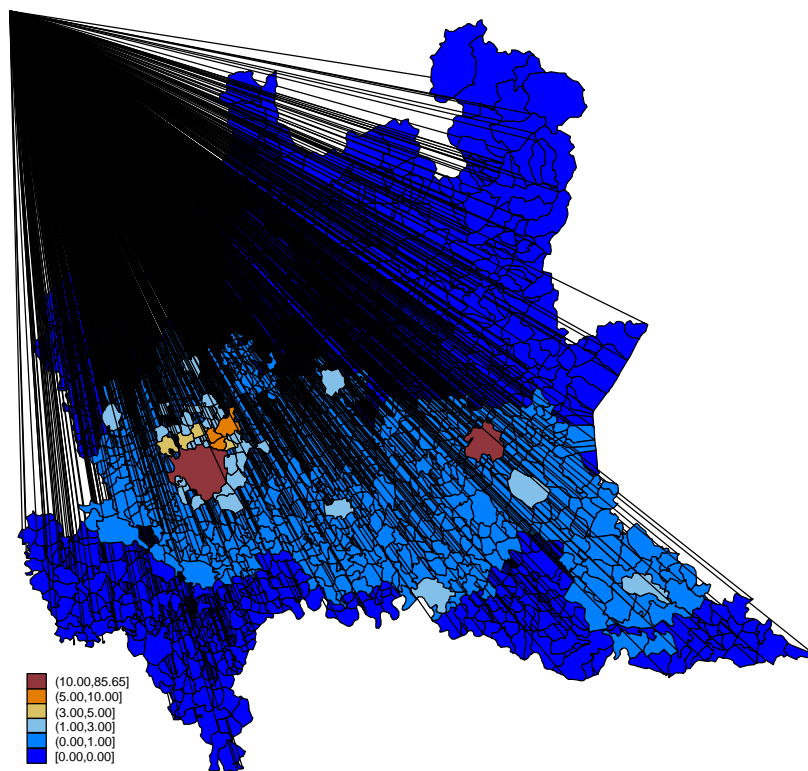


Figura 31. Ricoveri per il totale delle cause considerate attribuibili a PM_{10} nei 1.546 comuni

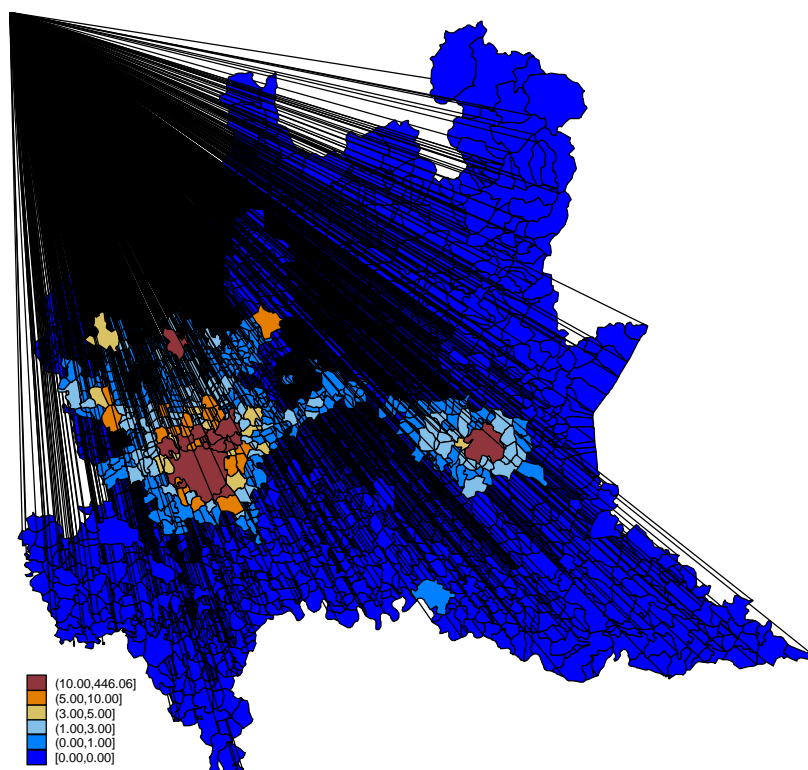


Figura 32. Ricoveri per il totale delle cause considerate attribuibili a NO_2 nei 1.546 comuni

