

## **VALUTAZIONE DELL'IMPATTO SANITARIO DEL PARTICOLATO FINE E DELL'OZONO SUI RESIDENTI NEL COMUNE DI ANCONA**

**AGGIORNAMENTO ANNO 2009**

A CURA DI

**SILVIA BARTOLACCI, KATIUSCIA DI BIAGIO, T.V. SIMEONI, MARCO BALDINI, MAURO MARIOTTINI**



Foto di Nadia Miriello

---

**Aprile 2012**

## **SOMMARIO**

---

INTRODUZIONE .....	3
MATERIALI E METODI .....	4
Dati sanitari .....	4
Dati ambientali .....	5
Metodi statistici.....	7
RISULTATI.....	10
DISCUSSIONE E CONCLUSIONI .....	15
BIBLIOGRAFIA .....	18

## INTRODUZIONE

---

E' ormai sufficientemente dimostrato il legame tra peggioramento delle condizioni di salute ed esposizione ambientale all'inquinamento dell'aria. Un recente studio europeo che ha coinvolto 25 città in Europa (Aphekom<sup>1</sup> 2011) tra cui Roma e complessivamente 39 milioni di residenti ha evidenziato che gli effetti più gravi per la salute sono legati all'esposizione a lungo termine al particolato fine con diametro inferiore a 2,5 µm (PM<sub>2,5</sub>). Lo stesso studio ha calcolato che l'esposizione al PM<sub>2,5</sub> in concentrazioni superiori al valore di 10 µg/m<sup>3</sup>, indicato dalle linee guida dell'OMS come valore di riferimento per la tutela della salute umana, è responsabile di 19 mila decessi annui, di cui 15 mila legati all'aggravarsi di malattie cardiovascolari.

Interventi ambientali che potessero permettere il raggiungimento dei livelli guida di 10 µg/m<sup>3</sup> di PM<sub>2,5</sub>, come media annua, potrebbero aumentare di 22 mesi l'aspettativa di vita per persone di età superiore ai 30 anni, a seconda della città di residenza. Nelle stesse città portando i valori medi annui di PM<sub>10</sub> ai valori guida OMS di 20 µg/m<sup>3</sup> sarebbe possibile prevenire ogni anno più di 2500 ricoveri per le malattie cardiache e più di 5300 per le malattie respiratorie.

Gli studi di "risk assessment" come quello citato sono importanti sia per quantificare gli impatti associati all'inquinamento che per controllare l'efficacia degli interventi di risanamento messi in atto dalle comunità; tali studi stimano il rischio associato all'esposizione ad una sostanza come la probabilità che ha un individuo di contrarre la malattia se esposto ad una data concentrazione di inquinante<sup>2</sup>.

La normativa regionale ha attribuito all'Agenzia Regionale per la Protezione Ambientale ed all'Osservatorio Epidemiologico Ambientale delle Marche, tra le molte funzioni, anche lo studio degli impatti sulla salute umana delle alterazioni dell'ambiente fisico. Da diversi anni, utilizzando sperimentate tecniche di risk assessment, questo Servizio di Epidemiologia Ambientale del Dipartimento Prov.le ARPAM di Ancona - Osservatorio Epidemiologico Ambientale della regione Marche effettua stime di impatto dell'inquinamento atmosferico sulla salute dei residenti nei comuni dove siano disponibili dati ambientali e sanitari aggiornati.

Negli ultimi anni l'ARPAM fa parte di un gruppo multicentrico nazionale di ricerca per valutare gli effetti dell'inquinamento atmosferico sulla salute dei residenti ad Ancona (**progetto EpiAir2 - Inquinamento atmosferico e salute: sorveglianza epidemiologica e interventi di prevenzione - prosecuzione del precedente progetto EpiAir<sup>3</sup>**).

Alcune aree della nostra regione infatti, in analogia con le regioni della pianura padana, soffrono di importanti problemi della qualità dell'aria a causa della particolare situazione geografica ed orografica, della consistenza delle sorgenti emissive e della diffusibilità spaziale dei contaminanti.

Il presente studio intende aggiornare valutazioni precedenti sul peso sanitario dell'inquinamento atmosferico sulla popolazione di Ancona nell'anno 2009 ed in particolare per i due contaminanti PM<sub>10</sub> e Ozono.

Si deve rilevare che per la prima volta in questo studio per l'aggiornamento dei dati sono stati utilizzati i dati reali della mortalità ad Ancona nel 2009 e non dati estrapolati dai

valori degli anni precedenti, motivo per cui non è possibile effettuare confronti con i risultati relativi ai precedenti lavori.

