



La presente relazione si inquadra nell'ambito dello sviluppo di una metodologia utilizzata per la realizzazione del **WP 4 Impatto dei Cambiamenti Climatici e dell'Inquinamento Atmosferico**, per il **Progetto CLIMAERA** (CUP E89D17001050007), specificatamente dell'Azione 4.3 Valutazione dei costi e dei benefici delle misure regionali sull'insieme del territorio Alcotra.

Il percorso ha preso avvio a supporto della redazione e della implementazione del Piano Regionale di Qualità dell'aria della Regione Piemonte e si è quindi arricchito con le analisi condotte sui ricoveri ospedalieri. Aspetto più importante, le risultanze di questo percorso sono state valutate dal punto di vista economico, rendendo possibile la stima dei costi diretti ed indiretti collegati alla implementazione di misure, specificatamente stimati nell'ambito territoriale specifico (Regione Piemonte) da parte dell'Università di Torino. Sono state inoltre condotte diverse analisi di sensibilità che, opportunamente valutate, permetteranno di meglio considerare le oscillazioni nelle stime ottenute al variare di alcuni parametri, migliorando il percorso di valutazione.

La metodologia è quindi disponibile per ulteriori valutazioni sia in Regione Piemonte sia sul territorio Alcotra, ma anche su scala più piccola, a livello di aree urbane, ad esempio.

L'emergenza sanitaria in atto ha determinato un ridimensionamento del lavoro pur mantenendo validi in linea di massima gli obiettivi prefissati.

Infine, va sottolineato che le popolazioni stanno sopportando un carico di malattia attribuibile alla pandemia in corso a oggi non completamente noto e valutabile (con variazioni nelle dinamiche legate alla incidenza di patologia fino al decesso, variazioni nelle dinamiche ma non direttamente collegate in senso eziologico alla pandemia, nonché variazioni nella struttura per età rispetto a valori medi). Gli obiettivi progettuali non potevano prevedere tale emergenza sanitaria, ma questo fenomeno dovrà essere un elemento da tenere in considerazione nelle valutazioni future nel momento in cui saranno disponibili tutti i dati relativi e perlomeno quantificabili gli effetti nel breve e medio periodo.

A cura di:

Giovanna Berti, elaborazioni condotte da Laura Crosetto e Moreno Demaria  
SS Epidemiologia Ambientale, Arpa Piemonte



## Trend osservati e scenari di esposizione: stime di impatto dell'inquinamento atmosferico sulla salute

L'impatto sulla salute dell'inquinamento atmosferico è negli ultimi anni al centro dell'attenzione di ricercatori, cittadini e governi della Unione Europea. E' noto infatti che l'inquinamento atmosferico, subito dopo dieta, fumo, ipertensione e diabete è uno dei fattori di rischio più importanti per la salute e causa ogni anno 2.9 milioni di morti premature in tutto il mondo (<https://www.stateofglobalair.org/report>). Cardiopatia ischemica, ictus, malattia polmonare ostruttiva cronica, sono le principali condizioni associate alla mortalità correlata all'inquinamento atmosferico. In questo ambito, i principali inquinanti di interesse sono il particolato atmosferico (soprattutto la sua frazione fine, il PM2.5), il biossido di azoto (NO<sub>2</sub>) e l'ozono (O<sub>3</sub>). Numerosi ed autorevoli studi hanno rilevato negli ultimi venti anni una associazione tra l'esposizione agli inquinanti ed effetti sanitari quali aumento di sintomi respiratori, aggravamento di patologie a carico dell'apparato cardiaco e respiratorio, fino ad aumentati rischi per il tumore polmonare (in relazione alla esposizione alle polveri ed alla sua composizione) ed aumento di decessi.

L'Organizzazione Mondiale della Sanità (OMS), alcuni anni fa, nel corso di un rilevante processo di revisione della letteratura scientifica inerente gli effetti sulla salute umana della esposizione agli inquinanti atmosferici, *Review of evidence on health aspects of air pollution - REVIHAAP Project*, ha raccomandato alla Unione Europea politiche urgenti di contenimento delle emissioni insieme a standard di qualità dell'aria più stringenti<sup>1</sup>.

*....The review concludes that a considerable amount of new scientific information on the adverse effects on health of particulate matter, ozone and nitrogen dioxide, observed at levels commonly present in Europe, has been published in recent years. This new evidence supports the scientific conclusions of the WHO air quality guidelines, last updated in 2005, and indicates that the effects in some cases occur at air pollution concentrations lower than those serving to establish these guidelines. It also provides scientific arguments for taking decisive actions to improve air quality and reduce the burden of disease associated with air pollution in Europe....*

L'Agenzia Internazionale per la Ricerca sul Cancro dell'OMS (IARC) ha stabilito che esistono prove sufficienti della cancerogenicità del particolato atmosferico (PM10 e PM2.5) in particolare per il cancro del polmone<sup>2</sup>. Per maggiori dettagli è disponibile la Monografia IARC Volume 109 "Outdoor Air Pollution"<sup>3</sup>.

Sono dunque disponibili, in epidemiologia, accreditate e condivise funzioni di rischio o funzioni concentrazione-risposta (generalmente intese come dose-effetto) in grado di descrivere il livello di associazione tra gli inquinanti e gli esiti sanitari studiati (in termini di mortalità, ricovero o altri *outcomes* considerabili). Sappiamo oggi che la associazione non è una mera correlazione ma è invece valutabile in un'ottica di causalità tra esposizione ad inquinamento atmosferico ed effetti osservati. Se, per esempio, per il PM2.5 affermiamo che il Rischio Relativo è 1,07 per esposizioni di lungo periodo, ciò significa che, a ogni incremento di 10 microgrammi al metro cubo, osserviamo un rischio aumentato di mortalità del 7% (vedi Box esplicativo). Ogni Rischio è poi affiancato da un Intervallo di Confidenza, che ci informa circa il livello di incertezza della stima e circa l'esistenza di una associazione significativa dal punto di vista statistico. In epidemiologia, un Rischio è statisticamente significativo (cioè esprime un Rischio che ragionevolmente non è

---

<sup>1</sup> [http://www.euro.who.int/\\_\\_data/assets/pdf\\_file/0004/193108/REVIHAAP-Final-technical-report-final-version.pdf?ua=1](http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0004/193108/REVIHAAP-Final-technical-report-final-version.pdf?ua=1), ultimo accesso ottobre 2020;

<sup>2</sup> [http://www.iarc.fr/en/media-centre/pr/2013/pdfs/pr221\\_E.pdf](http://www.iarc.fr/en/media-centre/pr/2013/pdfs/pr221_E.pdf);

<sup>3</sup> <http://monographs.iarc.fr/ENG/Monographs/vol109/mono109-F12.pdf>;

spiegabile dal caso) se l'intervallo di confidenza non include l'unità (il valore 1,00 che è il valore appunto di assenza di effetto).

Per il PM2.5 la stima di rischio accreditata per la mortalità per tutte le cause naturali è pari a 1,07 con un intervallo di confidenza (IC95%: 1,04 - 1,09) quindi statisticamente significativa.

**BOX: il rischio in epidemiologia**

**Rischio** descritto dal **Rischio relativo**:

è il rapporto tra la probabilità che si verifichi un evento in un gruppo esposto (ad un farmaco, ad un fattore di rischio) e la probabilità che si verifichi lo stesso evento in un gruppo di non esposti (allo stesso fattore)

Rischio Relativo = Incidenza tra gli esposti /  
Incidenza tra i non esposti

**Rischio Relativo = 1** significa che rilevo assenza di associazione tra il fattore di rischio studiato e l'evento.

**Rischio Relativo < 1** significa che osservo una associazione inversa, ossia la probabilità di evento (es. malattia) è inferiore per gli esposti al fattore di rischio (es. trattamento con un dato farmaco).

**Rischio Relativo > 1** significa che osservo una associazione tra l'esposizione al fattore di rischio indagato (es. esposizione ad inquinamento dell'aria) e l'evento (es. patologie respiratorie, cardiovascolari, ecc),

Convenzionalmente, si fornisce un intervallo di confidenza calcolato al 95% per il Rischio Relativo.

I Rischi che si definiscono **statisticamente significativi** non includono l'unità (1) nell' intervallo di confidenza.

Stante il livello di evidenza raggiunto, soprattutto per le esposizioni alle polveri, si può quantificare l'impatto atteso (in termini di decessi/ricoveri attribuibili all'inquinamento ad esempio) in una data popolazione conoscendone la demografia, i tassi di mortalità o di ricovero e le condizioni espositive. È, quindi, possibile calcolare il Rischio Attribuibile (RA) a partire dal Rischio Relativo (RR).

Non si deve confondere il Rischio Relativo con il Rischio Attribuibile. Le due misure hanno scopi diversi: il RR costituisce una misura della forza della associazione tra il fattore di rischio e la malattia ed è un indice utile alla dimostrazione che il fattore sia associato e/o sia causa della malattia. Il RA rappresenta invece una misura dell'impatto che il fattore in esame ha sulla popolazione in studio.

