

## **IMPATTO SANITARIO DELLE POLVERI SOTTILI AD ANCONA NEGLI ANNI 2009-2011 VALUTAZIONE DEI POSSIBILI GUADAGNI DALLE POLITICHE DI MIGLIORAMENTO AMBIENTALE**

**Margherita Mariottini\*, Marco Baldini\*\*, Silvia Bartolacci\*\*, Katuscia Di Biagio\*\*,  
Thomas V. Simeoni\*\*, Mauro Mariottini\*\***

\*Studente presso Università Politecnica delle Marche - Facoltà di Medicina e Chirurgia

\*\* ARPAM Dipartimento di Ancona



**Marzo 2015**

## SOMMARIO

---

|   |    |
|---|----|
| ABSTRACT .....  | 3  |
| 1. INTRODUZIONE .....   | 4  |
| 1.1 Obiettivi .....   | 5  |
| 2. MATERIALI E METODI .....   | 6  |
| 2.1 Dati ambientali .....   | 6  |
| 2.2 Popolazione in studio .....                                       | 7  |
| 2.3 Dati sanitari.....  | 7  |
| 2.4 Metodo per le valutazione di Health Impact Assessment (HIA) ..... | 9  |
| 3. RISULTATI.....   | 10 |
| 4. DISCUSSIONE E CONCLUSIONI.....                                     | 13 |
| ALLEGATO 1. METODOLOGIA DI CALCOLO.....                               | 14 |
| BIBLIOGRAFIA .....  | 18 |

---

## ABSTRACT

---

### **Background**

*E' ormai accertato che l'inquinamento ambientale è causa di patologia nelle popolazioni esposte. Recenti studi, effettuati nell'ambito del progetto Aphekom sulla popolazione europea di 25 città, hanno evidenziato come vari stati europei superino i valori limite della concentrazione di particolato stabiliti dal WHO. Tale informazione mette in luce l'esistenza di un margine di miglioramento supportato da studi sempre nuovi sulla qualità dell'aria.*

### **Obiettivi**

*Utilizzando gli strumenti proposti dal progetto Aphekom si vuole evidenziare come, anche con riferimento alla popolazione di Ancona, un intervento di politica ambientale potrebbe portare a rilevanti benefici sia sanitari che economici.*

### **Materiali e metodi**

*I dati ambientali sono stati reperiti tramite le pubblicazioni ufficiali disponibili in rete sulla qualità dell'aria registrata presso la centralina Cittadella di Ancona negli anni 2009-2011. Lo studio ha valutato gli impatti a breve e a lungo termine delle sole polveri sottili, in quanto di maggiore interesse per la salute umana e più rilevanti nelle condizioni ambientali riscontrate.*

*I dati sanitari di interesse per lo studio nello stesso periodo sono quelli nella disponibilità dell'Osservatorio Epidemiologico Ambientale dell'Arpam. Per la valutazione degli impatti evitabili (mortalità e ricoveri ospedalieri evitabili, anni potenziali di vita guadagnati) si è utilizzata la metodologia dell'Health Impact Assessment (HIA), e in particolare sono stati applicati i tools proposti dal progetto Aphekom. Le funzioni di rischio sono state ricavate dalla letteratura scientifica internazionale riportata nel progetto suddetto, così come la metodologia finalizzata alla stima dell'impatto economico.*

*Nel presente lavoro si sono proposti due scenari di miglioramento ambientale quali:*

- 1. la riduzione di  $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$  delle polveri sottili e*
- 2. il rispetto dei valori di qualità dell'aria proposti dal WHO.*

### **Risultati**

*Nei tre anni considerati la centralina di riferimento per il rilevamento delle polveri ad Ancona non ha registrato il superamento dei limiti di qualità dell'aria previsti dalla normativa italiana che, ad ogni modo, sono superiori a quelli proposti dal WHO.*

*Gli effetti a breve termine per esposizioni a  $\text{PM}_{10}$  sono quantificabili, per lo scenario 1, in 3 decessi evitabili all'anno. La mortalità precoce evitabile nello scenario 2 è quantificabile in 8 decessi all'anno. I benefici sulla ospedalizzazione per cause respiratorie nei due scenari è rispettivamente di 6 e 16 ricoveri. Sulle ospedalizzazioni per cause cardiache i risparmi sarebbero di 5 e 13 eventi.*

*La mortalità precoce evitabile quale effetto a lungo termine per esposizioni a  $\text{Pm}_{2,5}$  è quantificabile, per lo scenario 1, in 32 decessi all'anno. In questo scenario il guadagno nell'aspettativa di vita a 30 anni è di 3,9 mesi, pari ad un guadagno globale nella stessa popolazione di 438,0 anni. Lo stesso evento nello scenario 2 si esplica in 62 decessi all'anno. In questo scenario il guadagno globale nell'aspettativa di vita a 30 anni è pari a 7,8 mesi, corrispondente ad un guadagno globale nella stessa popolazione di 872,6 anni. I benefici sulla mortalità per cause cardiovascolari nei due scenari è di 23 e 43 decessi.*

### **Conclusioni**

*Nella realtà della città di Ancona, pur esistendo condizioni di contaminazione ambientale non particolarmente critiche almeno in confronto a molte città della pianura padana, vi sono indicazioni per perseguire politiche ed obiettivi di miglioramento ambientale, sia in vista del beneficio ottenibile in termini di salute sia di risparmio economico.*