10. DISCUSSIONE E IMPLICAZIONI DI SANITA' PUBBLICA

Con questo progetto abbiamo ottenuto - per la prima volta nei residenti di un'intera regione in Italia, e non solo in quelli di una o più città - stime dell'effetto, dell'esposizione e dell'impatto sulla salute dell'esposizione a due tra i principali inquinanti atmosferici, PM₁₀ e NO₂. Le stime hanno tenuto conto delle caratteristiche peculiari sia dell'inquinamento sia della popolazione della regione. Precedenti stime d'impatto erano prevalentemente basate su stime d'effetto prodotte in contesti diversi e talora lontani (Martuzzi et al., 2006; Biggeri A, et al, 2004.)

L'effetto è stato stimato nel periodo 2003-2006 come variazione percentuale (vp%) della mortalità per cause naturali, cardiovascolari e respiratorie e dei ricoveri per patologie cardiache, cerebrovascolari e respiratorie, associata a un incremento di 10µg/m³ della concentrazione di PM₁₀ e di NO₂ nei giorni immediatamente precedenti l'evento (lag0-1 per la mortalità e lag0-3 per i ricoveri). L'effetto di PM₁₀ sulla mortalità è più elevato per le cause respiratorie (vp% = 1.64) rispetto al totale delle cause naturali e a quelle cardiovascolari (vp% per entrambe= 0.30). E' nettamente più marcato nella stagione estiva ed è maggiore nella fascia di età più avanzata (oltre 75 anni). L'effetto di NO₂ sulla mortalità è 0.70% per tutte le cause naturali, maggiore per le cause cardiovascolari (vp%=1.12) che non per le cause respiratorie (vp%=0.46), ed è anch'esso accentuato dalla stagione calda. Meno costante l'andamento per età, con effetti maggiori per cause respiratorie nelle età inferiori a 65 anni e per cause cardiovascolari nelle età superiori a 65 anni.

Sui ricoveri, coerentemente a quanto visto per la mortalità, l'effetto di PM₁₀ è più elevato sulle patologie respiratorie (vp%=0.54) rispetto a quelle cardiache (vp%=0.14). E' degno di nota nei nostri dati l'incremento per patologie cerebrovascolari (vp%=0.77). Per tutte queste patologie si osserva un netto aumento dell'effetto nella stagione estiva. L'avanzare dell'età accentua l'effetto sui ricoveri per cause cerebrovascolari ma non su quelli cardiaci; l'effetto maggiore sui ricoveri per cause respiratorie è sotto i 75 anni. L'effetto di NO₂ è maggiore per i ricoveri per cause respiratorie (vp%=1.70) rispetto alle cerebrovascolari (vp%=1.20) e cardiache (vp%=1.14) e appare potenziato dalla stagione calda soprattutto per cerebrovascolari e respiratorie. I valori per età mostrano effetti più marcati sotto i 75 anni.

Le stime d'effetto città-specifiche *a posteriori* ("pesate", come sopra illustrato, sulla stima complessiva d'effetto e sulla dimensione della popolazione di ciascuna città) mostrano un'eterogeneità contenuta tra le diverse aree sia per la mortalità sia per i ricoveri. Fa eccezione l'effetto sulla mortalità naturale del PM₁₀ che a Milano ha un valore circa doppio (vp%=0.63 intervallo di credibilità 50% 0.48; 0.78) rispetto a quello dell'intera regione (vp%=0.30 intervallo di credibilità 50% 0.14; 0.50). In generale, le città a nord di Milano, da Rho a Monza, e quelle degli altri agglomerati urbani più consistenti come Brescia presentano valori superiori a quello complessivo della meta-analisi.

L'impatto sulla salute è stato valutato calcolando per ciascun comune lombardo il numero di eventi (decessi o ricoveri) attribuibili nell'anno 2007 all'esposizione a PM₁₀ e NO₂. Per ciascun comune, il calcolo degli eventi attribuibili è stato compiuto utilizzando i risultati delle misure di effetto, il valore medio di esposizione a inquinanti nel 2007 e la mortalità o i ricoveri osservati in quello stesso anno. E' chiaro che il numero di casi dipende dalla dimensione demografica di ciascun comune, ma abbiamo preferito i numeri assoluti alla percentuale per evidenziare il carico di malattia in termini complessivi e immediatamente comprensibili anche al lettore non esperto.

