

**VALUTAZIONE
INTEGRATA
DELL'INQUINAMENTO
ATMOSFERICO**

NEL BACINO PADANO
E NEL TERRITORIO
BRESCIANO

LAYMAN'S REPORT



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI BRESCIA

**G. Finzi, C. Carnevale,
E. De Angelis, A. Pederzoli,
E. Turrini, M. Volta**

Dipartimento Ingegneria
Meccanica e Industriale (DIMI)
Sistemi di Controllo

**G. De Palma, S. Catalani,
E. Madeo, C. Tomasi,
P. Apostoli**

Dipartimento Specialità
Medico Chirurgiche (DSMC)
Sanità Pubblica

Introduzione

L'Università degli Studi di Brescia e il gruppo A2A hanno siglato nel 2015 una Convenzione Quadro per la collaborazione scientifica finalizzata allo studio della salute e alla promozione del benessere delle persone e dell'ambiente, inquadrata nel contesto del progetto strategico di Ateneo *Health & Wealth*, allo scopo di incentivare la convergenza di competenze multidisciplinari sulle questioni ambiente e salute.

In questo contesto, A2A Ambiente (società del gruppo A2A) e RAMET hanno promosso l'effettuazione di uno studio per la valutazione integrata dell'inquinamento atmosferico nel bacino padano e nel territorio bresciano.

L'inquinamento atmosferico è infatti uno dei maggiori problemi ambientali in queste aree, dove la qualità dell'aria è fortemente condizionata dalle avverse condizioni meteorologiche e dai processi di rilascio, formazione, trasporto ed accumulo degli inquinanti.

Lo studio, condotto dall'Università degli Studi di Brescia, è articolato in tre parti:



Valutazione dell'**inquinamento primario e secondario** in atmosfera



Analisi di **scenari** efficienti di **riduzione** dell'inquinamento



Valutazione epidemiologica degli **effetti** sulla **salute** dei principali inquinanti atmosferici

In particolare, la prima parte è stata dedicata all'analisi della attuale situazione, la seconda all'identificazione di efficaci azioni di risanamento della qualità dell'aria e la terza alla valutazione degli effetti dell'inquinamento atmosferico sulla salute umana.



A2A AMBIENTE: Società parte del Gruppo A2A, multiutility italiana, ai vertici nei settori energia, ambiente, calore, reti e smart city



RAMET: Società Consortile per le Ricerche Ambientali per la Metallurgia, fondata nel 2005 dall'Associazione Industriale Bresciana (AIB) e costituita dalle principali realtà produttive siderurgiche e metallurgiche del territorio bresciano

Obiettivi

Al fine di valutare **l'inquinamento atmosferico** e il suo **impatto sulla salute** nel bacino padano con un focus particolare sul territorio bresciano, sono state prese in considerazione tutte le fonti di emissioni inquinanti presenti nel nord Italia, per poter successivamente caratterizzare ambiti specifici in modo completo e preciso.

Inquinamento atmosferico: modificazione dell'aria atmosferica, dovuta all'introduzione nella stessa di una o più sostanze in quantità e con caratteristiche tali da ledere o da costituire un pericolo per la salute o per la qualità dell'ambiente oppure tali da ledere i beni materiali o compromettere gli usi legittimi dell'ambiente (D.Lgs. 152/2006)

Parte I

Valutazione dell'inquinamento atmosferico



- Valutazione sul territorio dell'**impatto delle emissioni in atmosfera** di inquinanti quali polveri sottili, ossidi di azoto e ammoniacale, prendendo in considerazione tutte le fonti emissive (traffico veicolare, industrie, attività agricole e zootecniche, impianti di produzione di energia, fonti domestiche, processi di trattamento dei rifiuti, ecc.).
- Quantificazione del loro **coinvolgimento** nei processi di formazione di **inquinanti secondari** quali ozono, polveri sottili e biossido di azoto.
- Approfondimento delle tematiche relative ai **microinquinanti** (diossine e PCB), in ragione delle problematiche caratteristiche del territorio bresciano.

Parte II

Analisi di scenari efficienti di riduzione dell'inquinamento



- Valutazione dell'efficacia di **azioni di risanamento** della qualità dell'aria che respiriamo, in particolare finalizzate alla riduzione delle concentrazioni di particolato.

Parte III

Valutazione epidemiologica degli effetti sulla salute dei principali inquinanti atmosferici



- Inquadramento dal punto di vista sanitario degli inquinanti atmosferici considerati individuando in particolare i parametri utili alla stima del **rischio per la salute** della popolazione.

L'Inquinamento Atmosferico

Gli inquinanti che si trovano nell'aria possono essere classificati in **inquinanti primari**, emessi direttamente dalle fonti naturali o dalle attività umane, e **inquinanti secondari** che si formano in atmosfera in seguito a trasformazioni fisico-chimiche. Alcuni inquinanti, come le polveri sottili, possono essere sia primari che secondari.

Principali inquinanti atmosferici locali e loro sorgenti

Biossido di azoto (NO₂)

Inquinante primario e secondario prodotto da impianti di riscaldamento, traffico veicolare (in particolare quello pesante) e attività industriali.

Ozono (O₃)

Inquinante secondario, tipicamente estivo, che si forma a partire dagli ossidi di azoto e dai composti organici volatili.

Polveri sottili (PM10 e PM2.5)

Insieme di particelle di origine primaria e secondaria. La componente secondaria deriva da trasformazioni fisico-chimiche che avvengono in atmosfera grazie alla presenza di altri inquinanti, quali NO_x, SO₂, NH₃, VOC.

Emissioni: quantità di sostanze rilasciate in atmosfera in un certo periodo di tempo.

Concentrazioni: quantità di inquinanti presenti in un dato volume di atmosfera, in un dato momento e luogo.

Il livello di **concentrazione** degli inquinanti determina la "**qualità dell'aria**".

L'orografia del bacino padano (chiuso a nord e a ovest dalla barriera delle Alpi e a sud dall'Appennino) influenza i livelli di inquinamento atmosferico poiché favorisce la **stagnazione** dell'aria al suo interno e **ostacola la dispersione** degli inquinanti in essa presenti, rendendo la Pianura Padana una delle aree europee più critiche per la qualità dell'aria.

L'area di studio

Al fine di descrivere in maniera esaustiva il comportamento delle sostanze inquinanti presenti in atmosfera, è stato necessario considerare un'ampia area di indagine, corrispondente al nord Italia, denominata "Bacino Padano". L'area studiata è caratterizzata da importanti insediamenti urbani e industriali e condizioni meteorologiche particolarmente svantaggiose per la dispersione degli inquinanti, favorendo elevate concentrazioni di particolato atmosferico, ossidi di azoto ed ozono.

Oltre al dominio di simulazione "Bacino Padano", è stato effettuato uno studio specifico sul territorio bresciano (dominio di simulazione "Area Brescia").

Per la valutazione della qualità dell'aria il territorio studiato viene suddiviso in un grigliato di celle regolari.