**KEYWORDS :**  $\text{PM}_{10}$ ,  $\text{PM}_{2,5}$ , mortalità, ospedalizzazione, Aphekom

## 1. INTRODUZIONE

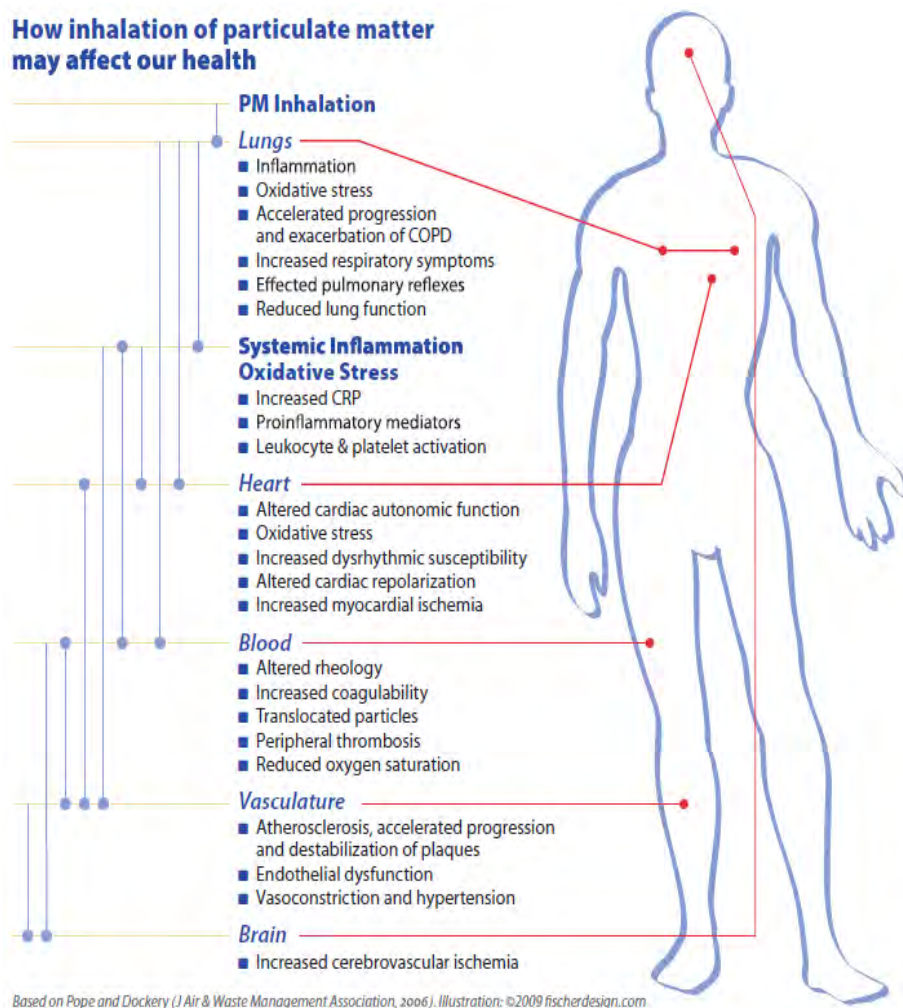
Il 2013 è stato dichiarato come “anno dell’aria” dall’Unione Europea per sensibilizzare governi e popolazione sul problema sempre più critico dell’inquinamento atmosferico.

Nonostante gli sforzi dei vari governi, attraverso le politiche ambientali non sono stati ancora raggiunti in molte città europee livelli di inquinamento ambientale che rientrino nei valori di qualità proposti dall’Organizzazione Mondiale della Sanità (WHO).

E’ ormai accettato, a livello internazionale, che l’inquinamento atmosferico costituisca uno dei maggiori fattori di rischio ambientali che influenzano lo stato di salute delle popolazioni (Figura 1). Nell’ambito dell’inquinamento atmosferico due sono gli inquinanti che causano i principali problemi di salute nella popolazione: il particolato atmosferico (PM) e l’ozono (O<sub>3</sub>) a livello del suolo.

L’European Environment Agency (EEA) nel rapporto “Air quality in Europe - 2013 report” (1) sottolinea come oltre il 90% della popolazione residente in città nell’UE sia esposta a concentrazioni di PM<sub>2,5</sub> superiori al valore soglia proposto dal WHO.

**Figura 1. Effetti sulla salute umana associati all’inalazione di polveri atmosferiche**



Nella valutazione globale degli impatti sulla salute, oltre al calcolo numerico degli eventi sanitari occorre considerare anche il costo economico e sociale ad essi collegato, quali le assenze dal lavoro, i giorni di inattività, i giorni di scuola persi, il peso dell'assistenza domestica e soprattutto i costi pubblici e privati dell'assistenza sanitaria.

Il recente rapporto pubblicato nell'ambito del progetto "Review of Evidence on Health Aspects of Air Pollution" (REVIHAAP project) (2), ha evidenziato delle novità riguardanti i livelli soglia delle concentrazioni di inquinanti; secondo i nuovi dati, gli effetti sanitari associabili all'esposizione a PM<sub>2,5</sub> potrebbero verificarsi anche a concentrazioni inferiori (media annuale <10 µg/m<sup>3</sup>) sia rispetto a quelle accettate dalla normativa europea sia quelle indicate nelle linee guida (3) pubblicate nel 2005 dal WHO (che definivano un valore limite per la media annuale di 10 µg/m<sup>3</sup>).

## **1.1 OBIETTIVI**

L'obiettivo di questo studio è provare a quantificare i benefici che si riscontrerebbero se i livelli di polveri sottili rilevati ad Ancona si riducessero a quelli raccomandati dal WHO. Tali benefici per la popolazione possono essere descritti in termini economici, di salute e di aspettativa di vita.

Il progetto europeo "Improving Knowledge and Communication for Decision Making on Air Pollution and Health in Europe (Aphekom)" ha posto le basi e gli strumenti per la quantificazione dei benefici derivanti dall'implementazione di politiche efficaci nella riduzione dei livelli di inquinamento atmosferico nelle città europee. Utilizzando detti strumenti, presentati nel documento "Guidelines for assessing the health impacts of air pollution in European cities" (4), col presente lavoro ci si propone di valutare nella popolazione di Ancona gli eventi evitabili e i relativi costi potenzialmente associati all'inquinamento atmosferico.

In particolare sono considerati i seguenti scenari:

- |                         |  |
|-------------------------|--|
| Effetti a lungo termine | - riduzione della media annuale del PM <sub>2,5</sub> di 5 µg/m <sup>3</sup>                                 |
|                         | - riduzione della media annuale del PM <sub>2,5</sub> ai livelli consigliati dal WHO (10 µg/m <sup>3</sup> ) |
| Effetti a breve termine | - riduzione della media annuale del PM <sub>10</sub> di 5 µg/m <sup>3</sup>                                  |
|                         | - riduzione della media annuale del PM <sub>10</sub> ai livelli consigliati dal WHO (20 µg/m <sup>3</sup> )  |

## 2. MATERIALI E METODI

### 2.1 DATI AMBIENTALI

I rilievi ambientali in merito alle concentrazioni delle polveri sono stati reperiti dal Sistema di qualità dell'aria dell'Agenzia Regionale per la Protezione Ambientale delle Marche (ARPAM) (5), prelevati presso la stazione di monitoraggio di "Cittadella" (Lat. 43°36'42" – Long. 13°30'31") (Figura 2).