## **MATERIALI E METODI**

---

### **Dati sanitari**

Nel presente studio è stata stimata la proporzione degli eventi sanitari che, sulla base dei rischi conosciuti a livello nazionale, potrebbero essere attribuiti all'esposizione all'inquinamento atmosferico<sup>4,5</sup> nel comune di Ancona nell'anno 2009 ed i potenziali anni di vita persi per le stesse cause.

Gli eventi sanitari considerati sono la mortalità e i ricoveri ospedalieri ed i parametri ambientali in esame sono le polveri sottili (PM<sub>10</sub> e PM<sub>2,5</sub>) e l'ozono (O<sub>3</sub>)<sup>6</sup>.

I dati demografici del comune di Ancona per anno ed età sono stati estratti dalle statistiche nazionali<sup>7</sup>.

I dati di mortalità per causa<sup>8</sup> sono stati forniti dall'Agenzia Sanitaria Unica Regionale delle Marche - Area Vasta 2; sono stati inclusi nell'analisi tutti i soggetti residenti nel comune di Ancona e deceduti nel comune stesso. I dati di morbosità (numero di ricoveri ospedalieri per causa<sup>8</sup>) sono stati ricavati dall'archivio regionale delle Schede di Dimissione Ospedaliera (SDO, fonte: Agenzia Regionale Sanitaria delle Marche); sono stati inclusi tutti i soggetti residenti ad Ancona e ricoverati negli ospedali del comune di Ancona<sup>3</sup>.

La selezione degli eventi si è basata sulla metodologia messa a punto per il Progetto nazionale EpiAir<sup>3</sup> a cui l'ARPAM partecipa nella seconda edizione.

Nelle tabelle 1 e 2 sono riportati gli eventi sanitari registrati tra i residenti nel comune di Ancona nell'anno 2009, utilizzati nello studio per il calcolo degli eventi attribuibili e degli anni potenziali di vita persi.

**Tabella 1. Decessi per causa utilizzati nel calcolo degli eventi attribuibili all'inquinamento atmosferico nel 2009 nel comune di Ancona**

	<b>Tutte le cause (escluse violente)</b>	<b>Cause cardiovascolari</b>	<b>Cause respiratorie</b>	<b>Tumori apparato respiratorio</b>	<b>Cause cardiopulmonari</b>
	<b>ICD-9: 1-799</b>	<b>ICD-9: 390-459</b>	<b>ICD-9: 460-519 (esclusa 487)</b>	<b>ICD-9: 162</b>	<b>ICD-9: 390-519 (esclusa 487)</b>
Decessi [n(%)]	879 (100)	340 (38,7)	55 (6,3)	50 (5,7)	395 (44,9)

ICD-9, International Classification of Diseases 9th ed.

**Tabella 2. Ricoveri ospedalieri per causa utilizzati nel calcolo degli eventi attribuibili all'inquinamento atmosferico nel 2009 nel comune di Ancona**

	<b>Tutte le cause (escluse violente)</b>	<b>Cause cardiache</b>	<b>Cause respiratorie</b>	<b>Tumori apparato respiratorio</b>	<b>Cause cardiopulmonari</b>
	<b>ICD-9: 1-799</b>	<b>ICD-9: 390-429</b>	<b>ICD-9: 460-519 (esclusa 487)</b>	<b>ICD-9: 162</b>	<b>ICD-9: 390-519 (esclusa 487)</b>
Ricoveri ospedalieri [n(%)]	15128 (100)	1568 (10,4)	898 (5,9)	125 (0,8)	3502 (23,1)

ICD-9, International Classification of Diseases 9th ed.

## Dati ambientali

I dati di contaminazione ambientale relativamente al PM<sub>10</sub>, PM<sub>2,5</sub> e Ozono sono stati ottenuti dalle stazioni fisse di monitoraggio situate in aree urbane, considerate strumenti validi per stimare l'esposizione media in una popolazione attribuibile a fonti outdoor<sup>9,10</sup>, tali dati sono stati estratti dall'archivio nazionale BRACE<sup>11</sup>.

I dati di PM<sub>10</sub> e PM<sub>2,5</sub> sono calcolati come medie giornaliere e, in accordo con la metodologia AIRQ<sup>12</sup>, sono stati considerati soltanto i giorni con più del 50% delle rilevazioni orarie, e le centraline con almeno il 50% dei rilevamenti annuali; per entrambi i parametri le centraline considerate sono quelle ubicate a Cittadella, Porto e Torrette.

Nella tabella seguente (Tabella 3) sono riportati i valori relativi al PM<sub>10</sub> registrati nel capoluogo marchigiano negli anni 2009 per le 3 centraline, una di background urbano, una industriale e una da traffico; la tabella mostra il numero di superamenti registrati, il valore massimo, il valore medio annuo e il numero di misurazioni disponibili.