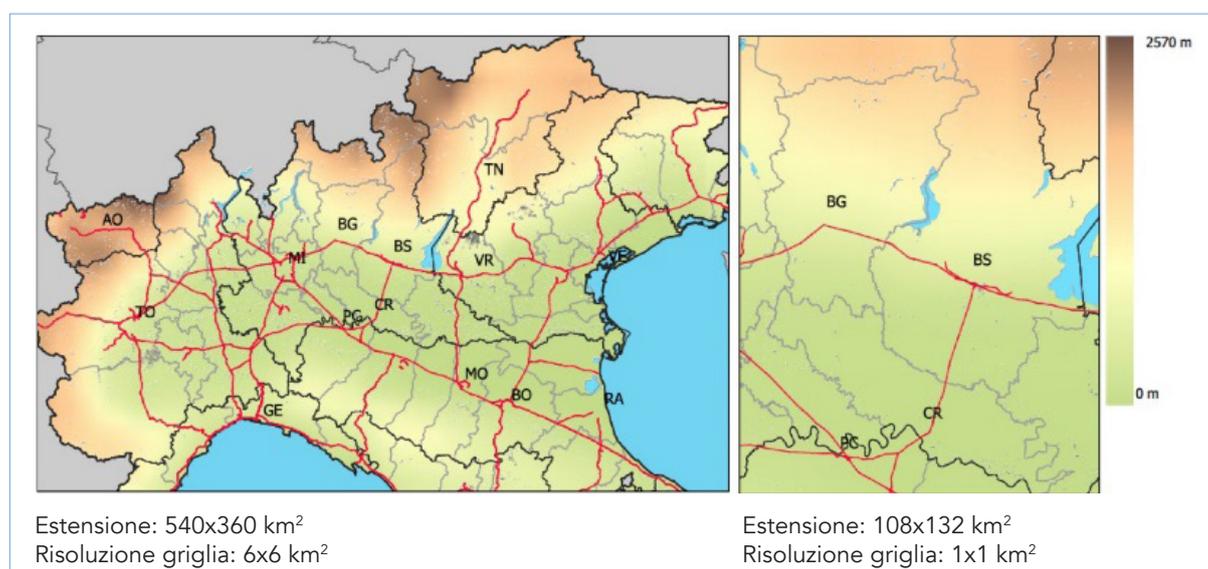


Figura 1: Domini di simulazione: "Bacino Padano" e "Area Brescia".

Il sistema modellistico

La complessità dei processi ambientali che caratterizzano l'inquinamento atmosferico (fenomeni fisici, chimici e meteorologici) rende necessario l'impiego di modelli matematici per la simulazione dei fenomeni di trasporto e di trasformazione delle sostanze inquinanti in atmosfera [1].

Il sistema modellistico utilizzato in questo studio è costituito da due moduli principali, entrambi largamente utilizzati e validati nell'ambito di progetti di ricerca internazionali: uno finalizzato alla caratterizzazione della situazione meteorologica (WRF) [2], l'altro per la descrizione della dispersione e delle trasformazioni chimiche in atmosfera (CAMx) [3].

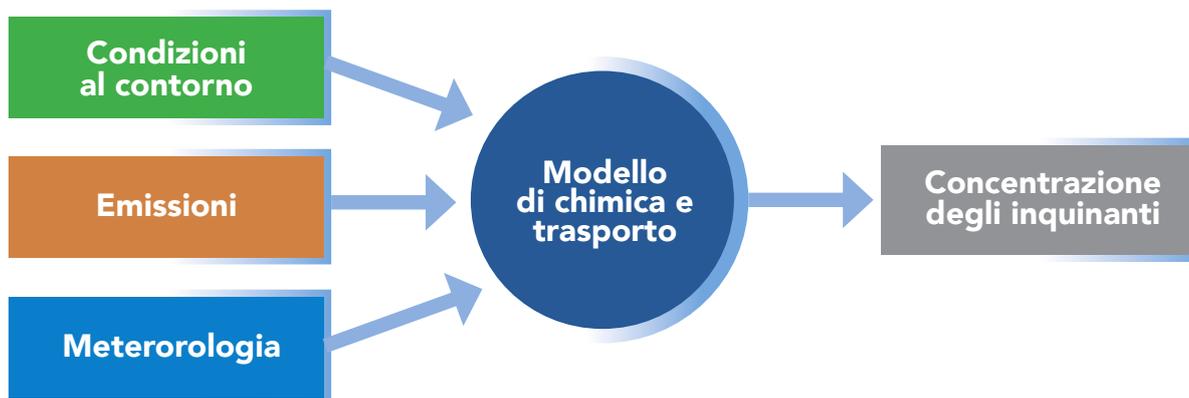


Figura 2: Sistema modellistico utilizzato per le simulazioni.

Le **emissioni in input al modello** sono state ottenute anche a partire dalla banca dati regionale INEMAR (INventario EMissioni ARia) [4], curata da ARPA e Regione Lombardia, che stima a livello regionale, provinciale e comunale le emissioni dei diversi inquinanti in atmosfera derivanti da ogni attività umana e naturale.

I **campi meteorologici in input al modello** sono relativi all'anno 2011, selezionato per la limitata piovosità rispetto agli anni successivi, in modo da consentire un'analisi cautelativa in presenza di condizioni meteorologiche da una parte le più simili possibile alle condizioni medie dell'area in esame, dall'altra particolarmente favorevoli alla formazione e accumulo di inquinanti in atmosfera.

Le **condizioni al contorno** sono state calcolate con modalità diverse per le due simulazioni. Per la simulazione di bacino, le concentrazioni delle specie in fase gassosa e aerosol sono state estratte dai campi di concentrazione forniti da un modello a scala globale. Per quanto riguarda la simulazione sul dominio "Area Brescia", le condizioni al contorno sono state fornite direttamente dai risultati della simulazione sul "Dominio di Bacino".

Risultati: Analisi dello stato della qualità dell'aria

Sono state effettuate simulazioni modellistiche dell'impatto sulla qualità dell'aria in entrambi i domini per particolato fine (PM10), biossido di azoto (NO₂) e ozono (O₃). Per validare il modello, i risultati delle simulazioni modellistiche sono stati confrontati con i valori misurati nelle postazioni di monitoraggio di qualità dell'aria presenti nei domini studiati.

Con riferimento alle concentrazioni atmosferiche di PM10, i risultati della validazione evidenziano una più che soddisfacente capacità del modello di simulare anche elevate concentrazioni di questo inquinante permettendo quindi di individuare le zone più critiche del dominio.

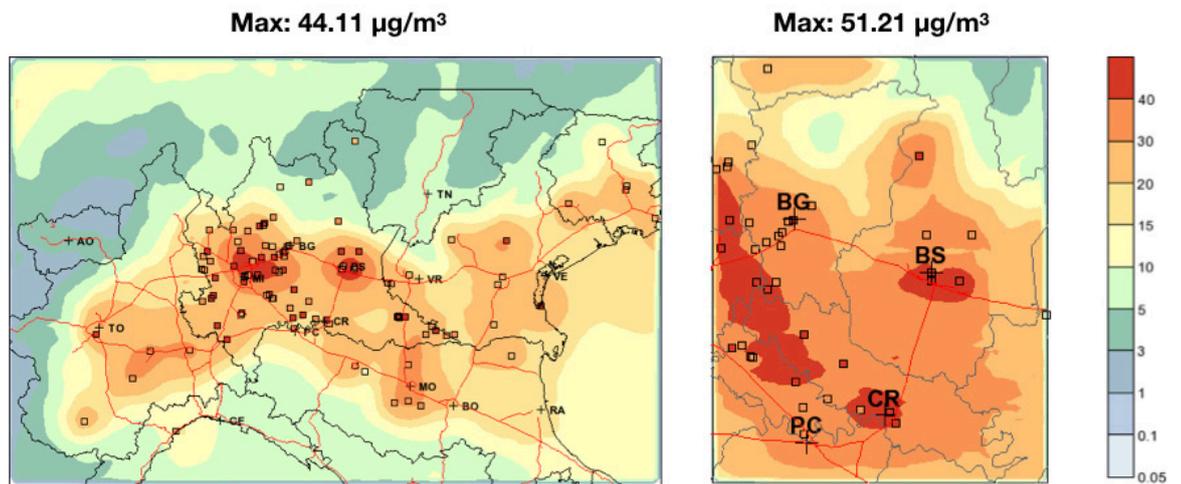


Figura 3: Concentrazioni medie annuali di PM10.