**Figura 2. Collocazione centralina di monitoraggio "Cittadella"**



Nel rispetto delle indicazioni del D.Lgs. 155/2010 è stata scelta la stazione classificata come "background urbano", in quanto più rappresentativa dell'esposizione della popolazione residenziale di Ancona.

Nel presente lavoro si è preso in considerazione solo il parametro 'polveri' in quanto il parametro ozono è risultato costantemente inferiore ai valori limite previsti dalla normativa nazionale, e comunque di minore interesse dal punto vista sanitario per gli eventi rilevati. Tutte le serie dei dati considerati nei tre anni in studio hanno superato il criterio di accettabilità di completezza per almeno il 75% previsto dalla normativa suddetta.

Si riportano nella Tabella 1 i valori obiettivo di qualità proposti dal WHO e dalla normativa nazionale (ed europea) per la protezione della salute umana.

**Tabella 1. Linee guida qualità dell'aria per il particolato – WHO. aggiornamento globale 2005 e normativa italiana**

| Contaminante      | Valore linea guida WHO            | Valore linea guida Italia (DLgs 155/2010)      |
|-------------------|-----------------------------------|--|
| PM <sub>2,5</sub> | 10 µg/m <sup>3</sup> media annua  | 25 µg/m <sup>3</sup> media annua <sup>1</sup>  |
|                   | 25 µg/m <sup>3</sup> media 24-ore |  |
| PM <sub>10</sub>  | 20 µg/m <sup>3</sup> media annua  | 40 µg/m <sup>3</sup> media annua               |
|                   | 50 µg/m <sup>3</sup> media 24-ore | 50 µg/m <sup>3</sup> media 24-ore <sup>2</sup> |

**Note:** <sup>1</sup> in vigore dal 1 gennaio 2015;

<sup>2</sup> da non superare per più di 35 volte all'anno

## 2.2 POPOLAZIONE IN STUDIO

I dati della popolazione residente ad Ancona, per genere e classe di età nel periodo 2009-2011 (Tabella 2) sono stati ricavati dalle tavole demografiche di popolazione dell'ISTAT (6).

**Tabella 2. Popolazione residente ad Ancona (cumulativa nei 3 anni 2009-2011)**

| Classi di età | Popolazione |
|---------------|-------------|
| 30-34         | 20.047      |
| 35-39         | 23.235      |
| 40-44         | 23.764      |
| 45-49         | 23.042      |
| 50-54         | 20.751      |
| 55-59         | 20.163      |
| 60-64         | 19.652      |
| 65-69         | 17.510      |
| 70-74         | 17.240      |
| 75-79         | 14.954      |
| 80-84         | 12.474      |
| 85 +          | 12.013      |
| 15-64         | 193.863     |
| 65 +          | 74.189      |
| Tutte le età  | 306.774     |

## 2.3 DATI SANITARI

L'insieme dei dati utilizzati deriva dalle Schede di Dimissione Ospedaliera (SDO) fornite dall'Agenzia Regionale Sanitaria della Regione Marche per il periodo che va dal 2009 al 2011 e dall'archivio ISTAT delle cause di morte messo a disposizione dalla P.F. Sistemi Statistici e di controllo di gestione della Giunta della Regione Marche nell'ambito del macroprogramma (aggiornamento ottobre 2014) del Programma Statistico Nazionale "Elaborazioni su dati di

mortalità, ricovero e esiti dei concepimenti per finalità di supporto alla programmazione regionale e locale " (PSN MAR-0006).

I dati sanitari in forma aggregata ed anonima sono stati estratti dall'atlante epidemiologico ambientale versione 9 - 2014 prodotto dall'Osservatorio Epidemiologico Ambientale della regione Marche/ Servizio di Epidemiologia Ambientale del Dipartimento Provinciale ARPAM di Ancona.

Per le valutazioni dello studio sono state utilizzate le cause di morte riportate nella Tabella 3 sia per la stima degli effetti long term che short term. Nella tabella 3 sono riportati gli eventi sanitari osservati negli anni 2009-2011 tra i residenti di Ancona, definiti con le codifiche internazionali ICD10 per le cause di morte e ICD9 per le cause di ricovero ospedaliero.

**Tabella 3. Eventi sanitari per classi di età ed anno in studio**

| <b>Codici ICD</b> | <b>Descrizione causa</b>                    | <b>Classi quinquennali di età studiate</b> | <b>Osservati 2009</b> | <b>Osservati 2010</b> | <b>Osservati 2011</b> |
|-------------------|---|--|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| <b>Long term</b>  |   |  |                       |                       |                       |
| A00-Y98           | Mortalità per tutte le cause                | 30-85+ anni                                | 1.069                 | 1.077                 | 1.146                 |
| I00-I99           | Mortalità cardiovascolare                   | 30-85+ anni                                | 383                   | 421                   | 425                   |
| <b>Short term</b> |   |  |                       |                       |                       |
| A00-R99           | Mortalità per tutte le cause non violente   | Tutte le età                               | 1.042                 | 1.040                 | 1.103                 |
| 390-429           | Ricoveri ospedalieri per cause cardiache    | Tutte le età                               | 1.742                 | 1.651                 | 1.755                 |
| 460-519           | Ricoveri ospedalieri per cause respiratorie | Tutte le età                               | 1.103                 | 1.157                 | 1.111                 |
| 460-519           | Ricoveri ospedalieri per cause respiratorie | 15-64 anni                                 | 380                   | 357                   | 365                   |
| 460-519           | Ricoveri ospedalieri per cause respiratorie | 65+  | 575                   | 655                   | 565                   |

Il calcolo degli eventi attribuibili è stato effettuato sulla base delle funzioni di rischio tratte dalla letteratura scientifica internazionale e rappresenta il numero di eventi sanitari associati all'esposizione della popolazione ad incrementi di PM di  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Nella Tabella 4 sono riportate le funzioni di rischio utilizzate nel presente studio con i relativi intervalli di confidenza al 95%.