L'impatto è stato stimato separatamente per PM₁₀ e NO₂. Il particolato sottile, PM₁₀, è considerato direttamente rappresentativo dell'esposizione alle componenti nocive dell'inquinamento atmosferico, mentre NO₂ si comporta più come marcatore globale d'esposizione e non sembra di per sé implicato nella patogenesi di alcuni fenomeni indagati come quelli cardiaci.

Dal punto di vista della ricaduta applicativa, più di rilievo sono i risultati d'impatto rispetto agli scenari controfattuali 1 e 2 legati al limite UE di 40µg/m³ (da non superare: scenario 1; o come

riduzione del 20% nel caso del suo superamento: scenario 2). Da essi, infatti, derivano obiettivi che potrebbero essere realisticamente perseguibili, seppure con misure complesse sia come progettazione sia come accettabilità da parte della popolazione. Al contrario, gli scenari OMS legati al limite di $20\mu\text{g}/\text{m}^3$ rimangono istruttivi e utili come quantificazione del danno che presumibilmente il loro superamento comporta, ma difficilmente possono indicare obiettivi perseguibili in tempi prevedibili, considerando anche il peso del fattore ‘meteorologia’ in pianura padana.

Di rilievo il dato che una diminuzione del 20% dei valori di PM_{10} superiori a $40\mu\text{g}/\text{m}^3$ permetterebbe di evitare gran parte delle morti attualmente attribuibili a tale inquinante rispetto ai limiti di legge. Prendendo quale esempio la mortalità complessiva per cause naturali nel 2007, il non aver superato la media annuale di $40\mu\text{g}/\text{m}^3$ (scenario 1) avrebbe evitato in un anno in regione 169 decessi (di cui 144 in provincia e 93 in città di Milano); i corrispondenti numeri per una diminuzione del 20% dei valori superiori a quella media (scenario 2) sono 160 (regione), 133 (provincia MI) e 86 (Milano città). Rispetto al carico globale rappresentato dai superamenti del limite OMS di $20\mu\text{g}/\text{m}^3$ (scenario 3) nell'insieme di tutti i comuni della regione, il raggiungimento dell'obiettivo di contenimento entro il limite UE di $40\mu\text{g}/\text{m}^3$ farebbe prevenire il 22% (169 su 756) dei decessi attribuibili, che salgono al 33% (144 su 434) se consideriamo la Provincia di Milano e il 35% (93 su 261) per il comune di Milano.

Per la mortalità per cause cardiache i corrispondenti eventi attribuibili ai superamenti della media annuale di $40\mu\text{g}/\text{m}^3$ (scenario 1) erano rispettivamente (regione, provincia di Milano, comune di Milano) 41, 32, 15; e per quelle respiratorie 53, 42 e 21.

Il numeri di eventi attribuibili utilizzando NO_2 come indicatore di esposizione, sono più elevati. Si ricorda che nel caso di questo inquinante OMS indica un limite come linea guida sulla qualità dell'aria che corrisponde al limite UE. Pertanto, nello scenario 1 i decessi evitabili con lo scendere sotto la media annua di $40\mu\text{g}/\text{m}^3$ di NO_2 sono pari a 410, di cui 366 in provincia e 193 in città di Milano, e vengono a rappresentare sia il carico globale sia il valore cui tendere secondo la legislazione europea. I corrispondenti valori per lo scenario 2 (diminuzione del 20%) sono 278 (regione), 235 (provincia) e 116 (città). Per NO_2 , rispetto al carico globale rappresentato dai superamenti del limite OMS e EU di $40\mu\text{g}/\text{m}^3$ nell'insieme di tutti i comuni della regione, il raggiungimento dell'obiettivo di riduzione del 20% farebbe prevenire ben il 68% (278 su 410) dei decessi attribuibili, anche se in questo caso parliamo solo di un marcatore di esposizione (Kelly F et al, 2011).