Risultati: Analisi di Source Apportionment

Source apportionment: quantificazione dei contributi delle diverse sorgenti emissive alle concentrazioni in aria degli inquinanti studiati.

Contestualmente alle simulazioni è stata realizzata l'**analisi dei contributi delle fonti emissive alle concentrazioni atmosferiche** (*Source Apportionment*) per gli inquinanti presi in considerazione [5].

A tal fine sono stati definiti i gruppi emissivi indicati in Tabella.

Sono stati scorporati e studiati in particolare i contributi dei due gruppi seguenti:

- il **gruppo emissivo "RAMET"** che include le emissioni delle aziende aderenti al consorzio RAMET;
- il gruppo **"Impianti Teleriscaldamento Brescia"** che include le emissioni del Termoutilizzatore di Brescia, della Centrale Lamarmora e della Centrale Nord.

I risultati dell'analisi di Source Apportionment per quanto riguarda il PM10 evidenziano un significativo e confrontabile impatto del riscaldamento domestico, del traffico, delle attività industriali e dell'agricoltura; quest'ultima, a causa delle elevate emissioni di ammoniaca, dà un contributo molto elevato alla formazione di aerosol secondario. Risultano d'altra parte poco significativi o trascurabili i contributi del gruppo RAMET e quello del gruppo "Impianti Teleriscaldamento Brescia".

Gruppi S-A

Impianti Teleriscaldamento Brescia
RAMET
Produzione energia
Riscaldamento
Processi Industriali
Solventi
Trasporto
Rifiuti
Agricoltura
Altre fonti

Max: 10.99 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

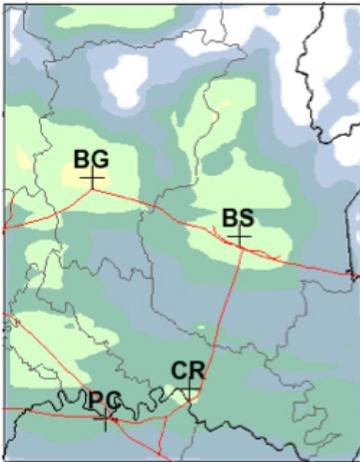


Figura 4: PM10
Impatto del gruppo S-A "Riscaldamento".

Max: 8.24 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

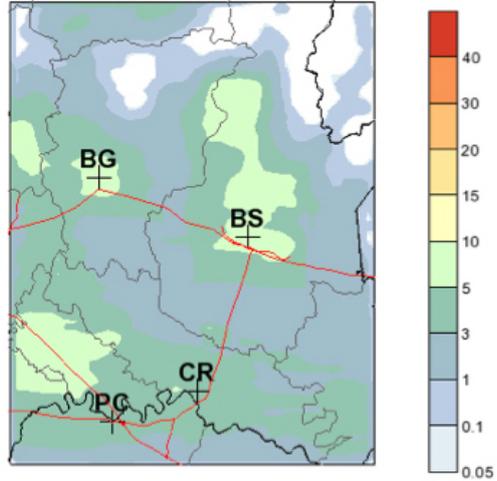


Figura 5: PM10
Impatto del gruppo S-A "Trasporto".

Max: 7.42 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

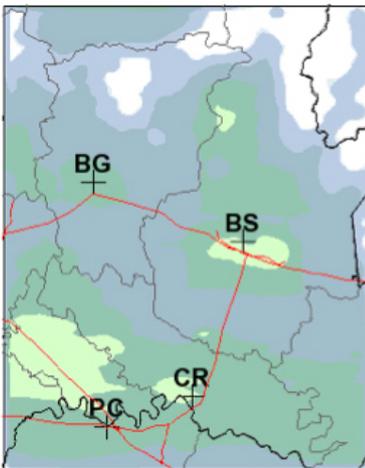


Figura 6: PM10
Impatto del gruppo S-A "Agricoltura".

Max: 8.35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

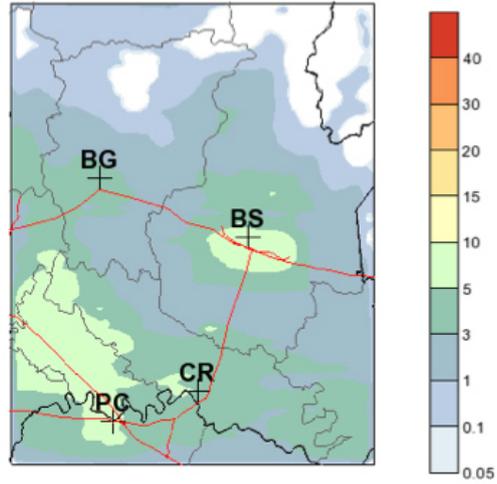


Figura 7: PM10
Impatto del gruppo S-A "Processi Industriali".

Max: 1.91 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

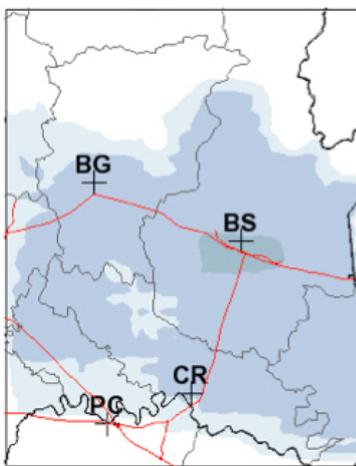


Figura 8: PM10
Impatto del gruppo S-A "RAMET".

Max: 0.08 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

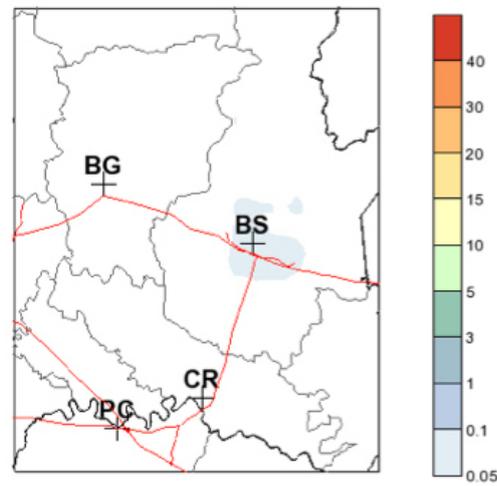


Figura 9: PM10
Impatto del gruppo S-A "Impianti
Teleriscaldamento Brescia".