**Tabella 4. Funzioni di rischio per esposizione ad incrementi di 10 µg/m<sup>3</sup> a PM**

| <b>Contaminante</b> | <b>Evento sanitario</b>                     | <b>RR<br/>(IC 95%)</b>    | <b>Ref.</b>                 |
|---------------------|---|---------------------------|-----------------------------|
| PM <sub>10</sub>    | Mortalità per tutte le cause non violente   | 1,006<br>(1,004-1,008)    | WHO, 2004 (7)               |
|                     | Ricoveri ospedalieri per cause cardiache    | 1,006<br>(1,003-1,009)    | Atkinson et al, 2005<br>(8) |
|                     | Ricoveri ospedalieri per cause respiratorie | 1,0114<br>(1,0062-1,0167) | Atkinson et al, 2005<br>(8) |
| PM <sub>2,5</sub>   | Mortalità per tutte le cause non violente   | 1,06<br>(1,02-1,11)       | Pope et al, 2002 (9)        |
|                     | Mortalità cardiovascolare                   | 1,12<br>(1,08-1,15)       | Pope et al, 2004 (10)       |

#### **2.4 METODO PER LE VALUTAZIONE DI HEALTH IMPACT ASSESSMENT (HIA)**

Le valutazioni Health Impact Assessment sono state effettuate utilizzando i tools di calcolo forniti dal progetto Aphekom (Work Package 5).

La descrizione della metodologia del calcolo, delle funzioni di impatto sanitario e la metodologia per le valutazioni economiche sono riportati nell'ALLEGATO 1 al presente lavoro.

### 3. RISULTATI

Le elaborazioni statistiche dei dati ambientali, rilevati dalla centralina di monitoraggio "Cittadella" di Ancona negli anni 2009, 2010 e 2011, sono riportate nella Tabella 5.

**Tabella 5. Livelli medi giornalieri della concentrazione dell'ozono, del PM<sub>10</sub> e del PM<sub>2,5</sub>**

| Contaminante                  | Media delle medie giornaliere ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) | Deviazione standard ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) | 5 <sup>th</sup> percentile ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) | 95 <sup>th</sup> percentile ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) |
|-------------------------------|--|--|---|--|
| Ozono (max media 8 ore)       | 55   | 24   | 15  | 90   |
| PM <sub>10</sub> (media 24h)  | 32   | 14   | 15  | 59   |
| PM <sub>2,5</sub> (media 24h) | 20   | 12   | 7   | 43   |

Nei tre anni considerati non sono mai stati superati i limiti di qualità previsti dalla normativa italiana.

La mortalità evitabile **a breve termine** per esposizioni a PM<sub>10</sub> è quantificabile, nello scenario di riduzione di 5  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  della concentrazione atmosferica media, in 3,2 decessi all'anno, pari a 3,1 per 100.000 residenti all'anno, che corrisponde ad un risparmio economico riferito al valore degli anni di vita (VOLY) di 274.585,98 euro.

Lo stesso evento nello scenario di rispetto delle indicazioni del WHO, pari alla riduzione della concentrazione media annua a 20  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , è di 7,7 decessi all'anno, pari al 7,6 per 100.000 residenti, con un risparmio economico ipotizzabile di 670.912,86 euro.

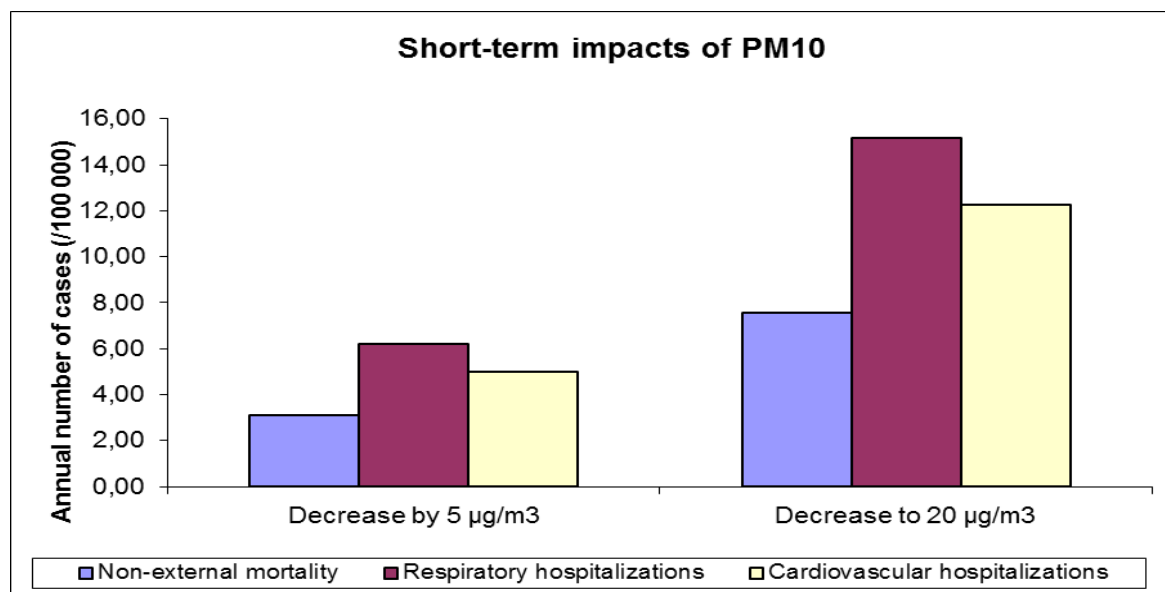
I benefici sulla ospedalizzazione per i ricoveri per cause respiratorie nei due scenari è rispettivamente di 6,4 e 15,5 eventi (6,2 per 100.000 e 15,1 per 100.000), con risparmi di 24.386,51 e 59.469,93 euro. Sulle ospedalizzazioni per le cause cardiache i risparmi sono di 5,1 e 12,5 eventi (5,0 per 100.000 e 12,3 per 100.000) con minori spese di 22.606,15 e 55.235,00 euro rispettivamente.

Gli eventi evitabili per gli effetti a breve termine del PM<sub>10</sub> sono riassunti nella Tabella 6 e nella Figura 3.