Con questo indicatore di esposizione, la mortalità per cause cardiache presenta valori nettamente più elevati rispetto a quella per cause respiratorie. A livello regionale abbiamo, ad esempio, 217 decessi contro 22 sotto lo scenario 1; 148 contro 15 sotto lo scenario 2.

I ricoveri evitabili con la riduzione al disotto di $40\mu\text{g}/\text{m}^3$ del valore annuo medio di PM_{10} nei comuni che lo superano, sono, a livello regionale, 171 per le malattie respiratorie (160 nello scenario 2 di riduzione del 20%), 53 per quelle cerebrovascolari (49 nello scenario 2) e 40 per malattie cardiache (37 nello scenario 2). Rispetto al carico globale rappresentato dal superamento del limite OMS di $20\mu\text{g}/\text{m}^3$ sono percentuali simili a quelle osservate per la mortalità, intorno al 22% per tutte le patologie considerate.

Il numero di ricoveri attribuibili a NO_2 è pari a 421 per cause cardiache, 255 per cause cerebrovascolari e ancora 421 per cause respiratorie (numeri corrispondenti nello scenario 2: 285, 172, 283). I decessi attribuibili corrispondenti nello scenario 2 di riduzione del 20% sono rispettivamente: 285, 172, 283.

La diminuzione del 20% dei valori comunali di media annua $>40\mu\text{g}/\text{m}^3$ appare, anche per le stime di ricovero ospedaliero, una misura con potenziale, importante impatto migliorativo sulle condizioni di salute della popolazione.

L'impatto tende a concentrarsi nelle aree più popolate, e questo è ovvio trattandosi di numero di eventi causati da un determinato effetto unitario. Queste aree, tuttavia, sono anche quelle più inquinate e quelle dove le popolazioni presentano, probabilmente, elementi di fragilità rispetto a questi fattori di rischio. Paradigmatico è il caso di Milano. Qui la popolazione ha un'attesa di vita superiore, cioè vive mediamente più a lungo, rispetto alle popolazioni di altre aree della regione o del paese. Tuttavia, giunta a un'età più avanzata proprio grazie all'assenza o alla minor gravità e/o diffusione dei fattori di rischio che penalizzano altre popolazioni, gli abitanti di Milano vengono a trovarsi in una condizione di fragilità rispetto a questi fattori di rischio ambientali.

E' importante notare che i valori d'impatto dei due inquinanti non possono, e quindi non devono, essere sommati. Infatti, sia PM10 sia NO2 sono marcatori della medesima esposizione, cioè della complessa miscela di sostanze e composti che definiamo 'inquinamento atmosferico'. Che siano misurazioni diverse di uno stesso fenomeno è messo in luce dal confronto delle loro stime di effetto. Si può, infatti, mostrare che riportando le stime d'effetto prima presentate per unità di deviazione standard (o per range interquartile), cioè standardizzandole in modo da renderle comparabili, non si ha evidenza di un'importante differenza tra i due indicatori d'inquinamento. Dai dati complessivi della meta-analisi si è ottenuta una deviazione standard per NO2 pari a 13.02 e per PM10 pari a 28.65. Se utilizziamo, come esempio, i valori di effetto sulla mortalità complessiva per cause naturali, la stima d'effetto per unità di deviazione standard diventa $0.7 \times 1.3 = 0.91$ per NO2 e $0.3 \times 2.8 = 0.84$ per PM10. Una differenza minima, se pur tale.

In generale, i valori d'impatto ottenuti per NO2 sono più elevati di quelli per PM10. Si tratta di un'evidenza empirica solida (si vedano gli intervalli di credibilità delle stime). Per quanto appena detto, non sembra però che ciò possa essere attribuito a un effetto unitario maggiore del primo inquinante. E' quanto documentano anche i valori-limite di qualità dell'aria definiti da OMS, che differiscono per i due inquinanti: per PM10, dove più forti sono le prove tossicologiche e le evidenze epidemiologiche circa una relazione causale, il limite è di $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$; per NO2, considerato invece come marcatore generico di esposizione, è di $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$. L'impatto dei superamenti del livello EU di $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ha quindi un significato diverso a seconda dell'inquinante considerato, con NO2 che rappresenta un impatto generico e PM10 un impatto relativo ad una effettiva riduzione della concentrazione del principio 'biologicamente attivo' sotto una certa soglia. Per la mortalità per cause naturali, l'impatto di NO2 con circa 400 decessi si colloca a livello intermedio tra quello calcolato per PM10 sotto lo scenario 1 (limite $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$) che è di circa 170 decessi, e quello sotto lo scenario 3 (limite OMS $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$) che è di circa 760 decessi.