E' necessario tenere in considerazione come un RR molto alto possa avere un impatto atteso trascurabile sulla popolazione in studio, nel caso in cui in essa la prevalenza di esposizione sia bassa. Viceversa RR anche molto contenuti possono produrre impatti rilevanti quando ad essere esposta è l'intera popolazione.

Un esercizio di valutazione di impatto non può prescindere dall'accertamento di una associazione di tipo causale tra esposizione ed effetto, come nel caso già sottolineato della esposizione ad inquinanti aerodispersi e valutazione dei rischi correlati.

Gli indicatori più frequentemente utilizzati per fornire delle misure di impatto utilizzabili in Sanità Pubblica, seguendo il Report "*Health risk assessment of air pollution – General principles* (OMS, 2016), sono<sup>4</sup>:

- Numero di Casi attribuibili (rappresenta la quota di malati tra gli esposti che potrebbe essere evitata se venisse rimosso il fattore di rischio), nel caso specifico Numero di casi (es decessi) prematuri;
- Anni di vita persi (Years of Life Lost YLL) (è una misura degli anni di vita persi in relazione alle morti premature, correlata alla speranza di vita);
- Anni persi in relazione a disabilità (Years Lost due to Disability YLD) (è una misura degli anni persi in relazione a disabilità);
- DALYs (Disability-Adjusted Life years) (1 DALY è un anno di vita in salute perso, a causa del fattore in studio) ( $DALY=YLL+YLD$ ).

Infine, le stime di impatto possono essere valorizzate per ottenere i costi economici in una valutazione integrata di costi/benefici di politiche ambientali o di interventi di prevenzione.

Secondo l'approccio del Global Burden of Diseases - GBD [https://www.thelancet.com/gbd?dgcid=kr\\_pop-up\\_gbd20](https://www.thelancet.com/gbd?dgcid=kr_pop-up_gbd20) *riportato all'indirizzo* <http://www.healthdata.org/italy>, è possibile individuare la quota di DALYs associata ai diversi fattori di rischio considerati.

Secondo l'approccio del Global Burden of Diseases GBD (Cohen, 2017), quale che sia l'indicatore utilizzato, casi attribuibili, YLLs o DALYs, l'esposizione agli inquinanti aerodispersi è il più rilevante tra i fattori di rischio ambientali, con associati costi sanitari e sociali, poiché colpisce in misura maggiore le fasce di

---

<sup>4</sup> <http://www.euro.who.int/en/health-topics/environment-and-health/air-quality/publications/2016/health-risk-assessment-of-air-pollution.-general-principles-2016> ultimo accesso ottobre 2020

popolazione più vulnerabili (bambini, anziani, asmatici e soggetti svantaggiati dal punto di vista socioeconomico)<sup>5</sup>.

## Valutazioni d'impatto dell'inquinamento atmosferico: le fonti consultabili

Sono disponibili in rete moltissimi *tool* che permettono la stima degli impatti per questo tipo di esposizione<sup>6</sup>.

Sono altresì disponibili e spesso commentate anche sui quotidiani, molte pubblicazioni che hanno affrontato il calcolo dell'impatto sanitario atteso per variazioni nelle concentrazioni degli inquinanti, osservate o previste da scenari<sup>7</sup>:

Senza avere l'ambizione di riportare una esaustiva rassegna degli studi già disponibili sull'argomento, si può menzionare lo studio OMS del 2016 (*Ambient air pollution: A global assessment of exposure and burden of disease*)<sup>8</sup> che calcola l'impatto atteso correlato ad un innovativo metodo di modellazione della esposizione, non completamente confrontabile con i precedenti; il Report OMS del 2015 (*Economic cost of the health impact of air pollution in Europe*)<sup>9</sup> che affrontava il tema dell'impatto economico in Europa.

Inoltre, si raccomanda la consultazione dei Report prodotti dalla Agenzia Europea dell'Ambiente Air Quality in Europe, che negli ultimi anni affronta anche il tema della valutazione dell'impatto sanitario<sup>10 11 12 13</sup>.

Una valutazione integrata dell'impatto dell'inquinamento atmosferico è possibile prendendo spunto dai diversi progetti sugli effetti dell'inquinamento atmosferico svolti a scala europea e nazionale<sup>14</sup>. Ovviamente, poter disporre di stime di rischio locali, o di scenari valutati congiuntamente ai diversi settori locali, regionali, competenti in materia, nonché di dati relativi ai costi sanitari derivanti da informazioni localmente disponibili ed aggiornabili, può condurre ad accurate valutazioni degli interventi intrapresi e da intraprendere.

In Italia, ad esempio, menzioniamo il **Progetto VIAS**, Valutazione Integrata dell'Impatto dell'Inquinamento atmosferico sull'Ambiente e sulla Salute, realizzato nel quadro delle iniziative del Centro Controllo Malattie (CCM) del Ministero della Salute ([www.viias.it](http://www.viias.it)), coordinato dal Dipartimento di Epidemiologia del SSR del Lazio, a cui Arpa Piemonte ha partecipato. VIAS ha effettuato la valutazione di impatto sulla salute dell'inquinamento atmosferico con l'intento di

---

<sup>5</sup> [www.thelancet.com](http://www.thelancet.com) Published online April 10, 2017 [http://dx.doi.org/10.1016/S0140-6736\(17\)30505-6](http://dx.doi.org/10.1016/S0140-6736(17)30505-6)

<sup>6</sup> <http://www.euro.who.int/en/health-topics/environment-and-health/air-quality/activities/airq-software-tool-for-health-risk-assessment-of-air-pollution>

<sup>7</sup> <http://www.epicentro.iss.it/temi/ambiente/AirPollution2016.asp>; <http://www.euro.who.int/en/health-topics/environment-and-health/air-quality/news/news/2016/09/release-of-who-data-on-air-pollution-exposure-and-its-health-impact-by-country>

<sup>8</sup> <http://www.who.int/phe/publications/air-pollution-global-assessment/en/>

<sup>9</sup> [http://www.euro.who.int/\\_\\_data/assets/pdf\\_file/0004/276772/Economic-cost-health-impact-air-pollution-en.pdf](http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0004/276772/Economic-cost-health-impact-air-pollution-en.pdf)

<sup>10</sup> <https://www.eea.europa.eu/publications/air-quality-in-europe-2016>

<sup>11</sup> <https://www.eea.europa.eu/publications/air-quality-in-europe-2017>

<sup>12</sup> <https://www.eea.europa.eu/publications/air-quality-in-europe-2018>

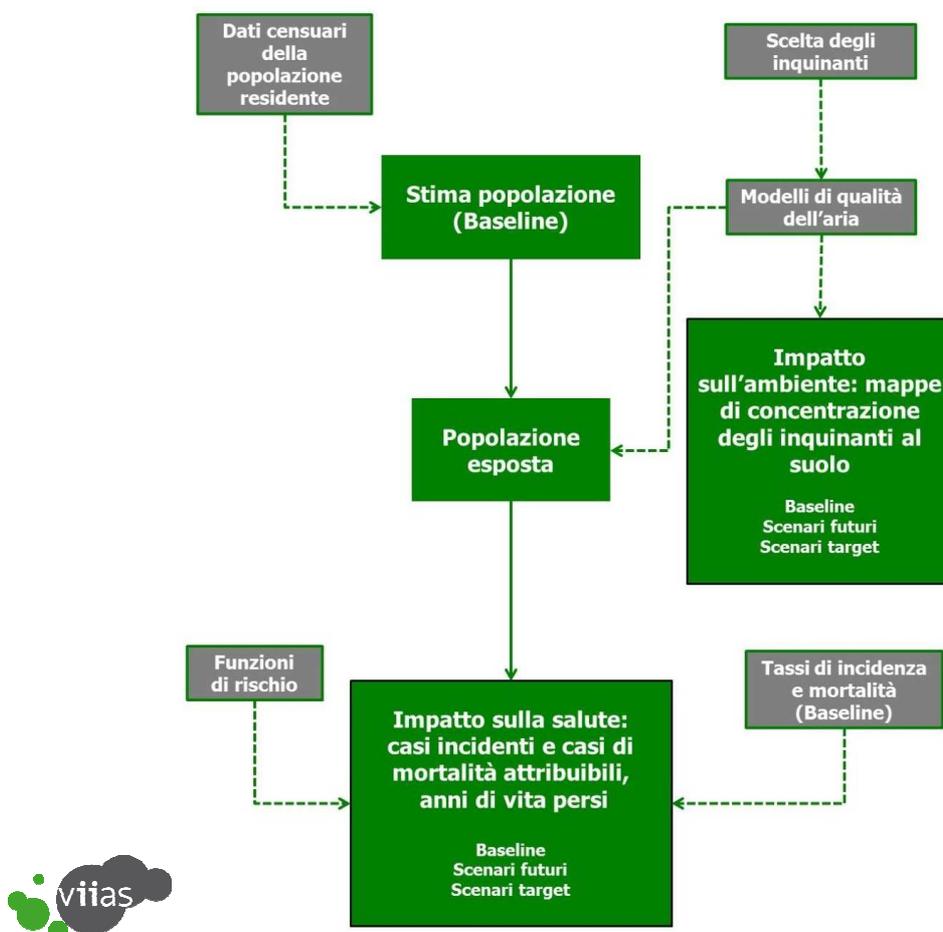
<sup>13</sup> <https://www.eea.europa.eu/publications/air-quality-in-europe-2019>

<sup>14</sup> <http://www.arpa.piemonte.it/approfondimenti/temi-ambientali/ambiente-e-salute/dipartimento-tematico/progetti-1/progetti-chiusi> ultimo accesso ottobre 2020

analizzare la catena di eventi (dalle politiche, alle fonti e modalità di esposizione, all'impatto) che influiscono sulla salute della popolazione. L'approccio è quello implementabile in ogni contesto laddove sussistano le informazioni di partenza necessarie.