**Tabella 6. Eventi sanitari a breve termine evitabili ad Ancona negli anni 2009-2011 per riduzione dell'esposizione al PM<sub>10</sub> atmosferico**

| Scenari PM <sub>10</sub>                | Mortalità per cause non violente |  | Ricoveri per cause respiratorie |  | Ricoveri per cause cardiache |  |
|---|----------------------------------|--|---------------------------------|--|------------------------------|--|
|   | n. annuale di casi evitati       | n. annuale di casi evitati per 100.000 | n. annuale di casi evitati      | n. annuale di casi evitati per 100.000 | n. annuale di casi evitati   | n. annuale di casi evitati per 100.000 |
| Riduzione di 5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ | 3,2                              | 3,1                                    | 6,4                             | 6,2                                    | 5,1                          | 5,0                                    |
| Riduzione a 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ | 7,7                              | 7,6                                    | 15,5                            | 15,1                                   | 12,5                         | 12,3                                   |

**Figura 3. Eventi sanitari a breve termine evitabili ad Ancona negli anni 2009-2011 per riduzione dell'esposizione al Pm10 atmosferico**



La mortalità evitabile quale **effetto a lungo termine** per esposizioni a PM<sub>2,5</sub> è quantificabile, per lo scenario di riduzione di 5 µg/m<sup>3</sup> della concentrazione atmosferica media, in 31,5 decessi all'anno, pari al 42,0 per 100.000 residenti all'anno. A livello di valutazione monetaria il guadagno risulterebbe pari a 52.147.362,52 euro. In questo scenario il guadagno nell'aspettativa di vita a 30 anni è di 3,9 mesi, pari ad un guadagno globale nella stessa popolazione di 438,0 anni, con un risparmio stimato di 37.931.523,93 euro.

Lo stesso evento nel secondo scenario afferente il rispetto delle indicazioni del WHO, pari alla riduzione della concentrazione media annua a 10 µg/m<sup>3</sup>, è di 61,5 decessi all'anno, pari al 82,0 per 100.000 residenti, con un risparmio di 101.725.346,60 euro. In questo scenario il guadagno globale nell'aspettativa di vita a 30 anni è di 7,8 mesi, pari ad un guadagno globale nella stessa popolazione di 872,6 anni quantificabile in 75.569.853,27 euro (Figura 5).

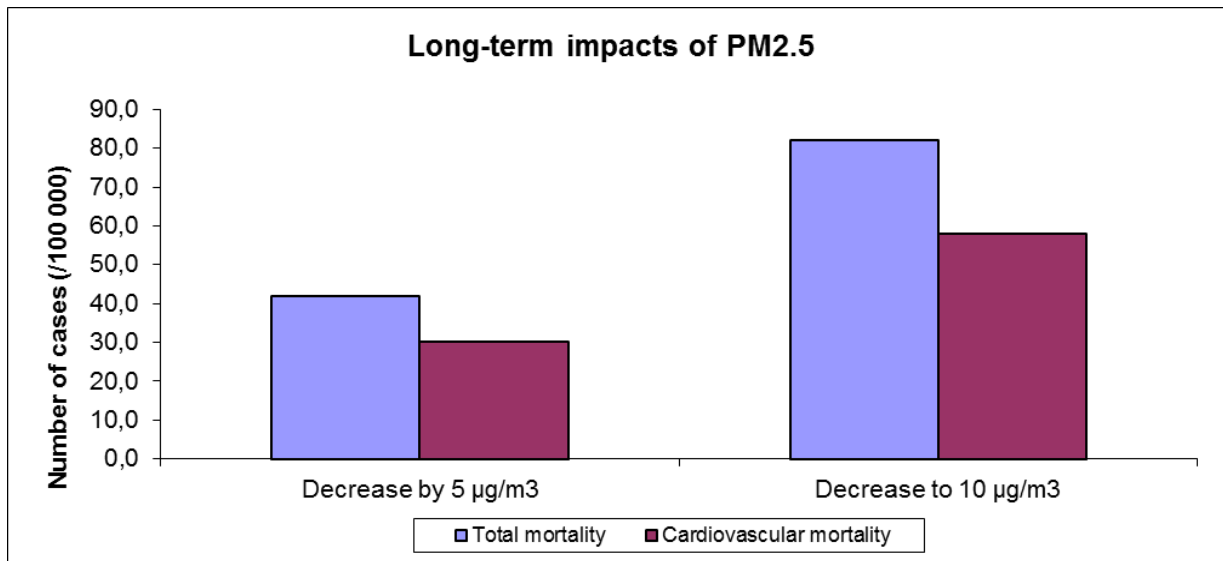
I benefici sulla mortalità per cause cardiovascolari nei due scenari risultano pari a 22,6 e 43,4 eventi (30,1 per 100.000 e 58,0 per 100.000 rispettivamente) con potenziali risparmi economici di 37.350.126,43 e 71.905.774,70 euro nei due rispettivi scenari.

Gli eventi evitabili per gli effetti a lungo termine del PM<sub>2,5</sub> sono riassunti nella Tabella 7 e nella Figura 4 seguenti.

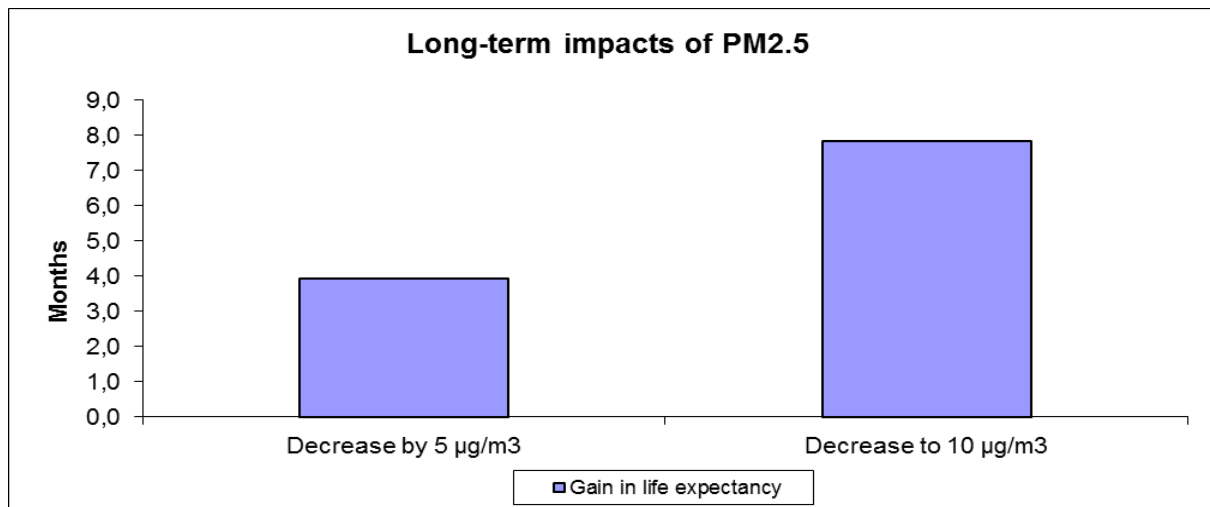
**Tabella 7. Eventi sanitari a lungo termine evitabili ad Ancona negli anni 2009-2011 per riduzione dell'esposizione al PM<sub>2,5</sub> atmosferico**