Accanto a queste considerazioni generali, va ricordato che un ruolo può invece aver giocato il livello di esposizione che per NO2 tende a raggiungere concentrazioni medie più elevate rispetto a PM10 in molte aree, incluse quelle più popolate di Milano e della sua provincia, con l'eccezione di zone (quali la provincia di Lodi e Sondrio) dove il traffico come sorgente d'inquinanti sembra avere minore rilevanza. E, in effetti, le stime per NO2 appaiono, nel complesso dei risultati, dare rilevanza alla sorgente traffico. Gli effetti tossici di NO2 riguardano in particolare le vie aeree soprattutto dopo esposizioni accidentali a concentrazioni molto elevate quali possono svilupparsi negli ambienti di lavoro; anche l'esposizione a concentrazioni più basse per periodi prolungati è ritenuta favorire la comparsa, nel tempo, di alterazioni respiratorie croniche. Per PM10 esiste un'amplessima letteratura sui possibili effetti nell'organismo umano a livello sistemico, legati, in particolare, alla sua componente più sottile (PM2.5): oltre che da meccanismi di infiammazione e stress ossidativo, tali effetti sono mediati da alterazioni della coagulazione, della funzione endoteliale, dell'equilibrio tra sistema nervoso simpatico e parasimpatico ed altri. Sembra, quindi, che per documentare complessivamente l'impatto sulla salute dell'inquinamento atmosferico la componente "particolato" sia la più pertinente da un punto di vista biologico. La componente "ossido nitrico" si caratterizza,

invece, per concentrazioni più elevate sul territorio regionale e le stime ad essa associate potrebbero rappresentare il 'limite superiore' ovvero lo "scenario peggiore" (worst case scenario) della variazione d'impatto prevedibile.

La collaborazione in atto con l'Università Harvard (USA) ha aperto ulteriori importanti prospettive la prima delle quali è una più completa e avanzata stima a livello regionale dell'inquinamento da PM10 con l'utilizzo dei dati satellitari. Sfruttando le misure di densità ottica della colonna d'aria (AOD) rilevate dal satellite MODIS della NASA abbiamo costruito un modello geografico che stima la concentrazione giornaliera di PM10 dal 2000 al 2009 a due diversi livelli di risoluzione per la regione Lombardia. Il primo livello in celle di 10km x 10km e il secondo livello in celle di 200m x 200m. Il modello geografico adottato ha riportato delle buone statistiche di performance, migliori di altri modelli proposti in letteratura. Questo nuovo strumento permetterà di associare un'accurata stima d'esposizione ai soggetti residenti in Lombardia per studiare effetti sia a breve sia a lungo termine dell'inquinamento sulla salute umana.

In conclusione

In questo progetto sono state per la prima volta condotte stime quantitative dell'impatto a breve termine sulla salute di PM10 e NO2 a livello regionale. L'impatto è stato basato su stime di effetto ottenute nel territorio e nella popolazione ivi residente, e non tratte dalla letteratura scientifica. Le stime sono presentate come eventi (decessi e ricoveri) che si sarebbero potuti evitare se il livello medio annuale d'inquinanti fosse stato pari a una prefissata soglia di concentrazione. E' emerso che interventi capaci di diminuire anche solo di una frazione (20%) i livelli nelle aree con concentrazioni superiori a 40µg/m³ come media annuale porterebbero un sostanziale, immediato beneficio in termini di ricoveri ospedalieri e morti premature evitate. Particolare rilevanza nel produrre gli effetti indagati sembra avere - in accordo con i dati di molte altre aree del mondo - il traffico veicolare.