In VIAS, utilizzando le funzioni concentrazioni-risposta dell'OMS (<http://www.vias.it/pagine/funzioni-di-rischio>) sono stati stimati, per tutti i residenti in Italia con 30 o più anni di età, i danni alla salute attribuibili alle esposizioni di lungo termine a PM2.5 e NO2. Tali stime sono state effettuate secondo la metodologia ormai consolidata di "Health Impact Assessment (Valutazione di Impatto sulla Salute)" in precedenza accennata e hanno utilizzato per ogni cella di 4x4 km i dati di concentrazione elaborati da MINNI, i dati di popolazione e i tassi di mortalità causa specifici della stessa provincia. Le stime sono state realizzate considerando i livelli di concentrazione del PM2.5 superiori a 10 µg/m<sup>3</sup> e di concentrazione dell'NO2 superiore a 40 µg/m<sup>3</sup>. In altre parole, si è assunto che al di sotto di tali valori (assunti come contro fattuali) non vi siano effetti sanitari, come per altro suggerisce l'OMS nelle Linee Guida sulla Qualità dell'aria.

Secondo questa metodologia, sono stati calcolati i casi attribuibili all'esposizione agli inquinanti per la mortalità dovuta a cause non accidentali (tutte le cause eccetto i traumatismi), cardiovascolari, respiratorie, per tumore del polmone e per incidenza di eventi coronarici (infarto ed angina instabile). Per quanto riguarda il PM2.5 è stato stimato anche il numero di anni o mesi di vita persi a causa dell'inquinamento usando le tavole di sopravvivenza specifiche per ogni area geografica. Nello schema sottostante sono schematizzate le diverse fasi della valutazione dell'impatto dell'inquinamento atmosferico sull'ambiente e sulla salute umana condotte nell'ambito di VIAS.



Nella Tabella 1 di seguito riportata sono sintetizzati i principali risultati del progetto VIIAS (incluso il Piemonte) per la situazione al 2010 e per gli scenari 2020CLE, Target 1: rispetto normativo dei limiti di 25 µg/m<sup>3</sup> di PM2.5 e Target 2:-riduzione del 20% di concentrazioni degli inquinanti.

Per la consultazione completa dei risultati prodotti si rimanda a [www.viias.it](http://www.viias.it).

**Tabella 1.** Stima degli impatti sanitari attribuibili all'esposizione alle concentrazioni di particolato PM2.5

Anno 2010	Decessi prematuri	Tasso di mortalità attribuibile (per 100.000)	Mesi di vita persi
ITALIA	21.524	54	5,5
Piemonte	2.473	79	9,8
Scenario 2020 CLe			
ITALIA	28.595	71	7,7
Piemonte	2.303	74	9,0
Scenario 2020 target 1			
ITALIA	23.170	58	5,9
Piemonte	2.068	66	8,8
Scenario 2020 target 2			
ITALIA	18.511	46	4,2
Piemonte	1.431	46	7,5



Va rilevato che il 2010 ha rappresentato come noto un anno particolare per diversi aspetti e che le concentrazioni utilizzate dal modello MINNI sono risultate inferiori rispetto ad altri modelli; pertanto le stime di impatto risultano minori di quanto è stato calcolato in altre esperienze (quali OMS *in primis*).

Utilizzando i dati disponibili, è stato possibile stimare che il raggiungimento del target 1 nel 2020 CLe farebbe osservare riduzioni dei livelli medi di inquinamento soprattutto al Nord (-2,3 µg/m<sup>3</sup>) e nelle città (-4,7 µg/m<sup>3</sup>) con un vantaggio ancora più evidente se si considera l'esposizione media della popolazione. La realizzazione del target 2 nel 2020 consentirebbe ovviamente un maggiore guadagno sia in ambiente urbano sia non urbano.

Le stime di impatto (decessi attribuibili o morti premature e anni di vita persi) prodotte da VIIAS utilizzano formule matematiche che si basano su parametri il cui valore deriva da studi epidemiologici (Rischi) o da modellazioni matematiche (Modelli di concentrazione). In particolare per la pericolosità degli inquinanti si utilizzano le stime che l'OMS ha recentemente suggerito a seguito della revisione della letteratura scientifica (REVIHAPP). Nonostante la loro autorevolezza, queste stime sono affette da un grado di incertezza: gli studi epidemiologici sono condotti su popolazioni differenti in diversi contesti ambientali e sanitari e non è sempre corretto estrapolare questi valori ed attribuirli ad altre popolazioni.

In VIAS tutte le stime di impatto sono state corredate degli intervalli di confidenza al 95% che permettono al lettore di avere un'idea della variabilità statistica connessa all'incertezza delle stime di effetto degli inquinanti considerati. Ad esempio per il PM2.5 VIAS stima a lungo termine 34.552 decessi attribuibili ai superamenti del valore di 10 µg/m<sup>3</sup> nell'intero territorio nazionale (considerando le esposizioni correlate ai livelli di concentrazione calcolati per il 2005). L'intervallo di confidenza al 95% è 20.608 - 43.215. Tale intervallo riflette incertezze di una certa importanza e richiama la necessità di valutare ed utilizzare sempre le risultanze delle stime di impatto come indicative dell'ordine di grandezza del fenomeno, piuttosto che considerare esclusivamente il numero assoluto di casi.

Risulta pertanto necessario valutare con prudenza le stime ottenute da tale approccio metodologico e, come detto, **valorizzarne l'utilizzo in termini indicativi rispetto all'ordine di grandezza del fenomeno.**

Sul tema della disponibilità di stime di rischio (Rischi Relativi) locali o nazionali, menzioniamo il **Progetto LIFE MED HISS**, progetto europeo pilota, coordinato da ARPA Piemonte, che ha dimostrato la fattibilità ed economicità di un sistema di sorveglianza degli effetti a lungo termine dell'inquinamento atmosferico in Europa<sup>15</sup>.

L'innovazione di MED HISS è rappresentata dalla modalità di reclutamento delle coorti residenziali, ricavate dai dati delle indagini nazionali sullo stato di salute della popolazione, come l'Indagine ISTAT in Italia. I dati relativi alle popolazioni sono associabili ai flussi sanitari disponibili di mortalità e dimissione ospedaliera, per ottenere dati di *follow-up* relativi alla salute delle popolazioni da correlare con l'esposizione all'inquinamento atmosferico<sup>16</sup>. Ulteriore aspetto innovativo è rappresentato dal fatto di valutare in modo accurato l'esposizione delle popolazioni, partendo dai modelli fisico-chimici di stima della concentrazione degli inquinanti disponibili sul territorio nazionale ad una scala sufficientemente risolta e ponendo particolare attenzione alla valutazione dell'esposizione (*exposure assessment*) dei soggetti<sup>17</sup>.

In Italia, lo Studio Longitudinale Italiano, basato sull'indagine campionaria (*survey*) ISTAT 1999-2000 abbinata a livello individuale con gli archivi di mortalità e ricovero ospedaliero, comprende 128.818 individui residenti in 1.449 comuni, distribuiti sull'intero territorio italiano. La survey contiene informazioni su età, genere, occupazione, variabili socio-economiche e caratteristiche fisiche individuali. Il sistema di sorveglianza adottato ha permesso e permetterà anche in futuro di ottenere *follow up* degli esiti di salute, monitorando gli effetti osservabili nel tempo.

Importanti elementi sono stati forniti dalla metodologia di valutazione della esposizione, innovativa nell'ambito della epidemiologia ambientale: a partire da dati modellizzati su griglia con risoluzione spaziale di 4x4 km si è provveduto ad una loro integrazione con i dati delle stazioni di monitoraggio - mediante tecniche di *data fusion* geostatistiche - e ad una successiva trasposizione a livello comunale, mediante algoritmi di *upscaling* che tenessero conto della superficie edificata dei singoli comuni. Quest'ultimo passaggio è stato reso necessario dal fatto che, sebbene il dato di salute fosse individuale, il dato di residenza era noto a livello di comune e l'unità statistica relativa all'esposizione ambientale era il comune di residenza.

---

<sup>15</sup> <http://www.minambiente.it/pagina/progetti-life-2012>

<sup>16</sup> Gandini 2019 LIFE Med Hiss: An innovative cohort design for public health <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2215016118302103>.