| Scenari PM <sub>2,5</sub>        | Mortalità per cause non violente |  | Mortalità per cause cardiovascolari |  | Vita guadagnata a 30 anni |  |
|----------------------------------|----------------------------------|--|-------------------------------------|--|---------------------------|--|
|                                  | n. annuale di casi evitati       | n. annuale di casi evitati per 100.000 | n. annuale di casi evitati          | n. annuale di casi evitati per 100.000 | n. mesi guadagnati        | n. anni di vita guadagnati dai trentenni |
| Riduzione di 5 µg/m <sup>3</sup> | 31,5                             | 42,0                                   | 22,6                                | 30,1                                   | 3,9                       | 438,0                                    |
| Riduzione a 10 µg/m <sup>3</sup> | 61,5                             | 82,0                                   | 43,4                                | 58,0                                   | 7,8                       | 872,6                                    |

**Figura 4. Eventi sanitari a lungo termine evitabili ad Ancona negli anni 2009-2011 per riduzione dell'esposizione al PM<sub>2,5</sub> atmosferico**



**Figura 5. Guadagno nell'aspettativa di vita dei trentenni residenti ad Ancona per la riduzione dell'esposizione al PM<sub>2,5</sub> atmosferico**



---

## 4. DISCUSSIONE E CONCLUSIONI

---

Gli studi di HIA tendono a fare valutazioni retrospettive o prospettive degli impatti sanitari diretti o indiretti di un fattore nocivo su una popolazione esposta. Esiste una intrinseca difficoltà nella comunicazione dei risultati di queste valutazioni, sia per la difficile conferma sperimentale dei risultati (es. verifica a posteriori) che per le numerose incertezze insite nel processo di valutazione.

Come in tutti gli studi in cui ci si serve di stime e misurazioni, i risultati sono infatti sottoposti ad incertezze, quali:

1. l'incertezza nella misura dell'esposizione:
  - a. la rappresentatività delle stazioni di monitoraggio per l'esposizione dell'intera popolazione, che non tengono in considerazione le variazioni di concentrazione di inquinanti nelle varie zone della città;
  - b. la correttezza delle misurazioni dal punto di vista analitico;
  - c. la composizione eterogenea del particolato con diversa tossicità e la presenza nel particolato di componenti naturali (es. polveri sahariane, sale marino);
  - d. il possibile effetto additivo o moltiplicativo di altri contaminanti non studiati;
2. l'incertezza nella misura degli outcome sanitari (es. misclassificazione delle cause di morte o di ospedalizzazione, variabilità e imprecisione nella valutazione economica, presenza di particolari gruppi più sensibili di popolazione). Si deve inoltre considerare la sottostima di alcuni eventi sanitari a causa delle persone che, per attività lavorativa o ricreativa, passano la maggior parte del loro tempo nella città di Ancona ma che sono residenti nei comuni limitrofi (e quindi i cui eventi sanitari sono attribuiti a questi comuni);
3. l'incertezza nelle funzioni di rischio (considerazione della stima puntuale e non dell'intero intervallo di confidenza, possibile diversità della popolazione su cui sono stati effettuati gli studi, eterogeneità dell'esposizione e dei fattori di confondimento).

Nonostante lo studio includa le suddette fonti di incertezza, i risultati sottolineano un importante contributo degli inquinanti  $PM_{10}$  e  $PM_{2,5}$  sulla mortalità e sugli altri eventi sanitari. Si evidenzia quindi come il realizzarsi di entrambi gli scenari proposti potrebbe avere un sostanziale effetto benefico, specialmente se si va a considerare l'effetto che le polveri sottili possono sviluppare in associazione ad altri inquinanti atmosferici qui non considerati come l'anidride solforosa, gli ossidi di azoto e l'ozono a livello del suolo.

In conclusione, nella realtà di Ancona, pur esistendo condizioni di contaminazione ambientale non particolarmente critiche (almeno in confronto, ad esempio, a molte città della pianura padana), ci sono indicazioni, sia dal punto di vista del beneficio ottenibile in termini di salute ma anche di risparmi di risorse economiche, per porre l'attenzione sulla necessità di politiche di miglioramento ambientale.

## ALLEGATO 1. METODOLOGIA DI CALCOLO

### LE FUNZIONI DI IMPATTO SANITARIO

Per i differenti eventi, la funzione di impatto sanitario è rappresentata dalla formula seguente:

$$\Delta y = y_0 * (1 - e^{-\beta \Delta x})$$

Dove:

$\Delta y$  è il risultato dell'HIA inteso come decremento nel numero degli eventi sanitari;

$y_0$  è la linea di base dei dati sanitari;

$\Delta x$  è il decremento delle concentrazioni dei contaminanti definite nei diversi scenari;

$\beta$  è la funzione di rischio legata alla concentrazione;

RR per  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3 = \exp(10 * \beta)$ .

I risultati sono poi aggiustati per il numero di anni N per rendere una stima annuale.

$$\Delta y_{\text{scenario outcome annuale}} = \frac{\Delta y_{\text{scenario outcome}}}{N}$$

I risultati sono infine aggiustati per la popolazione al fine di ottenere la stima annuale per 100.000

$$\Delta y_{\text{scenario outcome popolazione annuale}} = \frac{\Delta y_{\text{scenario outcome annuale}}}{pop}$$

Il metodo di calcolo del  $\Delta x$  è differente per i diversi contaminanti.

### IMPATTO A BREVE TERMINE PER IL PM<sub>10</sub>

Il  $\Delta x$  è calcolato sulle medie annuali. Solo gli anni con meno del 25% di valori mancanti vengono utilizzati per la rilevazione dei dati ambientali ( $\Delta x$ ) e i dati sanitari ( $y_0$ ).