Collaborazioni internazionali hanno posto le basi per una valorizzazione delle misurazioni della rete regionale di qualità dell'aria con la prospettiva di poter attribuire (grazie anche ai dati satellitari) stime di esposizione per i residenti della regione per stimare l'impatto a lungo termine su patologie cronico-degenerative.

I risultati preliminari di questo studio di impatto riguardanti i decessi naturali attribuibili a PM₁₀ in regione sono stati pubblicati su *American Journal of Epidemiology*. Copia della pubblicazione è allegata.

11. IL NUOVO MODELLO DI ESPOSIZIONE A PM₁₀ CON L'USO DI DATI SATELLITARI (collaborazione con *Harvard University School of Public Health*)

La collaborazione in atto con Università di Harvard (USA) nell'ambito del progetto ESSIA ha aperto importanti prospettive la prima delle quali è una più completa e avanzata stima a livello regionale dell'inquinamento da PM₁₀ con l'utilizzo dei dati satellitari.

Le elaborazioni degli spettri di radianza nel *range* (400-2100) nm acquisiti dai sensori satellitari forniscono una misura dell'abbondanza degli aerosol atmosferici in termini di spessore ottico colonnare di aerosol (AOD, *aerosol optical depth*) definito come l'integrale su tutta la colonna atmosferica del coefficiente di estinzione dell'aerosol (Kokhanovsky, Breon et al. 2007). Tale quantità è una misura dell'accumulo in atmosfera di polveri sottili di natura antropogenica, in particolar modo in assenza di fenomeni di trasporto di aerosol naturale (Bäumer, Rinke et al. 2008). La relazione tra lo spessore ottico colonnare di aerosol e il materiale particolato (PM) alla superficie dipende dalla regione, dalla stagione, nonché dal tipo, dalle proprietà microfisiche e dal profilo verticale dell'aerosol. In particolare, l'AOD, essendo una misura dell'estinzione dell'aerosol nel *range* delle lunghezze d'onda del visibile, è fortemente correlato con concentrazioni di particolato che hanno un diametro compreso tra 0.1 e 2-3 μ m. Recenti pubblicazioni scientifiche hanno dimostrato che i valori dello spessore ottico AOD rilevati da satellite sono utilizzabili come *proxy* per stimare la concentrazione giornaliera di PM con diametro aerodinamico inferiore a 2.5 μ m (PM_{2.5}) o 10 μ m (PM₁₀) (Liu, Paciorek et al. 2009) (Kloog, Koutrakis et al. 2011).

Obiettivo raggiunto

Sfruttando le misure di AOD rilevate dal satellite MODIS della NASA (<http://modis.gsfc.nasa.gov/>) abbiamo costruito un modello geografico che stima la concentrazione giornaliera di PM₁₀ dal 2000 al 2009 a due diversi livelli di risoluzione per la regione Lombardia. Il primo livello in celle di 10km x 10km e il secondo livello in celle di 200m x 200m. Abbiamo applicato la stessa modello separatamente per ogni anno. L'indice di bontà di adattamento R² cross-validato medio per i 10 anni è di 0.81. Ogni modello è stato validato con la tecnica di cross-validazione. Tale tecnica consiste nella suddivisione del dataset totale in k parti e, ad ogni passo, la parte (1/k)-esima del dataset viene a essere il *validation* dataset, mentre la restante parte costituisce il *training* dataset. Così, per ognuna delle k parti si allena il modello, evitando quindi problemi di *overfitting*, ma anche di campionamento asimmetrico (e quindi affetto da bias) del *training dataset*, tipico della suddivisione del dataset in due sole parti (ovvero *training* e *validation dataset*).

Descrizione del metodo

Il modello geografico si sviluppa nelle seguenti quattro fasi o stage:

Stage 1:

Per ogni giorno dell'anno abbiamo cercato i valori di AOD più vicini ai valori di PM₁₀ misurati dai monitor disponibili della RETE ARIA di ARPA (<http://ita.arpalombardia.it/ITA/qaria/Home.asp>). Costruito il dataset contenente tutti i siti spaziali contenenti le coppie di valori AOD-PM₁₀ abbiamo adattato il seguente modello lineare ad effetti misti:

$$PM_{ij} = (a + u_j) + (b_1 + v_j) AOD_{ij} + (b_2 + k_j) \text{Temperatura}_{ij} + \text{Variabili atmosferiche} + \text{Variabili spaziali}$$