<sup>17</sup> Ghigo 2017 Mapping air pollutants at municipality level in Italy and Spain in support to health impact evaluations <https://link.springer.com/article/10.1007/s11869-017-0520-x>

Le stime di effetto ottenute ([http://www.medhiss.eu/sites/default/files/laymans\\_report.pdf](http://www.medhiss.eu/sites/default/files/laymans_report.pdf)), ossia il rischio di esiti avversi di salute per esposizioni di lungo periodo all'inquinamento atmosferico in Italia, sono risultate in linea con la letteratura, indicando la opportunità di mettere a punto programmi di sorveglianza sanitaria a costi relativamente contenuti<sup>18</sup>.

Come detto, nonostante l'autorevolezza delle stime già pubblicate, in un esercizio di stima di impatto può essere in primo luogo necessario replicare lo studio e valutare il rischio per la popolazione oggetto dell'intervento, valutando la coerenza con quanto atteso da letteratura; in secondo luogo potrebbe essere preferibile utilizzare stime di rischio ottenute sulle popolazioni oggetto delle politiche in valutazione, al fine di tenere conto di caratteristiche proprie di salute e contesto.

Inoltre, il progetto permette la valutazione di diversi esiti sanitari, quali ad esempio i ricoveri ospedalieri, così come di eventuali fattori di suscettibilità (preesistenti patologie registrate nell'indagine) predisponenti un maggior rischio per la salute, nonché la valutazione degli effetti nelle aree urbane e nelle aree rurali<sup>19</sup>.

La disponibilità di stime di rischio relativo aggiornate, basate su coorti nazionali e locali interrogabili anche in futuro in termini di allungamento del *follow up* di salute, unitamente alla possibilità di approntare i migliori metodi disponibili per una accurata valutazione della esposizione della popolazione, rappresentano una ricchezza metodologica ed informativa in grado di poter rispondere alle domande poste dagli *stakeholders* a diverso livello interessati all'interazione ambiente-salute.

La metodologia adottata per il **progetto CCM VIAS**, che prevede una stretta collaborazione tra le strutture che si occupano di informazioni epidemiologiche e le strutture dedicate alla valutazione di metodi e modelli per la valutazione della esposizione, unitamente ai risultati via via prodotti dal progetto **LIFE MED HISS**, aggiornabili e contestualizzati al territorio nazionale grazie alla disponibilità di flussi ambientali e sanitari correnti, forniscono ad oggi le basi per una proficua integrazione tra le componenti ambientali e sanitarie.

Nel percorso fin qui illustrato si inserisce a pieno titolo la necessità di focalizzarsi sulla componente economica: nel progetto Climaera la collaborazione messa in campo con i settori della Università degli Studi di Torino ha costituito elemento di forte innovazione.

Nel contesto del progetto Climaera si è promossa l'applicazione della metodologia presentata nei paragrafi precedenti nella Regione Piemonte come *case study* per diversi motivi:

- disponibilità di valutazione della esposizione della popolazione condotta in modo omogeneo per un intervallo temporale idoneo a valutare gli effetti a lungo termine;
- presenza sul territorio delle aree a maggiore criticità in relazione alle esposizioni stimate;
- flussi epidemiologici e demografici stabili e facilmente consultabili;
- possibilità di compiere confronti con studi precedenti per valutare gli esiti della modellazione applicata.

---

<sup>18</sup> <http://www.medhiss.eu/node/95> ultimo accesso ottobre 2020

<sup>19</sup> Gandini 2018 Long term effect of air pollution on incident hospital admissions: Results from the Italian Longitudinal Study within LIFE MED HISS project.  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0160412018316878>

Le Tabelle prodotte presentano alcuni risultati in termini di stima dei casi attribuibili (decessi prematuri e ricoveri evitabili attesi a lungo termine) per le esposizioni stimate negli anni 2005, 2010 e 2015, messi a confronto con lo scenario tendenziale 2030 (2030 CLE) e lo scenario con misure regionali 2030 (2030 SCE).

Le stime di impatto presentate sono state calcolate secondo due differenti approcci. Per il PM2.5 dapprima si sono considerati solo i valori di concentrazione del PM2.5 superiori a  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (il che equivale ad assumere di non osservare effetti al di sotto di tali valori, come suggerito dalle Linee Guida OMS); successivamente sono stati considerati solo i valori di concentrazione del PM2.5 superiori a  $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (il che equivale ad assumere di non osservare effetti al di sotto dei valori imposti da normativa vigente). Per il biossido di azoto le Linee Guida attualmente pubblicate riportano un valore da non superare come valore annuale pari a  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$  che coincide con il valore dettato da normativa, ma poichè la letteratura suggerisce l'esistenza di effetti anche per valori di gran lunga inferiori a tale valore, si sono stimati gli effetti anche supponendo un valore soglia pari a  $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Come è noto ed evidente, al variare della soglia definita “safe” varia il numero dei casi attesi.

I parametri utilizzati nell'elaborazione sono quindi:

- i Rischi Relativi (mortalità e ricovero) per le cause considerate come riportato in tabella 2, ossia considerando sia i Rischi Relativi raccomandati da OMS sia i Rischi Relativi prodotti da LIFE MED HISS (nelle analisi di mortalità per una analisi di sensibilità);
- le popolazioni nel periodo considerato: 2004-2014 (escludendo 2003 e 2015 ritenuti anomali) per il calcolo sia dei tassi di riferimento (di mortalità e di ricovero) sia delle popolazioni comunali;
- l'unità amministrativa pari alla ASL (12 ASL in Piemonte) per il calcolo dei tassi di riferimento;
- diversi controfattuali al fine di stimare i casi attesi in relazione alla soglia ritenuta sicura per la salute della popolazione, posta arbitrariamente in termini o di valori dettati da normativa o da obiettivi di qualità dell'aria raccomandati da OMS.

A seconda del quesito in studio, è evidente la necessità di mantenere fissi alcuni parametri e variare gli altri per ottenere le risposte desiderate.

Ripercorrendo lo schema VIIAS, è evidente come al variare delle scelte compiute per ciascun parametro, siano attesi risultati diversi, sempre a parità degli altri parametri.

La scelta delle stime di Rischio Relativo, come già detto, discende dalla disponibilità di Metanalisi o di valori di riferimento forniti da organizzazioni come OMS quali valori in grado di riassumere la letteratura esistente sull'argomento (in un unico Rischio Relativo per ciascun Outcome di salute considerato). D'altra parte, come già sottolineato, disporre di stime di Rischio Relativo provenienti da studi locali comporta il vantaggio di utilizzare stime del rischio sperimentate dalle popolazioni oggetto dell'intervento. Inoltre, uno studio epidemiologico condotto localmente per la stima del Rischio Relativo può offrire la possibilità di utilizzare stime non solo aggiornate o aggiornabili ma anche per aggregazioni territoriali desiderabili, come ad esempio per il progetto LIFE MED HISS. Per le stime di Rischio Relativo in relazione al numero di ricoveri ospedalieri evitabili, si è optato per le stime fornite da LIFE MED HISS.

In questo studio si è utilizzata una stessa popolazione che ha fornito i tassi di riferimento e la struttura demografica, calcolata come valore medio degli anni 2004-2014 (escludendo 2003 e 2015), per ottenere una popolazione stabile come riferimento per le valutazioni condotte per le

esposizioni negli anni 2005, 2010 e 2015; necessariamente la stessa popolazione è stata utilizzata per stimare i casi attesi nei due scenari relativi al 2030, anche se per questo ultimo punto sarebbe opportuno valutare una proiezione che stimi la struttura per età ipotizzabile negli anni futuri.

Nelle valutazioni di impatto è opportuno scegliere i livelli soglia, valori controfattuali in base a scelte operative (valutare i casi attesi in caso di sfioramento dai limiti di normativa) o confrontare i risultati con quelli ottenibili utilizzando come soglie di assenza di rischio i valori obiettivo indicati nelle Linee Guida dell'OMS. Queste ultime sono in aggiornamento, ma la mole di studi prodotti continua a testimoniare una relazione di tipo lineare e senza soglia tra esposizione ad inquinamento atmosferico ed effetti sanitari.