L'analisi di *Source Apportionment* ha messo in risalto la difficile situazione di città come Milano e Brescia, per le quali ad importanti contributi dovuti alla presenza di consistenti aree urbane e industriali si somma anche il significativo contributo dovuto alla vicinanza con aree agricole a forti emissioni di ammoniaca.

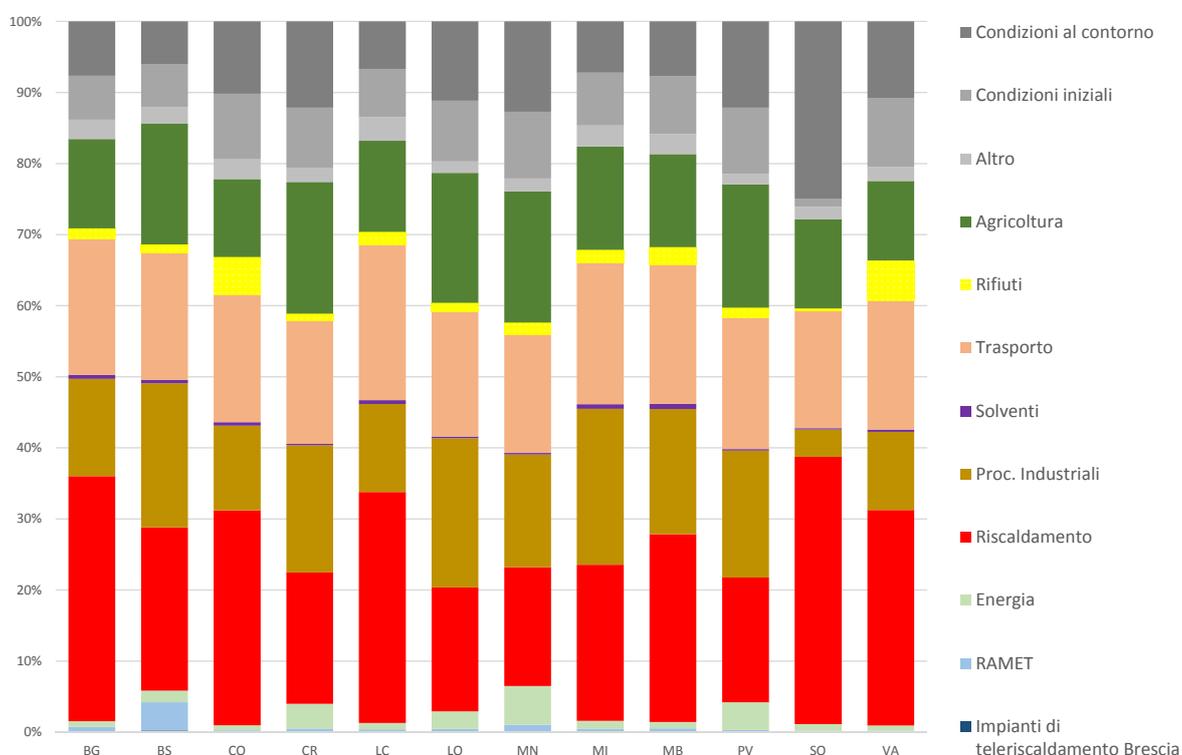


Figura 10: Impatto percentuale dei diversi gruppi S-A sulla concentrazione media di PM10: capoluoghi lombardi.

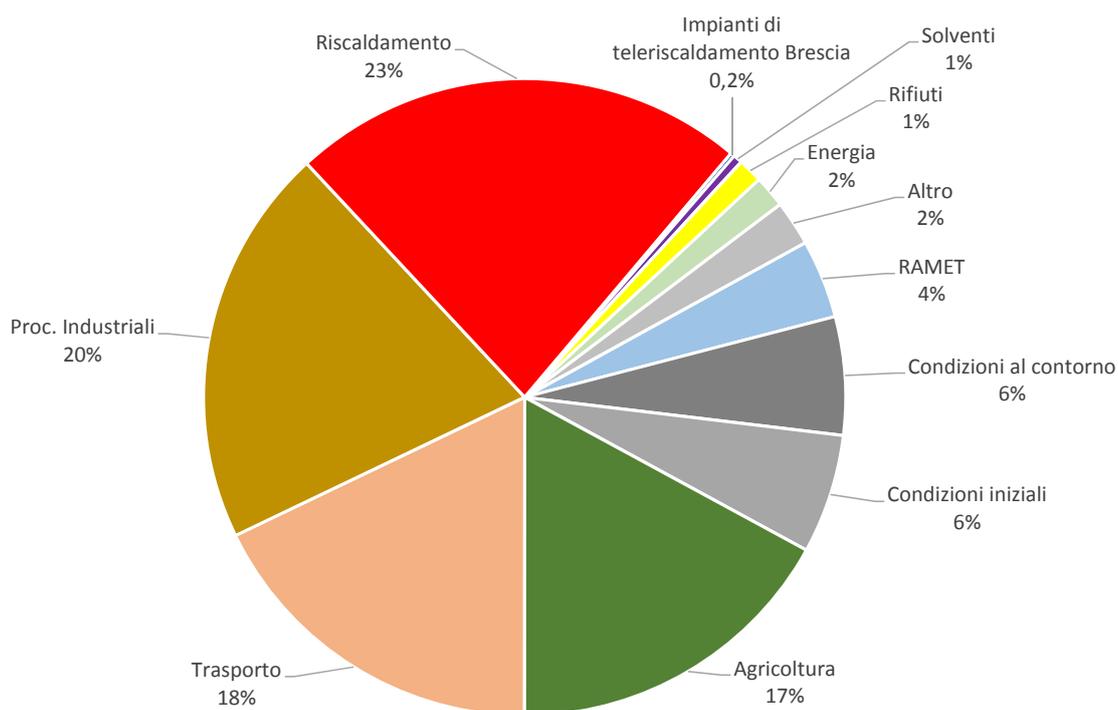


Figura 11: Impatto percentuale dei diversi gruppi S-A sulla concentrazione media di PM10: città di Brescia.

Analisi di scenari efficienti di riduzione dell'inquinamento

La prima parte dello studio ha permesso di valutare come contribuiscono le diverse sorgenti emissive sulle concentrazioni atmosferiche degli inquinanti nel territorio bresciano.

Il passaggio successivo è formulare, con l'ausilio di sistemi modellistici decisionali (RIAT+ [6] [7], MAQ [8]), **ipotesi di intervento nel medio-lungo periodo**, che si aggiungano a quelli già previsti dalla normativa europea, nazionale e regionale **per migliorare la qualità dell'aria** che respiriamo.

Modello decisionale: strumento a supporto delle autorità nell'identificazione di strategie efficienti per il miglioramento della qualità dell'aria

Le azioni prese in esame sono classificabili in due tipologie:

- **misure end-of-pipe**, tecnologie che riducono le emissioni di una attività grazie al controllo e/o trattamento finale dell'emissione inquinante, senza però modificare il processo produttivo, né eliminarne la causa;
- **misure energetiche**, suddivise in due sottoclassi:
 - o tecnologie che riducono il consumo di combustibile (efficienza energetica);
 - o tecnologie che prevedono di sostituire completamente o in parte un combustibile con un altro.