Due sono gli scenari considerati:

- Scenario 1, dove la media annuale del PM<sub>10</sub> è ridotta di  $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . In questo caso,  

$$\Delta x = 5 \mu\text{g}/\text{m}^3$$
- Scenario 2, dove la media annuale del PM<sub>10</sub> è ridotta a  $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . In questo caso,  

$$\Delta x = ([\text{PM10}]_{\text{medio}} - 20 \mu\text{g}/\text{m}^3)$$

$$\Delta x = 0 \mu\text{g}/\text{m}^3 \text{ se } [\text{PM10}]_{\text{medio}} \leq 20$$

### CALCOLO DELLA PERDITA DI ASPETTATIVA DI VITA

La metodologia di calcolo proposta nel tool Aphekom e utilizzata nel lavoro è la seguente:

Il periodo di vita attesa è calcolata usando standard attuariali con tavole per gruppi quinquennali di età.

Y è il numero degli anni considerati; nello studio 3

x è l'età di partenza in ogni gruppo

n è la durata dell'intervallo di ciascun gruppo di età

$n_{ax}$  è il numero medio di anni vissuti da chi è morto durante l'intervallo ed è stimato con  $n/2$

$nN_x$  è la popolazione in ogni gruppo di età

${}_nD_x$  è il numero totale dei morti in ciascun gruppo di età per gli anni 2009, 2010 and 2011  
 ${}_nM_x$  è il tasso di mortalità per ciascun gruppo di età calcolato come:

$${}_nM_x = \frac{{}_nD_x}{{}_nN_x * Y}$$

${}_nq_x$  è la probabilità di morire nel gruppo stimato come:

$${}_nq_x = \frac{n * {}_nD_x}{1 + (n - n_{ax}) * {}_nN_x}$$

L'ultimo gruppo di età è rappresentato da un gruppo aperto e pertanto:  ${}_nq_x=1$ ; ovvero la probabilità di morire è certa.

$l_x$  è il numero delle persone vive nel gruppo.

Se ad esempio si considera un'ipotetica coorte di 100.000 persone vive all'età di 30 anni, il numero delle persone vive negli altri gruppi di età si calcola come:

$$l_{x+n} = l_x * (1 - {}_nq_x)$$

${}_nd_x$  è il numero delle persone morte nel gruppo di età ed è calcolato come:

$${}_nd_x = l_x * {}_nq_x$$

${}_nL_x$  è il numero degli anni vissuti per persona in ogni gruppo di età, calcolato come:

$${}_nL_x = n * l_{x+n} + n_{ax} * {}_nd_x$$

Per l'ultimo gruppo di età:

$${}_nL_x = \frac{l_x}{{}_nM_x}$$

$T_x$  è il numero per anno di persone ipoteticamente in vita dopo aver raggiunto l'anno x ed è calcolato ripetitivamente a partire da  ${}_nL_x$ :

$$T_x = T_{x+n} + {}_nL_x$$

$E_x$  è l'aspettativa di vita all'età x calcolata come:

$$e_x = \frac{T_x}{l_x}$$

La tabella degli eventi attribuibili è calcolata usando lo stesso metodo, ad eccezione di  ${}_nD_x$  che è il numero totale dei morti in ciascun gruppo di età per gli anni 2009, 2010, 2011.

$${}_nD_x^{\text{attribuibili}} = {}_nD_x * e^{-\Delta x * \beta}$$

$\Delta x$  è la diminuzione della concentrazione prevista dallo scenario

$\beta$  è la funzione di rischio legata alla concentrazione.

$$RR \text{ per } 10 \mu\text{g}/\text{m}^3 = \exp(10 * \beta)$$

Per il  $\text{PM}_{2,5}$  sono considerati i due scenari

- scenario 1, dove la media annuale del  $\text{PM}_{2,5}$  è ridotta di  $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . In questo caso,  
 $\Delta x = 5 \mu\text{g}/\text{m}^3$
- scenario 2, dove la media annuale del  $\text{PM}_{2,5}$  è ridotta a  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (valore guida WHO). In tal caso,

$$\Delta x = ([\text{PM}_{2,5}]_{\text{media}} - 10 \mu\text{g}/\text{m}^3)$$

$$\Delta x = 0 \mu\text{g}/\text{m}^3 \text{ se } [\text{PM}_{2,5}]_{\text{media}} < 10.$$

I risultati finali sono espressi come riduzione del numero annuale di decessi per 100.000.

Per la mortalità totale i risultati sono anche espressi come guadagno in aspettativa di vita.

### VALUTAZIONI ECONOMICHE

Al fine di rendere più comprensibili gli impatti dell'inquinamento atmosferico e di favorire la realizzazione di politiche ambientali più rispettose della salute pubblica a livello internazionale sono state individuate delle linee guida per la valutazione monetaria degli impatti. Questa valutazione dà indicazioni non solo sui costi sostenuti dalla collettività per l'inquinamento in atto ma anche sui possibili guadagni (risparmi) che si potrebbero ottenere con efficaci politiche di mitigazione.

Per questo aspetto si è scelto di seguire la procedura di valutazione standard adottata nel progetto europeo Aphekom (11) per l'evento decesso, che consiste nell'uso di un valore economico della "vita statistica" (VSL) e un valore dell'anno di vita (VOLY) derivato da specifici sondaggi, quindi, basandosi su valori legati alla soggettività, piuttosto che ad analisi di mercato. Le valorizzazioni utilizzate nel progetto sono riferite all'anno 2005 che si è ritenuto di utilizzare in mancanza di dati più aggiornati.

Le valutazioni comprendono i costi diretti (spese mediche, spese sociali e di sostegno, trasporti, adattamento abitazione, ecc.), indiretti (mancata produzione del reddito propria o dei familiari, ecc.) e dei costi "intangibili" (sofferenza dei familiari, pena, perdita di qualità della vita, ecc.).

**Tabella 8. Valutazione economica dell'evento morte precoce**

|                 | Mortalità per esposizione<br>long term (€) | Mortalità per esposizione<br>long term e short term (€) |
|-----------------|--|---|
|                 | VSL  | VOLY  |
| Stima inferiore | 1.090.000                                  | 40.000  |
| Centrale        | 1.655.000                                  | 86.600  |
| Stima superiore | 2.220.000                                  | 133.200   |

Per valutare i ricoveri ospedalieri sono applicati costi standard specifici per ogni singola malattia che includono costi diretti medici e costi indiretti. I costi sanitari sono calcolati per giorno di degenza per le giornate medie di ricovero. La degenza media in giorni è ricavata dal database OECD Health (2010) riferito a 11 paesi.