**Tabella 2.** Stime di Rischio Relativo per il calcolo degli impatti sanitari attribuibili all'esposizione alle concentrazioni di particolato PM2.5 e NO<sub>2</sub>, fonte OMS e progetto LIFE MED HISS

Inquinante	Indicatore	Causa	Funzione di rischio
PM 2.5	Mortalità	Cause naturali	RR 1,07 (IC 95% 1,04 - 1,09)
		Malattie cardiovascolari	RR 1,10 (IC 95% 1,05 - 1,15)
		Malattie respiratorie	RR 1,10 (IC 95% 0,98 - 1,24)
		Tumore polmone	RR 1,09 (IC 95% 1,04 - 1,14)
	Ricoveri Ospedalieri	Malattie cardiovascolari	RR 1,05 (IC 95% 1,03 - 1,06)
		Malattie respiratorie	RR 1,03 (IC 95% 1,00 - 1,07)
Tumore polmone		RR 1,18 (IC 95% 1,10 - 1,26)	
NO <sub>2</sub>	Mortalità	Cause naturali	RR 1,06 (IC 95% 1,03 - 1,08)
	Ricoveri Ospedalieri	Malattie cardiovascolari	RR 1,05 (IC 95% 1,03 - 1,07)
		Malattie respiratorie	RR 1,02 (IC 95% 1,00 - 1,05)
		Tumore polmone	RR 1,20 (IC 95% 1,12 - 1,28)
<b>Analisi di sensibilità (Progetto LIFE MED HISS)</b>			
PM 2.5	Mortalità	Cause naturali	RR 1,03 (IC 95% 1,02 - 1,05)
		Malattie cardiovascolari	RR 1,01 (IC 95% 1,00 - 1,04)
		Malattie respiratorie	RR 1,02 (IC 95% 1,00 - 1,10)
		Tumore polmone	RR 1,17 (IC 95% 1,10 - 1,24)
NO <sub>2</sub>	Mortalità	Cause naturali	RR 1,02 (IC 95% 1,00 - 1,03)
		Malattie cardiovascolari	RR 1,00 (IC 95% 1,00 - 1,01)
		Malattie respiratorie	RR 1,01 (IC 95% 1,00 - 1,07)
		Tumore polmone	RR 1,16 (IC 95% 1,10 - 1,23)

La metodologia utilizzata è riportata in Martuzzi et al. (2006 HEALTH IMPACT OF PM10 AND OZONE IN 13 ITALIAN CITIES) e viene di seguito sinteticamente riportata. ([http://www.euro.who.int/\\_\\_data/assets/pdf\\_file/0012/91110/E88700.pdf](http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0012/91110/E88700.pdf) ultimo accesso ottobre 2020),

$E$  = numero dei casi attribuibili a una concentrazione di inquinanti atmosferici oltre un determinato *controfattuale*, è dato dalla seguente equazione:

$$E = A * B_0 * (C / 10) * P$$

dove

- $P$  = la popolazione esposta, ottenuta dai dati di censimento;
- $C$  = il cambio rilevante nelle concentrazioni (la differenza tra la concentrazione osservata e il *controfattuale*), ottenuto dalle reti di monitoraggio di ogni città;
- $A$  = la proporzione dell'effetto sanitario attribuibile all'inquinamento dell'aria, che può essere calcolata come segue:

$$A = \frac{(RR - 1)}{RR}$$

dove

RR = Rischio Relativo per 10  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  di incremento dell'inquinante (derivato da indicazioni OMS)

$B_0$  è il tasso di mortalità (morbosità) dell'esito sanitario considerato che si osserverebbe al livello di concentrazione del *controfattuale* e può essere calcolato nel modo seguente:

$$B_0 = \frac{B}{[1 + (RR - 1) * (C / 10)]}$$

dove  $B$  è il tasso di mortalità (morbosità) osservato dell'effetto sanitario, alla concentrazione osservata, ottenuto dalle statistiche sanitarie disponibili.

La metodologia menzionata non è l'unica utilizzabile ma è quella implementata in molti *tools* in rete disponibili, facilmente replicabile anche al fine di condurre dei confronti tra studi diversi.

Partendo dai metodi qui presentati, l'obiettivo ultimo implementabile è quello di arrivare ad una stima dei costi economici legati agli impatti sanitari dell'inquinamento nella regione Piemonte attesi sulla base dei diversi scenari considerati.

L'inquinamento atmosferico ha infatti una ricaduta importante sulla salute e sul sistema socio-sanitario, che si trova a dover curare patologie in parte evitabili, se i livelli di inquinamento fossero ridotti, con costi sanitari e sociali, diretti e indiretti, rilevanti per le finanze regionali.

In relazione ad una ipotizzata piramide per gli effetti attesi in questo ambito, a fianco a tali risultati, e ai correlati costi sanitari potrebbero essere valutati nel dettaglio:

- i costi degli anni di vita persi da singoli soggetti, il cui valore è soggetto a valutazioni differenziate a seconda degli approcci, ma rilevante secondo l'OMS;
- i costi sociali derivanti dalle assenze dal lavoro dovute a malattia, diretti per i singoli soggetti o indiretti quando riguardano i genitori dei minori colpiti;

- i costi legati alla spesa farmaceutica correlata con il trattamento delle patologie legate all'inquinamento e con il trattamento dei sintomi (ad esempio tosse, attacchi d'asma...)

e così via, in base alla disponibilità di flussi sanitari di qualità e di stime di rischio validate ed aggiornate per gli esiti considerati.



*Piramide degli effetti stimati per esposizione ad inquinamento atmosferico*

## **Risultati**

Si riportano i risultati ottenuti. In ciascuna tabella viene specificato l'*Outcome* considerato (mortalità o ricovero ospedaliero, per causa) e gli esiti attesi per ciascun inquinante nell'anno o Scenario valutato dal modello, sotto la ipotesi di diversi controfattuali, definiti da normativa vigente o da indicazioni di tutela della salute umana indicate da OMS. A fianco alla stima puntuale viene riportato il relativo intervallo di confidenza. La stima ottenuta è riferita anche in termini percentuali rispetto alla totalità degli esiti: ad esempio, in Tabella 3, i 7.043 casi stimati come morti premature corrispondono al 15.2% della totalità dei decessi regionali registrati in quell'anno, per cause naturali. Poiché la stima puntuale è corredata da un Intervallo di Confidenza calcolato al 95% (pari a 4.476-8.469), anche la percentuale ha un suo Intervallo di Confidenza (9.7%-18.3%).

**Tabella 3.** Mortalità per tutte le cause escludendo le cause violente: casi evitabili associati alle esposizioni a PM25 e NO<sub>2</sub> per gli anni 2005, 2010, 2015 e per gli scenari 2030 CLE e 2030 SCE, utilizzando Rischi relativi OMS.

Regione Piemonte	Mortalità per cause naturali	2005	2010	2015	2030 CLE	2030 SCE
<b>PM2.5 (µg/m<sup>3</sup>)</b> <b>RR OMS 1,07 (1,04-1,09)</b>	<b>Esposizione media (pesata per popolazione)</b>	38,4	27,3	22,7	20,1	15,6
<b>Counterfactual OMS 10 µg/m<sup>3</sup></b>	<b>Morti premature (N e IC 95% , % e IC al 95%)</b>	7.043 (4.476-8.469) 15.2% (9.7%-18.3%)	4.595 (2.843-5.614) 9.9% (6.1%-12.1%)	3.477 (2.126-4.280) 7.5% (4.6%-9.2%)	2.822 (1.713-3.489) 6.1% (3.7%-7.5%)	1.630 (976-2.032) 3.5% (2.1%-4.4%)
<b>Counterfactual CE 25 µg/m<sup>3</sup></b>	<b>Morti premature (N e IC 95% , % e IC al 95%)</b>	3.669 (2.262-4.492) 7.9% (4.9%-9.7%)	1.040 (624-1.296) 2.2% (1.3%-2.8%)	168 (99-212) 0.4% (0.2%-0.5%)	0	0
<b>NO<sub>2</sub> (µg/m<sup>3</sup>)</b> <b>RR OMS 1,06 (1.03-1.08)</b>	<b>Esposizione media (pesata per popolazione)</b>	35	30,7	26,8	20,9	16,9
<b>Counterfactual OMS 40 µg/m<sup>3</sup></b>	<b>Morti premature (N e IC 95% , % e IC al 95%)</b>	1.159 (628-1467) 2.5% (1.4%-3.2%)	289* (151-374) 0.6% (0.3%-0.8%)	321 (168-416) 0.7% (0.4%-0.9%)	0	0
<b>Counterfactual OMS 20 µg/m<sup>3</sup></b>	<b>Morti premature (N e IC 95% , % e IC al 95%)</b>	3.407 (1.894-4.253) 7.4% (4.1%-9.2%)	2.522 (1.363-3.199) 5.4% (2.9%-6.9%)	1.827 (996-2.306) 3.9% (2.2%-5.0%)	1.037 (557-1.320) 2.2% (1.2%-2.9%)	513 (270-661) 1.1% (0.6%-1.4%)

Sono stati calcolati gli esiti attesi in Regione Piemonte, legati agli effetti a lungo termine delle esposizioni stimate negli anni 2005, 2010, 2015. I casi attesi sono riportati in valore assoluto con proprio Intervallo di Confidenza ed in percentuale (e relativo Intervallo di Confidenza); è stata quindi effettuata la valutazione dei casi attesi nei due scenari ipotizzabili al 2030. Nelle celle dove è riportato lo “0” non è riportato nessun effetto in relazione al superamento del valore controfattuale impostato, ossia in nessun comune si evidenziano sforamenti. E’ evidente che abbassando la soglia sotto la quale ipotizzo assenza di rischio per la salute dell’uomo, aumenta il numero di casi attesi (ed il numero di celle compilabili). Per il biossido di azoto si evidenzia (\*) un andamento anomalo rispetto all’attesa diminuzione dei casi attribuibili in relazione alla generale tendenza. Tale fenomeno è dovuto alla variabilità per anno del numero esiguo di comuni inclusi nell’analisi dovuta a livelli di inquinante superiore al controfattuale.