Alcuni esempi

Misura End-of-pipe: installazione di sistemi di filtraggio dei fumi in impianti industriali

Misura Energetica: sostituzione di caldaie tradizionali e camini a legna con nuove caldaie ad alta efficienza alimentate a metano

Lo scenario di riferimento CLE2020

Il quadro emissivo di riferimento per l'individuazione degli interventi è lo scenario **CLE2020 (Current Legislation 2020)**. Le emissioni per questo scenario si ottengono proiettando al 2020 le emissioni del database regionale INEMAR, considerando gli interventi previsti dalla normativa vigente europea e nazionale al 2020.

Lo scenario CLE2020 include già la conversione della linea alimentata a carbone della centrale Lamarmora, impianto a servizio della rete del teleriscaldamento gestito dal Gruppo A2A, coerentemente a quanto indicato dalla strategia energetica nazionale (SEN 2017), da raggiungere entro il 2025.

Risultati

Il modello decisionale consente di selezionare le azioni efficienti per migliorare la qualità dell'aria, mediante un approccio multi-obiettivo. Nel caso studio l'analisi è stata svolta per perseguire i seguenti obiettivi:

- minimizzare la concentrazione media annua di PM10 della provincia di Brescia, in funzione della popolazione residente;
- minimizzare i costi di intervento, ovvero i costi di adozione delle tecnologie di riduzione delle emissioni.

Le soluzioni del problema multi-obiettivo sono rappresentate da una curva, detta di Pareto, che mette in relazione le concentrazioni medie annuali di PM10 e i costi per ridurle (Figura 12).

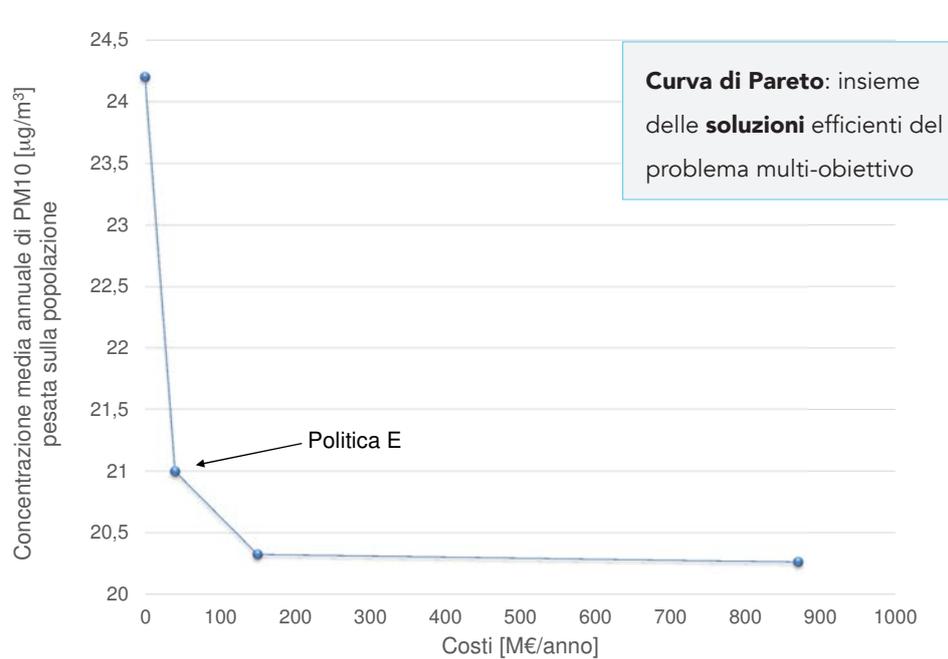


Figura 12: Soluzioni del problema decisionale (Curva di Pareto) e Politica E.

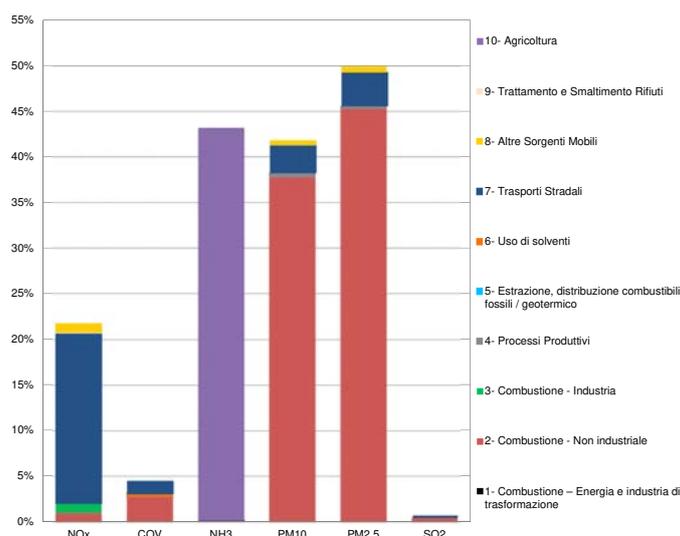
Tra le soluzioni efficienti, rappresentate dai punti appartenenti alla curva, è analizzata in dettaglio la soluzione indicata come **Politica E**, corrispondente a costi di implementazione pari a 40M€/anno su un orizzonte temporale di 10 anni.

Politica E

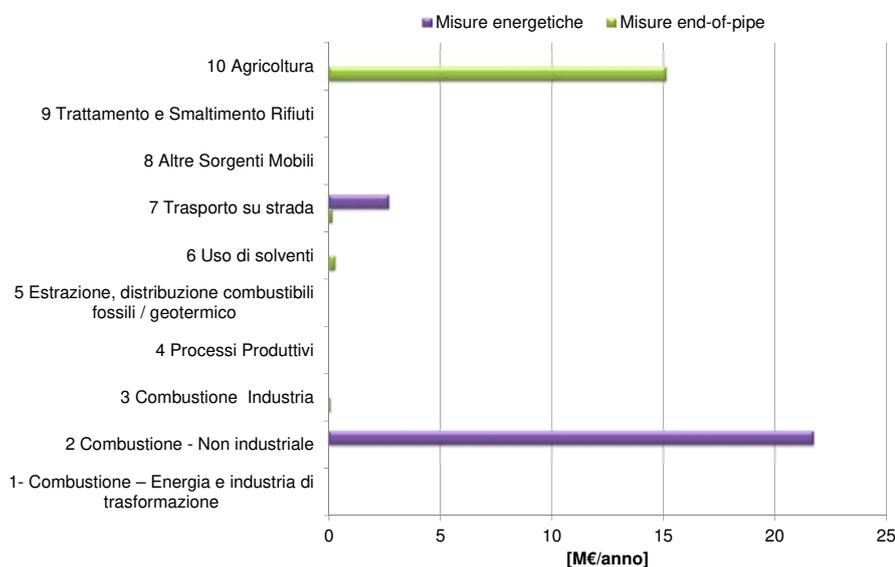
Azioni

- sostituzione di stufe e camini a legna con stufe e caldaie a legna tradizionali e pellet certificate per emissioni e rendimenti, impianti solari termici; estensione di reti di teleriscaldamento efficiente (cogenerazione ad alto rendimento a gas naturale);
- utilizzo di migliori tecnologie di abbattimento delle emissioni per gli impianti industriali in cui sono presenti processi di combustione;
- utilizzo di prodotti domestici di pulizia riformulati per ridurre il rilascio di composti organici volatili;
- svecchiamento del parco circolante in particolare la frazione di veicoli alimentati a diesel;
- ridefinizione di modalità di distribuzione dei beni in ambito urbano; introduzione di pedaggi su strade ordinarie per veicoli pesanti diesel;
- organizzazione di modalità di utilizzo del mezzo privato (car pooling, ...) per il raggiungimento del posto di lavoro;
- adozione di azioni di contenimento delle emissioni di ammoniaca prodotte dalla zootecnia e dalle pratiche agricole.