Dove PM_{ij} è il valore misurato di PM₁₀ il giorno (j) al sito spaziale (i). Questo modello detto di "calibrazione" permette di catturare la relazione giornaliera fra i dati AOD del satellite e i valori di

PM₁₀. Il modello tiene conto di tutte le variabili che possono modificare la concentrazione di PM₁₀ sia temporalmente che spazialmente. Nello specifico, abbiamo inserito la temperatura, la direzione del vento, l'umidità relativa, l'altitudine, la densità del traffico, la densità della popolazione, la % di spazio aperto e la distanza dai punti di emissione.

Stage 2:

Abbiamo costruito una griglia di 338 celle di 10km x 10km sulla base dei centroidi dei valori di AOD del satellite MODIS. Sfruttando i parametri stimati dalla funzione dello Stage 1 abbiamo predetto il valore di PM₁₀ in ogni cella che contiene il valore giornaliero di AOD.

Stage 3:

Lo Stage 2 del modello non è in grado di predire la concentrazione di PM₁₀ per tutti i giorni dell'anno e per tutte le celle a causa di alcuni valori mancanti di AOD. I dati mancanti sono dovuti alla presenza di giorni nuvolosi, dove il satellite non riesce a catturare l'immagine. Per superare quest'ostacolo abbiamo applicato una tecnica di *spatial smoothing* che permette di predire il valore del PM₁₀ nelle celle mancanti sfruttando i valori delle celle adiacenti e il valore della media giornaliera. Il modello ha la seguente formulazione:

$$\text{PredPM}_{ij} = (a + u_i) + (b_1 + v_i) \text{MPM}_j + \text{Smooth}(X,Y)_{k(j)}$$

dove PredPM_{ij} sono i valori di PM₁₀ stimati allo Stage 2 per il giorno (j) e la cella (i); MPM è la media regionale per il giorno (j) e Smooth(X,Y)_{k(j)} è la funzione che interpola le celle adiacenti. X,Y identificano la latitudine e la longitudine del centroide di ogni cella. Nella mappa di figura 1 si riporta la concentrazione media dei valori predetti di PM₁₀ per ogni cella 10km x 10km per l'arco temporale 2000-2009.