**Tabella 9. Degenza media, costi giornalieri per ospedalizzazione, giorni di lavoro persi e costi complessivi**

| Paese            | Lunghezza media degenza in giorni <sup>(a)</sup> |                      | Costo medio per giorno (€ 2005)                |  | Spesa totale per l'ospedalizzazione (€ 2005) |                      |
|------------------|--|----------------------|--|--|--|----------------------|
|                  | Sistema circolatorio                             | Sistema respiratorio | Ospedalizzazione tutte le cause <sup>(b)</sup> | Giornate lavorative perse <sup>(c)</sup> | Sistema circolatorio                         | Sistema respiratorio |
| Austria          | 8,2  | 6,6                  | 319  | 83                                       | 3.977  | 3.201                |
| Belgio           | 9,2  | 8,8                  | 351  | 98                                       | 5.032  | 4.814                |
| Francia          | 7,1  | 7,1                  | 366  | 83                                       | 3.777  | 3.777                |
| Grecia           | 7,0  | 5,0                  | 389  | 48                                       | 3.395  | 2.425                |
| Ungheria         | 7,4  | 6,5                  | 59   | 18                                       | 703  | 618                  |
| Irlanda          | 10,5   | 6,9                  | 349  | 81                                       | 5.366  | 3.526                |
| Italia           | 7,7  | 8,0                  | 379  | 62                                       | 3.873  | 4.024                |
| Romania          | 8,5(d)   | 7,4(d)               | 57   | 6  | 587  | 511                  |
| Slovenia         | 8,6  | 7,3                  | 240  | 34                                       | 2.649  | 2.248                |
| Spagna           | 8,5  | 7,4                  | 321  | 55                                       | 3.664  | 3.189                |
| Svezia           | 6,0  | 5,2                  | 427  | 92                                       | 3.666  | 3.177                |
| Gran Bretagna    | 11,4   | 8,0                  | 581  | 116                                      | 9.268  | 6.504                |
| <b>media (d)</b> | <b>8,5</b>                                       | <b>7,4</b>           | <b>373</b>                                     | <b>73</b>                                | <b>4.411</b>                                 | <b>3.840</b>         |

**Fonti:** **(a)** OECD Health Data (2010); **(b)** CEC (2008), annex 7, cost/bed/day corr; **(c)** Eurostat (2003); **(d)** population-weighted average, 2005 population data from OECD Health Data (2010).

I costi indiretti sono calcolati come la perdita lorda media di giornate lavorative moltiplicata per un numero di giornate doppie rispetto alla degenza media in ospedale. Dal momento che si possono rilevare i giorni effettivi di lavoro, si calcola la perdita quotidiana di produzione come retribuzione media lorda nell'industria e nei servizi (piena occupazione) fornita da Eurostat (2003) espressa nel 2005 e divisa per 365 giorni.

Le spese mediche totali per i ricoveri per cause cardiache e respiratorie sono calcolate sommando entrambe le componenti dirette e indirette.

Per la metodologia e la motivazione dettagliata delle scelte si rimanda alle specifiche linee guida elaborate nello studio Aphekom.

---

## BIBLIOGRAFIA

---

1. EEA. <http://www.eea.europa.eu>. [Online].; 2013 [cited 2014 nov 18].  
Available from: <http://www.eea.europa.eu/publications/air-quality-in-europe-2013>.
2. WHO European Centre for Environment and Health. <http://www.euro.who.int>. [Online].; 2013 [cited 2014 dec 20].  
Available from: [http://www.euro.who.int/\\_data/assets/pdf\\_file/0004/193108/REVIHAAP-Final-technical-report-final-version.pdf](http://www.euro.who.int/_data/assets/pdf_file/0004/193108/REVIHAAP-Final-technical-report-final-version.pdf).
3. EEA. <http://www.eea.europa.eu>. [Online].; 2014 [cited 2014 dec 20].  
Available from: <http://www.eea.europa.eu/publications/air-quality-in-europe-2013>.
4. Pascal M, Corso M, Ung A, Declercq C, Medina S. <http://www.aphekom.org>. [Online].; 2011 [cited 2014 dec 20].  
Available from: [http://www.aphekom.org/c/document\\_library/get\\_file?uuid=4f388abf-61e5-415d-ae22-e437a4e25937&groupId=10347](http://www.aphekom.org/c/document_library/get_file?uuid=4f388abf-61e5-415d-ae22-e437a4e25937&groupId=10347).
5. ARPAM. [www.arpa.marche.it](http://www.arpa.marche.it). [Online].; 2014 [cited 2014 dec 20].  
Available from: <http://94.88.42.232:16382/Charts.aspx>.
6. ISTAT. <http://demo.istat.it>. [Online].; 2014 [cited 2014 dec 20].  
Available from: <http://demo.istat.it/pop2007/index.html>.
7. Anderson HR, Atkinson RW, Peacock JL, Marston L, Konstantinou K. Meta-analysis of time-series studies and panel studies of Particulate Matter (PM) and Ozone (O3). Report of a WHO task group. , WHO Regional Office for Europe; 2004.
8. Atkinson RW, Anderson HR, Medina S, Iñiguez C, Forsberg B, Segerstedt B, et al. Analysis of all-age respiratory hospital admissions and particulate air pollution within the Apehis programme. Third-year Report, (Anonymous). In APHEIS Air Pollution and Information System. Health Impact Assessment of Air Pollution and Communication Strategy.. Institut de Veille Sanitaire; 2005.
9. Pope CAI, Burnett RT, Thun MJ, Calle EE, Krewski D, Ito K, et al. Lung cancer, cardiopulmonary mortality, and long-term exposure to fine particulate air pollution. *Jama*. 2002;(287): p. 1132-1141.
10. Pope CAI, Burnett RT, Thurston GD, Thun MJ, Calle EE, Krewski D, et al. Cardiovascular mortality and long-term exposure to particulate air pollution: epidemiological evidence of general pathophysiological pathways of disease. *Circulation*. 2004;(109): p. 71-77.