Riduzioni delle Emissioni



Costi



L'adozione di questo insieme di **AZIONI** porta, rispetto allo scenario CLE2020, a significative **RIDUZIONI** delle emissioni di NH_3 (43,6%), $\text{PM}_{2.5}$ (49,9%) e PM_{10} (41,9%). Più contenute sono invece le riduzioni di NO_x (21,8%), COV (Composti Organici Volatili, 4,7%) e infine SO_2 (0,7%).

Tali riduzioni sono efficacemente ottenibili agendo principalmente sul macrosettore dell'agricoltura (NH_3), dei trasporti (NO_x) e del riscaldamento domestico (PM_{10} , $\text{PM}_{2.5}$). Coerentemente, gli investimenti maggiori si stima siano nei macrosettori della combustione non industriale (riscaldamento domestico e commerciale, macrosettore 2), dell'agricoltura (macrosettore 10) e dei trasporti stradali (macrosettore 7).

L'applicazione dell'insieme di azioni che costituiscono la Politica E consente un miglioramento della qualità dell'aria rispetto allo scenario di riferimento diversamente distribuito sul territorio provinciale, come riportato nelle immagini sottostanti.

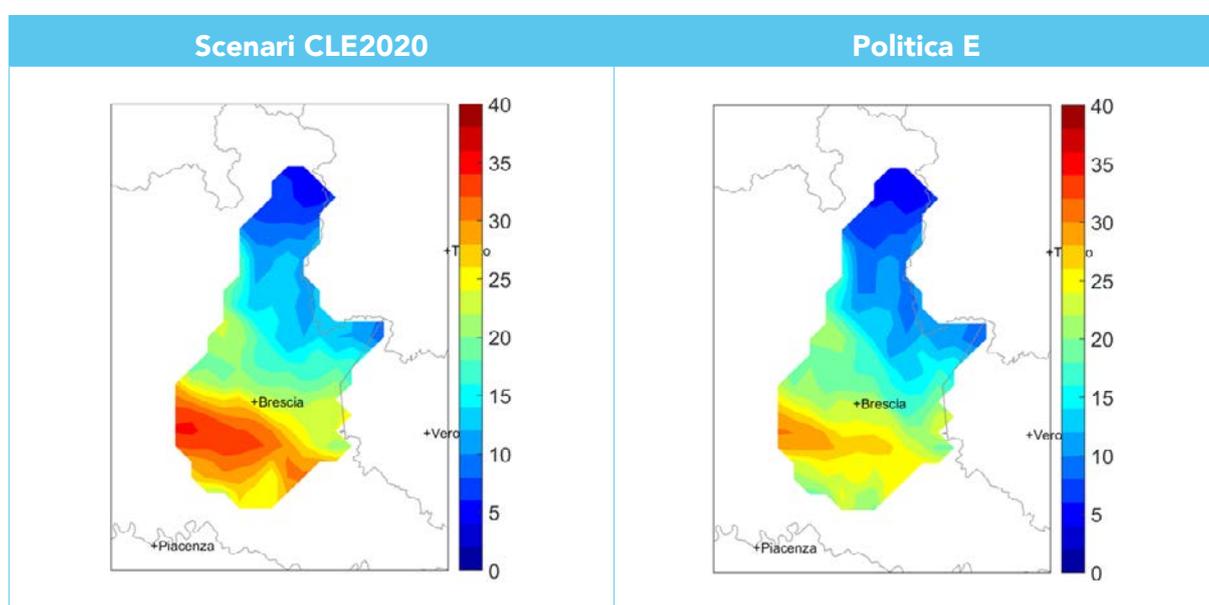


Figura 13: PM_{10} – Concentrazioni medie annue [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] in provincia di Brescia, stimate per lo scenario CLE2020 (sinistra) e la politica E (destra).

In particolare, si osserva un'importante riduzione delle concentrazioni di PM_{10} : nello scenario CLE2020 superano i $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ in tutta l'area meridionale della provincia mentre, con l'applicazione della politica E, le concentrazioni si riducono sensibilmente, nonostante rimanga un'area a concentrazioni più elevate nella sola zona sud-ovest.

L'efficacia delle misure proposte sarebbe naturalmente incrementata dall'adozione di politiche di qualità dell'aria condivise con le province limitrofe e, più in generale, con le regioni del bacino padano.

Valutazione epidemiologica degli effetti sulla salute dei principali inquinanti atmosferici

La valutazione dell'impatto sulla **salute umana** si è concentrata sugli inquinanti già oggetto della prima e della seconda parte dello studio. Il PM10 è stato considerato "tracciante" del complesso fenomeno dell'**inquinamento ambientale** delle nostre aree, per il quale esiste da lungo tempo una notevole disponibilità di dati di misura delle **esposizioni** [9].

Per tutte le sostanze inquinanti prese in esame la via di esposizione indagata è quella inalatoria.

Dal punto di vista operativo, una valutazione dell'impatto sanitario può essere seguita attraverso **due possibili approcci**: un approccio **tossicologico** ed un approccio **epidemiologico**.

Approccio Tossicologico	Approccio Epidemiologico
<p>Segue una procedura consolidata a livello internazionale, ovvero la cosiddetta Valutazione del Rischio per la Salute (<i>Health Risk Assessment - HRA</i>).</p> <p>La valutazione del rischio consiste nel calcolare le quantità inalate degli inquinanti presenti in aria, noti i parametri di esposizione dei recettori e le concentrazioni degli inquinanti presenti in atmosfera, ottenute dalle simulazioni modellistiche di dispersione.</p> <p>Per la caratterizzazione del rischio di effetti tossici e di effetti cancerogeni si applicano le equazioni di valutazione del rischio dell'Agenzia Statunitense di Protezione dell'Ambiente (US-EPA) e dell'Agenzia per la protezione dell'ambiente e per i servizi tecnici italiana (APAT).</p>	<p>Per confrontare la situazione di Brescia rispetto al contesto nazionale, al bacino alpino-padano e alle altre province lombarde, si elaborano, utilizzando i database ISTAT [10] relativi ai tassi di mortalità e di dimissioni ospedaliere per i seguenti 4 gruppi di patologie:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. tumori maligni trachea, bronchi, polmoni; 2. tumori maligni tessuti linfatico ed ematopoietico; 3. malattie ischemiche del cuore; 4. malattie polmonari cronico-ostruttive. <p>Si esaminano i tassi grezzi di mortalità e dimissione ospedaliera, per ciascun gruppo di patologie e si analizza la composizione demografica della popolazione bresciana al fine di tenere adeguatamente conto di variabili di notevole influenza nel condizionamento dei tassi di mortalità e di ospedalizzazione.</p> <p>I dati vengono poi elaborati tenendo conto di fattori demografici (genere ed età) delle popolazioni esaminate.</p> <p>Si calcolano inoltre alcuni indici sintetici quali la speranza di vita, la speranza di vita in buona salute, l'indice di invecchiamento e la densità di popolazione limitatamente ai comuni della provincia di Brescia.</p>
<p>ADD (Average Daily Dose) dose media giornaliera assunta</p>  <p>Rfd (Reference Dose) stima dell'esposizione che non produce effetti avversi apprezzabili sull'organismo umano durante il corso della vita</p>  <p>Indice di Rischio HQ</p> $HQ = \frac{ADD}{RfD}$ 	

Risultati: Approccio Tossicologico

I risultati della valutazione modellistica relativa agli inquinanti atmosferici, ottenuti dalla parte I, consentono di stimare le concentrazioni su base comunale, a partire dalle quali vengono poi applicate le equazioni per la valutazione dell'impatto sanitario.