**Tabella 3a.** Mortalità per tutte le cause escludendo le cause violente: casi evitabili associati alle esposizioni a PM25. e NO<sub>2</sub> per gli anni 2005, 2010, 2015 e per gli scenari 2030 CLE e 2030 SCE, utilizzando *Rischi relativi dal progetto LIFE MED HISS.*

Regione Piemonte	Mortalità per cause naturali	2005	2010	2015	2030 CLE	2030 SCE
<b>PM2.5 (µg/m<sup>3</sup>) RR MH 1,03 (1,02-1,05)</b>	<b>Esposizione media (pesata per popolazione)</b>	38,4	27,3	22,7	20,1	15,6
<b>Counterfactual OMS 10 µg/m<sup>3</sup></b>	<b>Morti premature (N e IC 95% , % e IC al 95%)</b>	3.484 (2.413-5.396) 7.5% (5.2%-11.7%)	2.192 (1.502-3.460) 4.7% (3.2%-7.5%)	1.631 (1.113-2.597) 3.5% (2.4%-5.6%)	1.311 (893-2.098) 2.8% (1.9%-4.5%)	744 (504-.201) 1.6% (1.1%-2.6%)
<b>Counterfactual CE 25 µg/m<sup>3</sup></b>	<b>Morti premature (N e IC 95% , % e IC al 95%)</b>	1.742 (1.193-2.756) 3.8% (2.6%-6.0%)	476 (323-767) 1.0% (0.7%-1.7%)	75 (51-123) 0.2% (0.1%-0.3%)	0	0
<b>NO<sub>2</sub> (µg/m<sup>3</sup>) RR MH 1,02 (1,00 -1,03)</b>	<b>Esposizione media (pesata per popolazione)</b>	35	30,7	26,8	20,9	16,9
<b>Counterfactual OMS 40 µg/m<sup>3</sup></b>	<b>Morti premature (N e IC 95% , % e IC al 95%)</b>	430 (0-628) 0.9% (0.0%-1.4%)	102 * (0-151) 0.2% (0.0%-0.3%)	114 (0-168) 0.2% (0.0%-0.4%)	0	0
<b>Counterfactual OMS 20 µg/m<sup>3</sup></b>	<b>Morti premature (N e IC 95% , % e IC al 95%)</b>	1.310 (0-1.894) 2.8% (0.0%-4.1%)	933 (0-1.363) 2.0% (0.0%-2.9%)	684 (0-996) 1.5% (0.0%-2.2%)	380 (0-557) 0.8% (0.0%-1.2%)	184 (0-270) 0.4% (0.0%-0.6%)

Sono stati calcolati gli esiti attesi in Regione Piemonte, legati agli effetti a lungo termine delle esposizioni stimate negli anni 2005, 2010, 2015. I casi attesi sono riportati in valore assoluto con proprio Intervallo di Confidenza ed in percentuale (e relativo Intervallo di Confidenza; è stata quindi effettuata la valutazione dei casi attesi nei due scenari ipotizzabili al 2030. Nelle celle dove è riportato lo “0” non è riportato nessun effetto in relazione al superamento del valore controfattuale impostato, ossia in nessun comune si evidenziano sforamenti. E’ evidente che abbassando la soglia sotto la quale ipotizzo assenza di rischio per la salute dell’uomo, aumenta il numero di casi attesi (ed il numero di celle compilabili).

Nella Tabella 3a sono stati utilizzati i Rischi Relativi ottenuti dal progetto LIFE MED HISS che essendo più contenuti rispetto ai valori forniti dalla letteratura in generale, restituiscono stime più basse, ma ovviamente il quadro è conservato (saranno sempre uguali i comuni che superano i valori soglia di volta in volta impostati).

**Tabella 4.** Mortalità per cause specifiche confrontata con tutte le cause escludendo le cause violente: casi evitabili associati alle esposizioni a PM2.5 per gli anni 2005, 2010, 2015 e per gli scenari 2030 CLE e 2030 SCE, utilizzando Rischi relativi OMS.

		2005	2010	2015	2030 CLE	2030 SCE
<b>Regione Piemonte</b>						
<b>PM2.5 (<math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math>) Counterfactual OMS 10 <math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math></b>	<b>Esposizione media (pesata per popolazione)</b>	38,4	27,3	22,7	20,1	15,6
<b>Cause naturali RR OMS 1,07 (1,04-1,09)</b>	<b>Morti premature (N e IC 95% , % e IC al 95%)</b>	7.043 (4.476-8.469) 15.2% (9.7%-18.3%)	4.595 (2.843-5.614) 9.9% (6.1%-12.1%)	3.477 (2.126-4.280) 7.5% (4.6%-9.2%)	2.822 (1.713-3.489) 6.1% (3.7%-7.5%)	1.630 (976-2.032) 3.5% (2.1%-4.4%)
<b>Malattie del sistema cardiocircolatorio RR OMS 1,10 (1,05-1,15)</b>	<b>Morti premature (N e IC 95% , % e IC al 95%)</b>	3.596 (2.129-4.630) 19.6% (11.6%-25.3%)	2.401 (.1365-3.195) 13.1% (7.4%-17.4%)	1.832 (1.022-2.479) 10.0% (5.6%-13.5%)	1.497 (826-2.045) 8.2% (4.5%-11.2%)	875 (473-1.219) 4.8% (2.6%-6.7%)
<b>Malattie dell'apparato respiratorio RR OMS 1,10 (1,00-1,24)</b>	<b>Morti premature (N e IC 95% , % e IC al 95%)</b>	701 19.7%	470 13.2%	361 10.1%	296 8.3%	173 4.9%
<b>Tumore di trachea bronchi e polmoni RR OMS 1,09 (1,04-1,14)</b>	<b>Morti premature (N e IC 95% , % e IC al 95%)</b>	522 (276-693) 18.5% (9.8%-24.6%)	345 (175-475) 12.3% (6.2%-16.9%)	263 (131-369) 9.4% (4.7%-13.1%)	214 (105-303) 7.6% (3.7%-10.8%)	125 (60-180) 4.4% (2.1%-6.4%)
<b>PM2.5 (<math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math>) Counterfactual CE 25 <math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math></b>	<b>Esposizione media (pesata per popolazione)</b>	38,4	27,3	22,7	20,1	15,6
<b>Cause naturali RR OMS 1,07 (1,04-1,09)</b>	<b>Morti premature (N e IC 95% , % e IC al 95%)</b>	3.669 (2.262-4.492) 7.9% (4.9%-9.7%)	1.040 (624-1.296) 2.2% (1.3%-2.8%)	168 (99-212) 0.4% (0.2%-0.5%)	0	0
<b>Malattie del sistema cardiocircolatorio RR OMS 1,10 (1,05-1,15)</b>	<b>Morti premature (N e IC 95% , % e IC al 95%)</b>	1.919 (1.085-2.566) 10.5% (5.9%-14.0%)	556 (301-773) 3.0% (1.6%-4.2%)	89 (47-127) 0.5% (0.3%-0.7%)	0	0
<b>Malattie dell'apparato respiratorio RR OMS 1,10 (1,00-1,24)</b>	<b>Morti premature (N e IC 95% , % e IC al 95%)</b>	374 10.5%	109 3.1%	18 0.5%	0	0
<b>Tumore di trachea bronchi e polmoni RR OMS 1,09 (1,04-1,14)</b>	<b>Morti premature (N e IC 95% , % e IC al 95%)</b>	281 (142-388) 10.0% (5.0%-13.8%)	83 (40-119) 2.9% (1.4%-4.2%)	14 (7-21) 0.5% (0.2%-0.7%)	0	0

Nella Tabella 4 sono riportati per il PM2.5 gli esiti di mortalità con il dettaglio della causa, per poter valutare, a parità di condizioni espositive, come il Rischio Relativo si manifesti nella popolazione in studio. Valutazioni come questa supportano una quantificazione economica dei costi sanitari più aderente alla realtà oggetto di intervento.

**Tabella 4a.** Mortalità per cause specifiche confrontata con tutte le cause escludendo le cause violente: casi evitabili associati alle esposizioni a PM2.5 per gli anni 2005, 2010, 2015 e per gli scenari 2030 CLE e 2030 SCE, utilizzando Rischi relativi LIFE MEDHISS.