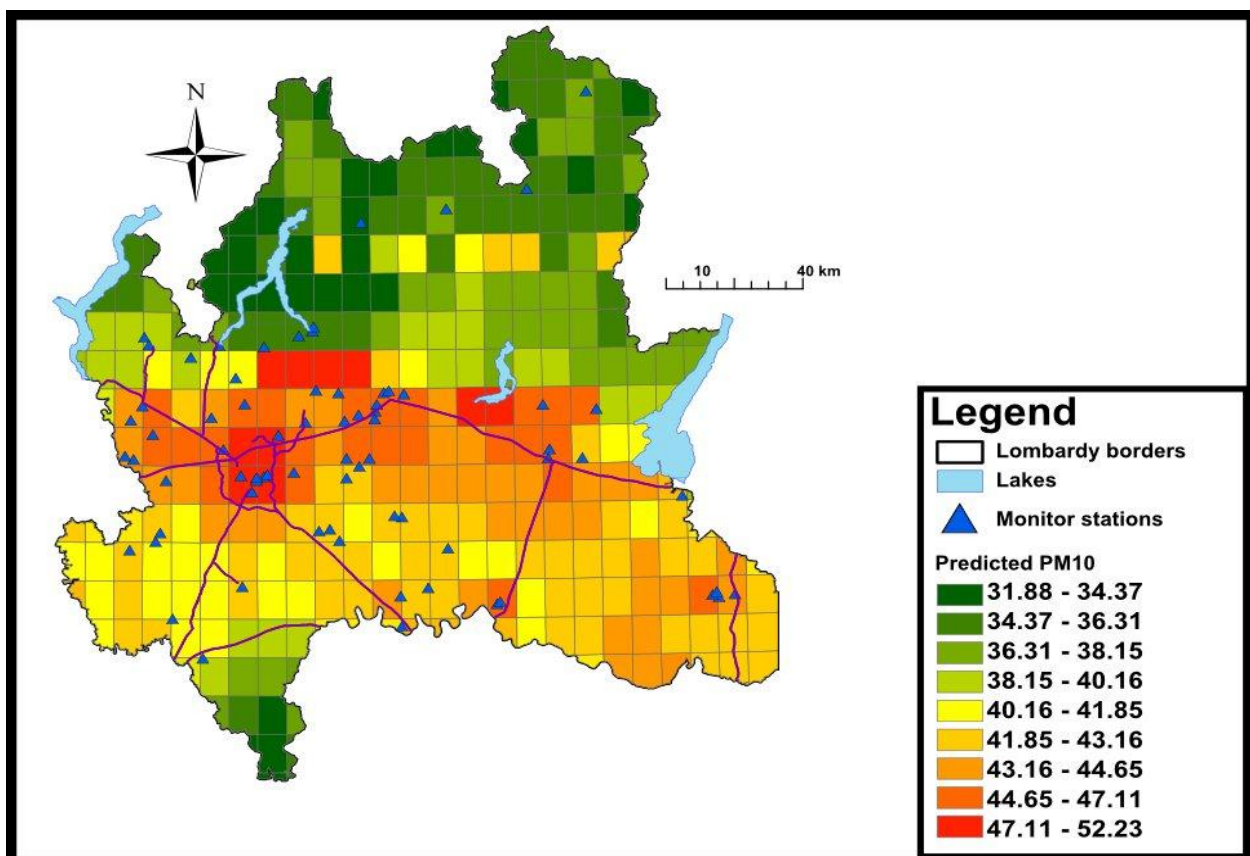


Figura 33 Concentrazione media di PM_{10} per ogni cella 10km x 10km - 2000-2009.

Stage 4:

L'ultimo stage del modello permette di arrivare a una risoluzione di 200m x 200m. Dalle celle 10km x 10km che contengono i monitor abbiamo calcolato i residui dati dalla differenza fra i valori predetti allo Stage 3 e i valori misurati di PM_{10} dai monitor. Nell'intorno di ogni *monitor* abbiamo costruito un *buffer* di 200m x 200m e calcolato 4 variabili spaziali ad alta risoluzione (densità del traffico, altitudine, densità abitativa e % di spazio aperto). Regredendo questi residui verso le 4 variabili otteniamo la stima dei nuovi residui a livello dei monitor. Useremo quindi i coefficienti del seguente modello non lineare per calcolare i residui in ogni cella di 200m x 200m e risalire alla stima di PM_{10} :

$$\text{Resid}PM_i = \alpha + s(\text{densità traffico}) + s(\text{altitudine}) + s(\text{densità popolazione}) + s(\% \text{spazio aperto})$$

Conclusione e prospettive

Il modello geografico adattato ha riportato delle buone statistiche di *performance*, migliori di altri modelli proposti in letteratura (Ryan and LeMasters 2007). Questo nuovo strumento permetterà di associare una precisa esposizione ai soggetti residenti in Lombardia per studiare effetti a breve e lungo termine dell'inquinamento sulla salute umana.

Bibliografia

- Baumer, D., R. Rinke, et al. (2008). "Weekly periodicities of Aerosol Optical Thickness over Central Europe? evidence of an anthropogenic direct aerosol effect." *Atmospheric Chemistry and Physics* 8(1): 83-90.
- Kloog, I., P. Koutrakis, et al. (2011). "Assessing temporally and spatially resolved $PM_{2.5}$ exposures for epidemiological studies using satellite aerosol optical depth measurements." *Atmospheric Environment*.
- Kokhanovsky, A., F. M. Breon, et al. (2007). "Aerosol remote sensing over land: A comparison of satellite retrievals using different algorithms and instruments." *Atmospheric Research* 85(3-4): 372-394.
- Liu, Y., C. J. Paciorek, et al. (2009). "Estimating regional spatial and temporal variability of $PM_{2.5}$ concentrations using satellite data, meteorology, and land use information." *Environmental health perspectives* 117(6): 886.
- Ryan, P. H. and G. K. LeMasters (2007). "A review of land-use regression models for characterizing intraurban air pollution exposure." *Inhalation toxicology* 19(S1): 127-133.