In Figura 14 sono riportate in scala colorimetrica i risultati della valutazione tossicologica per i comuni della Provincia di Brescia.

Tale risultato di valutazione tossicologica deve essere contestualizzato alle caratteristiche demografico-urbanistiche del territorio.

Indici di rischio (HQ) maggiori di 1 non rappresentano probabilità statistiche che l'effetto si verifichi maggiormente o meno, ma vanno interpretati in termini descrittivi comparativi come grado di scostamento dalla concentrazione di riferimento.

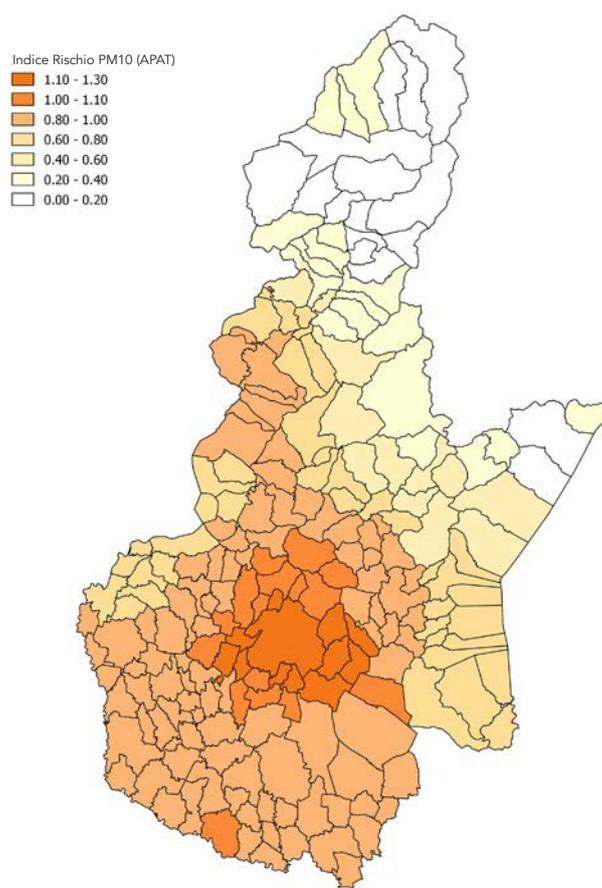


Figura 14: Indice di rischio (HQ) per il PM10.

Risultati: Approccio Epidemiologico

I 4 gruppi di patologie esaminati risultano da interazioni complesse tra inquinamento atmosferico ed altri fattori di rischio o di suscettibilità (fattori genetici, abitudini individuali alimentari e di vita). Alcuni fattori (come ad esempio fumo di sigaretta, consumo di alcool, abitudini alimentari) possono incidere, anche in maniera superiore a quelli più strettamente ambientali, nella manifestazione delle patologie considerate.

Focalizzando l'attenzione sulle concentrazioni in aria ambiente del PM10, considerate come traccianti dell'inquinamento ambientale e registrate in sei postazioni della provincia di Brescia dal 2002 al 2014, si evidenzia una graduale e costante, seppur non regolare, diminuzione delle stesse in tutti i punti di misura della nostra provincia, con differenze tra le varie postazioni di campionamento (Figura 15).

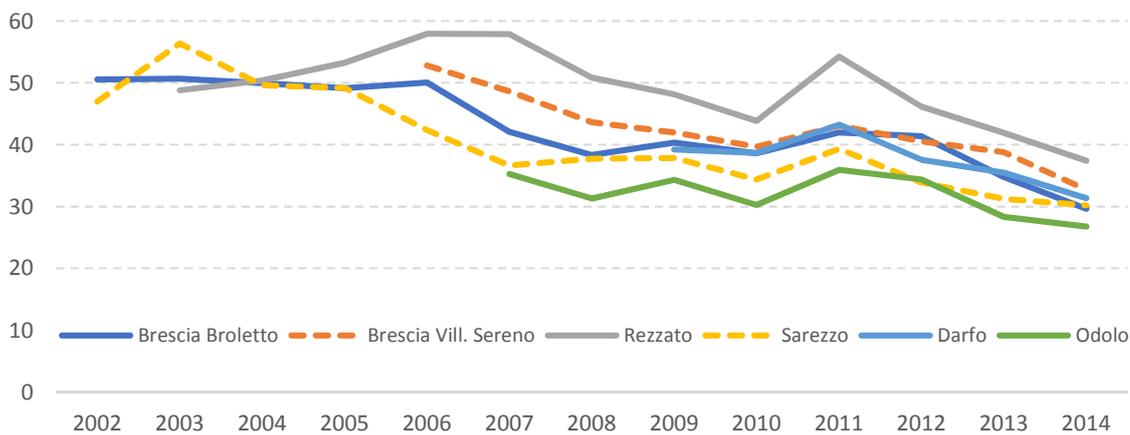


Figura 15: Andamento temporale (2002 - 2014) delle concentrazioni medie annuali di PM10 in 6 postazioni della Provincia di Brescia.

Il dato di inquinamento atmosferico si accompagna ad una graduale e sensibile diminuzione della mortalità per patologie correlabili anche con l'inquinamento ambientale, come riportato nelle figure 16 e 17, ad esempio per tumori dell'apparato respiratorio (maschi a partire dal 2003) e malattie ischemiche cardiache (per entrambi i generi a partire dal 2003).

Speranza di Vita

La provincia di Brescia, la regione Lombardia e l'Italia evidenziano un trend all'incremento della vita media da circa 15 a circa 19 anni nel periodo 1992-2014, e si conferma il dato nazionale della maggiore speranza di vita del genere femminile rispetto a quello maschile sebbene con incremento leggermente inferiore.

La speranza di vita in buona salute nella popolazione over 65 lombarda si colloca a livelli superiori rispetto alla media nazionale e tra i più elevati in Italia. Il trend è sovrapponibile nei due generi (Figura 18).

Tassi di mortalità

Considerando la mortalità per l'anno 2014 (ultimi dati ISTAT disponibili), la provincia di Brescia si colloca rispetto alle 111 province italiane come 17^a (maschi) e 22^a (femmine) per i tumori di trachea-bronchi-polmoni; come 92^a (maschi) e 79^a (femmine) per i tumori linfomatopoietici; come 24^a (maschi) e 46^a (femmine) per le malattie ischemiche cardiache; come 57^a (maschi) e 40^a (femmine) per la broncopneumopatia cronico ostruttiva.