		2005	2010	2015	2030 CLE	2030 SCE
<b>Regione Piemonte</b>						
<b>PM2.5 (<math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math>) Counterfactual OMS 10 <math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math></b>	<b>Esposizione media (pesata per popolazione)</b>	38,4	27,3	22,7	20,1	15,6
<b>Cause naturali RR MH 1,03 (1,02-1,05)</b>	<b>Morti premature (N e IC 95% , % e IC al 95%)</b>	3.484 (2.413-5.396) 7.5% (5.2%-11.7%)	2.192 (1.502-3.460) 4.7% (3.2%-7.5%)	1.631 (1.113-2.597) 3.5% (2.4%-5.6%)	1.311 (893-2.098) 2.8% (1.9%-4.5%)	744 (504-201) 1.6% (1.1%-2.6%)
<b>Malattie del sistema cardiocircolatorio RR MH 1,01 (1,00-1,04)</b>	<b>Morti premature (N e IC 95% , % e IC al 95%)</b>	495 (0-1.766) 2.7% (0.0%-9.6%)	305 (0-1.122) 1.7% (0.0%-6.1%)	224 (0-837) 1.2% (0.0%-4.6%)	179 (0-674) 1.0% (0.0%-3.7%)	101 (0-384) 0.6% (0.0%-2.1%)
<b>Malattie dell'apparato respiratorio RR MH 1,02 (1,00-1,10)</b>	<b>Morti premature (N e IC 95% , % e IC al 95%)</b>	186 (0-701) 5.2% (0.0%-19.7%)	116 (0-470) 3.3% (0.0%-13.2%)	86 (0-361) 2.4% (0.0%-10.1%)	70 (0-296) 1.9% (0.0%-8.3%)	39 (0-173) 1.1% (0.0%-4.9%)
<b>Tumore di trachea bronchi e polmoni RR MH 1,17 (1,10-1,24)</b>	<b>Morti premature (N e IC 95% , % e IC al 95%)</b>	772 (561-903) 27.4% (19.9%-32.1%)	538 (374-653) 19.1% (13.3%-3.2%)	422 (286-520) 15.0% (10.2%-8.5%)	348 (233-435) 12.4% (8.3%-15.5%)	209 (136-267) 7.4% (4.8%-9.5%)
<b>PM2.5 (<math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math>) Counterfactual CE 25 <math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math></b>	<b>Esposizione media (pesata per popolazione)</b>	38,4	27,3	22,7	20,1	15,6
<b>Cause naturali RR MH 1,03 (1,02-1,05)</b>	<b>Morti premature (N e IC 95% , % e IC al 95%)</b>	1.742 (1.193-2.756) 3.8% (2.6%-6.0%)	476 (323-767) 1.0% (0.7%-1.7%)	75 (51-123) 0.2% (0.1%-0.3%)	0	0
<b>Malattie del sistema cardiocircolatorio RR MH 1,01 (1,00-1,04)</b>	<b>Morti premature (N e IC 95% , % e IC al 95%)</b>	241 (0-891) 1.3% (0.0%-4.9%)	64 (0-245) 0.4% (0.0%-1.3%)	10 (0-38) 0.1% (0.0%-0.2%)	0	0
<b>Malattie dell'apparato respiratorio RR MH 1,02 (1,00-1,10)</b>	<b>Morti premature (N e IC 95% , % e IC al 95%)</b>	92 2.6%	25 0.7%	4 0.1%	0	0
<b>Tumore di trachea bronchi e polmoni RR MH 1,17 (1,10-1,24)</b>	<b>Morti premature (N e IC 95% , % e IC al 95%)</b>	441 (305-538) 15.7% (10.8%-19.1%)	138 (90-176) 4.9% (3.2%-6.3%)	25 (16-32) 0.9% (0.6%-1.1%)	0	0

Nella Tabella 4a sono riportati per il PM2.5 gli esiti di mortalità con il dettaglio della causa, per poter valutare, a parità di condizioni espositive, come il Rischio Relativo si manifesti nella popolazione in studio. In questo caso si sono utilizzate le stime di Rischio Relativo derivanti da LIFE MEDHISS.

**Tabella 5.** Mortalità per cause specifiche confrontata con tutte le cause escludendo le cause violente: casi evitabili associati alle esposizioni a NO<sub>2</sub> per gli anni 2005, 2010, 2015 e per gli scenari 2030 CLE e 2030 SCE, utilizzando Rischi relativi LIFE MEDHISS.

		2005	2010	2015	2030 CLE	2030 SCE
<b>Regione Piemonte</b>						
<b>NO<sub>2</sub> (µg/m<sup>3</sup>) Counterfactual OMS new 20 µg/m<sup>3</sup></b>	<b>Esposizione media (pesata per popolazione)</b>	35	30,7	26,8	20,9	16,9
<b>Cause naturali RR MH 1,02 (1,00-1,03)</b>	<b>Morti premature (N e IC 95% , % e IC al 95%)</b>	1.310 (0-1.894) 2.8% (0.0%-4.1%)	933 (0-1.363) 2.0% (0.0%-2.9%)	684 (0-996) 1.5% (0.0%-2.2%)	380 (0-557) 0.8% (0.0%-1.2%)	184 (0-270) 0.4% (0.0%-0.6%)
<b>Malattie del sistema cardiocircolatorio RR MH 1,00</b>	<b>Morti premature (N e IC 95% , % e IC al 95%)</b>	0	0	0	0	0
<b>Malattie dell'apparato respiratorio RR MH 1,01 (1,00-1,07)</b>	<b>Morti premature (N e IC 95% , % e IC al 95%)</b>	53 1.5%	37 1.0%	27 0.8%	15 0.4%	7 0.2%
<b>Tumore di trachea bronchi e polmoni RR MH 1,16 (1,10-1,23)</b>	<b>Morti premature (N e IC 95% , % e IC al 95%)</b>	432 (322-518) 15.3% (11.4%-18.4%)	341 (244-423) 12.1% (8.7%-15.0%)	250 (182-307) 8.9% (6.5%-10.9%)	149 (106-187) 5.3% (3.8%-6.6%)	78 (54-101) 2.8% (1.9%-3.6%)
<b>NO<sub>2</sub> (µg/m<sup>3</sup>) Counterfactual OMS 40 µg/m<sup>3</sup></b>	<b>Esposizione media (pesata per popolazione)</b>	35	30,7	26,8	20,9	16,9
<b>Cause naturali RR MH 1,02 (1,00-1,03)</b>	<b>Morti premature (N e IC 95% , % e IC al 95%)</b>	430 0.9%	102 0.2%	114 0.2%	0	0
<b>Malattie del sistema cardiocircolatorio RR MH 1,00</b>	<b>Morti premature (N e IC 95% , % e IC al 95%)</b>	0	0	0	0	0
<b>Malattie dell'apparato respiratorio RR MH 1,01 (1,00-1,07)</b>	<b>Morti premature (N e IC 95% , % e IC al 95%)</b>	17 0.5%	4 0.1%	5 0.1%	0	0
<b>Tumore di trachea bronchi e polmoni RR MH 1,16 (1,10-1,23)</b>	<b>Morti premature (N e IC 95% , % e IC al 95%)</b>	162 (117-200) 5.8% (4.2%-7.1%)	45 (31-59) 1.6% (1.1%-2.1%)	50 (34-66) 1.8% (1.2%-2.3%)	0	0

Nella Tabella 5 sono riportati per il biossido di azoto gli esiti di mortalità con il dettaglio della causa, per poter valutare, a parità di condizioni espositive, come il Rischio Relativo si manifesti nella popolazione in studio.

Essendo stati utilizzati i Rischi Relativi derivanti da LIFE MED HISS, il quadro è conservato ma le stime sono più modeste (dove il RR è pari a 1 si suppone che non ci sia nessun rischio per la popolazione esposta).

**Tabella 6.** Ricoveri per cause specifiche: casi evitabili associati alle esposizioni a PM2.5 per gli anni 2005, 2010, 2015 e per gli scenari 2030 CLE e 2030 SCE, utilizzando Rischi relativi LIFE MEDHISS.

		2005	2010	2015	2030 CLE	2030 SCE
<b>Regione Piemonte</b>						
<b>PM2.5 (<math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math>) Counterfactual OMS 10 <math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math></b>	<b>Esposizione media (pesata per popolazione)</b>	38,4	27,3	22,7	20,1	15,6
<b>Malattie del sistema cardiocircolatorio RR MH 1,05 (1,03-1,06)</b>	<b>Ricoveri attribuibili (N e IC 95% , % e IC al 95%)</b>	5.342 (3.451-6.186) 11.7% (7.6%-13.6%)	3.421 (2.168-3.997) 7.5% (4.8%-8.8%)	2.565 (1.611-3.009) 5.6% (3.5%-6.6%)	2.066 (1.292-2.430) 4.5% (2.8%-5.3%)	1.183 (733-1.397) 2.6% (1.6%-3.1%)
<b>Malattie dell'apparato respiratorio RR MH 1,03 (1,00-1,07)</b>	<b>Ricoveri attribuibili (N e IC 95% , % e IC al 95%)</b>	1.612 7.6%	1.017 4.8%	760 3.6%	610 2.9%	347 1.6%
<b>Tumore di trachea bronchi e polmoni RR MH 1,18 (1,10-1,26)</b>	<b>Ricoveri attribuibili (N e IC 95% , % e IC al 95%)</b>	642 (453-752) 28.0% (19.8%-32.9%)	451 (303-549) 19.7% (13.2%-24.0%)	353 (231-439) 15.4% (10.1%-19.2%)	292 (188-368) 12.8% (8.2%-16.1%)	176 (110-228) 7.7% (4.8%-10.0%)
<b>PM2.5 (<math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math>) Counterfactual CE 25 <math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math></b>	<b>Esposizione media (pesata per popolazione)</b>	38,4	27,3	22,7	20,1	15,6
<b>Malattie del sistema cardiocircolatorio RR MH 1,05 (1,03-1,06)</b>	<b>Ricoveri attribuibili (N e IC 95% , % e IC al 95%)</b>	2.758 (1.744-3.226) 6.1% (3.8%-7.1%)	781 (484-922) 1.7% (1.1%-2.0%)	129 (79-153) 0.3% (0.2%-0.3%)	0	0
<b>Malattie dell'apparato respiratorio RR MH 1,03 (1,00-1,07)</b>	<b>Ricoveri attribuibili (N e IC 95% , % e IC al 95%)</b>	811 3.8%	226 1.1%	37 0.2%	0	0
<b>Tumore di trachea bronchi e polmoni RR MH 1,18 (1,10-1,26)</b>	<b>Ricoveri attribuibili (N e IC 95% , % e IC al 95%)</b>	367 (244-449) 16.0% (10.7%-19.6%)	116 (72-149) 5.0% (3.2%-6.5%)	20 (12-27) 0.9% (0.5%-1.2%)	0	0