Patologie specifiche

L'analisi dei tassi standardizzati di mortalità e dimissione, per i tumori di trachea-bronchi-polmoni ed i tumori linfomatopoietici nella provincia Brescia, evidenzia negli anni considerati tassi ad andamento variabile, in più ed in meno, rispetto alla media delle province lombarde, in entrambi i generi, con un progressivo decremento del tasso nei maschi; per i tumori di trachea-bronchi-polmoni nelle femmine il trend è in lievissima contro-tendenza, in linea con le tendenze nazionali ed europee.

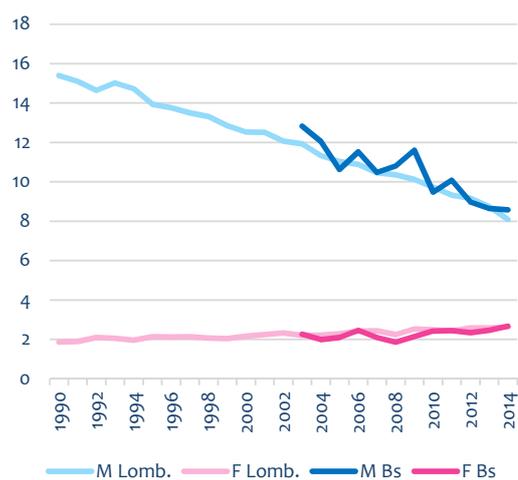


Figura 16: Trend Tassi di mortalità standardizzati per tumori di trachea, bronchi e polmoni.



Figura 17: Trend Tasso di mortalità standardizzato per malattie ischemiche del cuore.

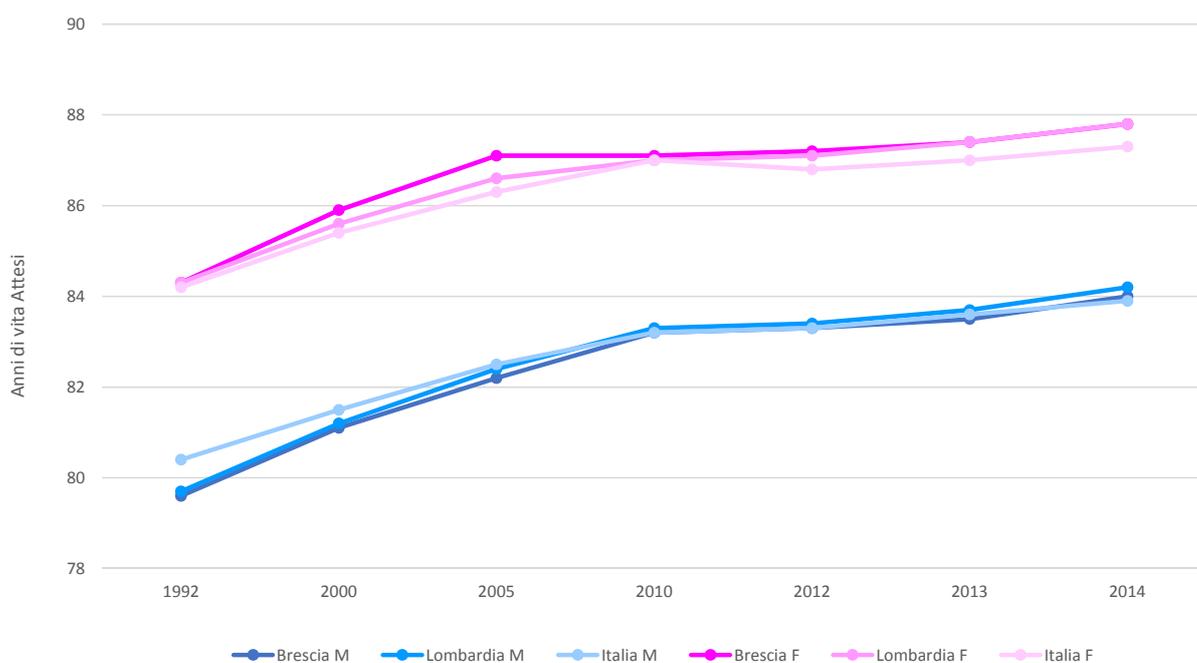


Figura 18: Speranza di vita a 65 anni.

Le principali evidenze dei due approcci metodologici seguiti possono così essere sintetizzate:

- risultano confermati i trend in diminuzione, per il genere maschile, dei 4 gruppi di patologie in termini di mortalità e ricoveri ospedalieri, mentre il dato non è pienamente confermato per le femmine;
- nei 4 anni di studio nei quali sono stati calcolati gli indici grezzi di mortalità per le patologie in esame il comune capoluogo di Brescia, raffrontato con gli altri della Regione Lombardia, si colloca generalmente nella media lombarda;
- la valutazione effettuata concorda con i risultati di altri studi condotti sul territorio (ad esempio, ATS Brescia, 2017 [11] [12] [13]), confermando una diminuzione della mortalità e l'aumento dell'aspettativa di vita;
- l'analisi di impatto sanitario, applicata ai dati di concentrazione del PM10 calcolati con il sistema modellistico, evidenzia aree della provincia, seppur limitate, meritevoli di attenzione per l'individuazione di possibili interventi di contenimento dell'inquinamento.

Bibliografia

- [1] Carnevale, C., De Angelis, E., Finzi, G., Pederzoli, A., Turrini, E., Volta, M. (2018) A non linear model approach to define priority for air quality control, IFAC-PapersOnLine, Volume 51, 13, 210–215
- [2] Skamarock, W. C. and Klemp, J. B. (2008) A time-split non-hydrostatic atmospheric model for weather research and forecasting applications, *J. Computational Physics*, 227, 3465–3485
- [3] ENVIRON (2014) User's Guide: Comprehensive Air Quality Model with Extensions (CAMx) – Version 6.1. (www.camx.com)
- [4] Inventario INEMAR. <http://www.inemar.eu>
- [5] Yarwood, G., Morris, R., and Wilson, G. (2007) Particulate matter source apportionment technology (PSAT) in the CAMx photochemical grid model. In *Air Pollution Modeling and Its Application XVII*, 3, 478–492
- [6] C. Carnevale, G. Finzi, E. Pisoni, M. Volta, G. Guariso, R. Gianfreda, G. Maffei, P. Thunis, L. White, G. Triacchini (2012). An integrated assessment tool to define effective air quality policies at regional scale. *Environmental Modelling & Software*, vol. 38, p. 306-315
- [7] RIAT+ User Guide. <http://www.riatplus.eu/html/pdf/RIATplusUserGuide.pdf>
- [8] E. Turrini, C. Carnevale, G. Finzi, and M. Volta, "A non-linear optimization programming model for air quality planning including co-benefits for GHG emissions," *Sci. Total Environ.*, 621, pp. 980-989, 2018
- [9] Linee guida per la componente salute pubblica negli studi di impatto ambientale e negli studi preliminari ambientali – Regione Lombardia - 2016
- [10] Health for All software – Istat 2017
- [11] ATS Brescia. Mortalità nella ATS di Brescia: impatto, andamento temporale e caratterizzazione territoriale - 2017
- [12] Mortalità nei distretti della Provincia di Brescia – ASL 2014
- [13] Osservatorio Epidemiologico ASL di Brescia: Polveri sottili ed effetti sulla salute degli abitanti dell'ASL di Brescia - 2015