Nella Tabella 6 sono riportati per il PM2.5 gli esiti di ricovero con il dettaglio della causa, per poter valutare, a parità di condizioni espositive, come il Rischio Relativo si manifesti nella popolazione in studio. Valutazioni come questa supportano una quantificazione economica dei costi sanitari diretti più aderente alla realtà oggetto di intervento. Si sono utilizzati i Rischi Relativi derivanti dal progetto LIFE MED HISS, che dal confronto sui dati di mortalità appaiono essere conservativi, ma aggiornati alla disponibilità di informazioni sul territorio nazionale.

**Tabella 7. Ricoveri per cause specifiche: casi evitabili associati alle esposizioni a NO<sub>2</sub> per gli anni 2005, 2010, 2015 e per gli scenari 2030 CLE e 2030 SCE, utilizzando Rischi relativi LIFE MEDHISS.**

		2005	2010	2015	2030 CLE	2030 SCE
<b>Regione Piemonte</b>						
<b>NO<sub>2</sub> (µg/m<sup>3</sup>) Counterfactual OMS new 20 µg/m<sup>3</sup></b>	<b>Esposizione media (pesata per popolazione)</b>	35	30,7	26,8	20,9	16,9
<b>Malattie del sistema cardiocircolatorio RR MH 1,05 (1,03-1,07)</b>	<b>Ricoveri attribuibili (N e IC 95% , % e IC al 95%)</b>	3.001 (1.935-3.923) 6.6% (4.3%-8.6%)	2.197 (1.390-2.923) 4.8% (3.1%-6.4%)	1.634 (1.039-2.162) 3.6% (2.3%-4.8%)	931 (586-1.244) 2.0% (1.3%-2.7%)	460 (286-621) 1.0% (0.6%-1.4%)
<b>Malattie dell'apparato respiratorio RR MH 1,02 (1,00-1,05)</b>	<b>Ricoveri attribuibili (N e IC 95% , % e IC al 95%)</b>	625 2.9%	444 2.1%	332 1.6%	188 0.9%	91 0.4%
<b>Tumore di trachea bronchi e polmoni RR MH 1,26 (1,12-1,28)</b>	<b>Ricoveri attribuibili (N e IC 95% , % e IC al 95%)</b>	386 (289-446) 16.9% (12.6%-19.5%)	311 (223-372) 13.6% (9.7%-16.2%)	224 (163-265) 9.8% (7.1%-11.6%)	136 (96-163) 5.9% (4.2%-7.1%)	72 (49-90) 3.2% (2.2%-3.9%)
<b>NO<sub>2</sub> (µg/m<sup>3</sup>) Counterfactual OMS 40 µg/m<sup>3</sup></b>	<b>Esposizione media (pesata per popolazione)</b>	35	30,7	26,8	20,9	16,9
<b>Malattie del sistema cardiocircolatorio RR MH 1,05 (1,03-1,07)</b>	<b>Ricoveri attribuibili (N e IC 95% , % e IC al 95%)</b>	1.041 (659-1.383) 2.3% (1.5%-3.0%)	260 (161-353) 0.6% (0.4%-0.8%)	289 (179-393) 0.6% (0.4%-0.9%)	0	0
<b>Malattie dell'apparato respiratorio RR MH 1,02 (1,00-1,05)</b>	<b>Ricoveri attribuibili (N e IC 95% , % e IC al 95%)</b>	213 1.0%	51 0.2%	57 0.3%	0	0
<b>Tumore di trachea bronchi e polmoni RR MH 1,26 (1,12-1,28)</b>	<b>Ricoveri attribuibili (N e IC 95% , % e IC al 95%)</b>	146 (105-173) 6.4% (4.6%-7.6%)	42 (28-54) 1.9% (1.2%-2.3%)	47 (32-59) 2.1% (1.4%-2.6%)	0	0

Nella Tabella 7 sono riportati per il biossido di azoto gli esiti di ricovero con il dettaglio della causa, per poter valutare, a parità di condizioni espositive, come il Rischio Relativo si manifesti nella popolazione in studio. Valutazioni come questa supportano una quantificazione economica dei costi sanitari diretti più aderente alla realtà oggetto di intervento. Si sono utilizzati i Rischi Relativi derivanti dal progetto LIFE MED HISS, che dal confronto sui dati di mortalità appaiono essere conservativi, ma aggiornati alla disponibilità di informazioni sul territorio nazionale.

Lo studio condotto ha permesso di quantificare sul territorio regionale i casi attesi di mortalità e ricovero in relazione alle esposizioni valutate al 2005, 2010 e 2015, di cui siamo in grado di stimare gli effetti a lungo termine.

Inoltre, sono stati stimati gli effetti per due diversi scenari 2030, a legislazione corrente oppure implementando tutte le misure possibili a livello regionale.

Le valutazioni sono state condotte valutando da una parte l'esposizione alle polveri (PM2.5) e dall'altra l'esposizione al biossido di azoto (NO<sub>2</sub>).

In termini quantitativi è stata condotta anche un'analisi per valutare l'entità di variazione nelle stime al variare dei parametri in ingresso, siano essi i livelli di controfattuale (quindi con implicazioni di tipo operativo), siano essi i diversi Rischi Relativi disponibili (permettendo quindi una valutazione metodologica di tipo epidemiologico al fine di comprendere i risultati in termini di comunicazione delle scelte operate).

Ciascuna stima è stata corredata di un intervallo di confidenza statistico calcolato al 95%, ma è necessario affermare che non si sono valutate appieno tutte le fonti di possibile incertezza: ad esempio non si è valutata la variabilità della stima dell'inquinante, ma si è usata una stima puntuale per ciascun comune. Esistono poi altri livelli di incertezza, perché si lavora utilizzando tassi di riferimento calcolati per definiti livelli amministrativi, nonché popolazioni che vengono calcolate come medie di periodo, non ottimali per la stima di eventi nel futuro,

La valutazione condotta permette di sottolineare criticità, soprattutto in relazione alle polveri ma non solo. Emergono criticità sia in merito ai decessi evitabili sia in merito ai ricoveri attribuibili, con risultati più preoccupanti se valutati in relazione alle Linee Guida OMS per la Qualità dell'aria.

Tuttavia, si evidenzia un trend in discesa per le concentrazioni stimate, che comporta una diminuzione dell'impatto su un lungo arco temporale, diminuzione che ovviamente può essere studiata sotto il profilo della salute quando si implementino tutte le misure disponibili in Regione Piemonte.

I risultati sono interessanti ed offrono lo spunto per ulteriori approfondimenti, sia in merito a valutazioni via via più ampie (disabilità legata a malattie, eventi sub clinici) sia in merito agli effetti socio-economici che sono in studio in collaborazione con la Università degli Studi di Torino.

## Conclusioni

I dati presentati sono confortanti rispetto ai trend evidenziati, con diminuzioni dei casi attribuibili in relazione alla generale tendenza di abbassamento dei livelli di esposizione e stimabili negli anni a venire. I vantaggi in termini di salute sono quantificabili anche per il confronto tra scenari a *Current Legislation* e scenari in cui si ipotizza la applicazione di tutte le misure implementabili a livello regionale.

Una precisa quantificazione dei costi descritti può essere effettuata tramite un lavoro collaborativo tra economisti sanitari, esperti di valutazione e modellazione della qualità dell'aria ed epidemiologi.

Anche se tali indicazioni sono ormai note, discusse a vari livelli e sperimentate in alcuni Paesi europei, tanto da prevedere che enti quali OMS, insieme alle altre istituzioni scientifiche internazionali, aggiornino costantemente le stime di pericolosità dell'inquinamento dell'aria *indoor* e *outdoor*, la messa in atto di tavoli multidisciplinari attraverso i quali mettere a confronto i dati e i metodi disponibili per affinare il calcolo degli interventi in un'ottica di costi/benefici, rappresenta una sfida importante ed attuale per gli Enti a diverso titolo coinvolti.

Ancora una volta, la partecipazione ad un lavoro progettuale, su lungo periodo, in un ampio partenariato e con la possibilità di coinvolgere Enti in grado di apportare elementi innovativi, ha permesso di porre le basi per possibilità di studi ed approfondimenti futuri che siano utili sia da un punto di vista metodologico, sia dal punto di vista della implementazione di misure operative concrete ma valutabili in merito a parametri di sostenibilità.