**Tabella 3. Valori di PM<sub>10</sub>, Ancona – anni 2009**

Stazione	Anno	Tipo Stazione*	N°Superamenti (V.L. 50 µg/m <sup>3</sup> )	Valore Max (µg/m <sup>3</sup> )	Valore Medio (µg/m <sup>3</sup> )	Dati disponibili
Torrette	2009	T	109	120,3	44,5	350
Porto	2009	I	119	118,3	46,4	327
Cittadella	2009	F	24	89,7	31,6	336

\* T: da traffico, I: Industriale, F: Background urbano

La tabella 4 mostra il valore medio annuo e il numero di misurazioni disponibili del PM<sub>2,5</sub>, registrati ad Ancona negli anni 2009.

**Tabella 4. Valori di PM<sub>2,5</sub>, Ancona – anni 2009**

Stazione	Anno	Tipo Stazione	Valore Medio (µg/m <sup>3</sup> )	Dati disponibili
Torrette	2009	T	23,6	320
Porto	2009	I	24,2	339
Cittadella	2009	F	20,1	340

\* T: da traffico, I: Industriale, F: Background urbano

Nella stima dell'Ozono è stata calcolata la media mobile sulle 8 ore, considerando come dato giornaliero il valore medio massimo ottenuto nelle 24 ore. In accordo con la metodologia AIRQ sono state considerate soltanto le medie di 8 ore con almeno il 75% delle rilevazioni e, per considerare valido il dato giornaliero con almeno il 75% delle rilevazioni nelle 24 ore. Le stazioni devono raggiungere almeno il 50% delle rilevazioni annuali. Per il presente lavoro erano completi i dati relativi ad una sola centralina (Cittadella).

Per ogni stazione, l'indicatore giornaliero è calcolato secondo quanto raccomandato dalla Decisione della Commissione Europea del 17/10/2001, dal DM 60/2002 e dal DLgs 183/2004<sup>13</sup>. Nel caso di dati giornalieri mancanti, si è ricorso alla stima del valore come definito nel progetto MISA-2<sup>17</sup>: il dato mancante è stimato in base ai valori misurati nello stesso giorno nelle altre stazioni e al rapporto tra la media annuale rilevata nella stazione che presenta il dato mancante e le medie annuali delle altre stazioni.

In caso di più centraline posizionate in un comune il dato utilizzato rappresenta il valore medio tra le diverse misure disponibili.

## Metodi statistici

Per valutare l'impatto sanitario<sup>14</sup>, in termini di mortalità e morbosità, è stato calcolato il numero di decessi e ricoveri ospedalieri, attribuibili all'esposizione a concentrazioni di contaminanti superiori ad una certa soglia prestabilita che arbitrariamente consideriamo di non effetto (conterfactual<sup>12</sup>).

Le analisi sono state effettuate con il software AIRQ versione 2.2.3 prodotto e distribuito dal "WHO European Centre for Environment and Health".

Tutti i valori di rischi relativi (RR) utilizzati nel modello sono riassunti nella tabella 5.

**Tabella 5. Rischi relativi e intervalli di confidenza al 95% [RR (I.C.95%)] utilizzati per il calcolo degli eventi in eccesso attribuibili ad esposizioni acute (PM<sub>10</sub> e Ozono) e croniche (PM<sub>2,5</sub>) all'inquinamento atmosferico**

Eventi sanitari	INQUINANTE		
	PM <sub>10</sub>	O <sub>3</sub>	PM <sub>2,5</sub>
	RR (I.C.95%) (Rif.bibl.)	RR (I.C.95%) (Rif.bibl.)	Long term RR (I.C.95%) (Rif.bibl.)
<b>Mortalità</b>			
Tutte le cause (escluse le violente) <sup>a</sup>	1,006 (1,004-1,008) (15)	1,003 (1,001-1,004) (13)	1,015 (1,011-1,019) (11)
Cause respiratorie <sup>b</sup>	1,013 (1,005-1,02) (13)	1,013 (1,005-1,021) (16)	
Cause cardiovascolari <sup>c</sup>	1,009 (1,005-1,013) (13)	1,004 (1,003-1,005) (13)	
<b>Morbosità (ricoveri ospedalieri)</b>			
Cause respiratorie <sup>b</sup>	1,006 (1,002-1,011) (17)	1,005 (0,998-1,012) (14)	
Cause cardiache <sup>d</sup>	1,003 (1,000-1,006) (15)		

ICD-9, International Classification of Diseases 9th ed.; PM10, polveri al di sotto di 10 micron di diametro aerodinamico; O<sub>3</sub>, ozono; I.C. 95%, intervallo di confidenza al 95%.

<sup>a</sup> ICD-9: 1-799

<sup>b</sup> ICD-9: 460-519 (esclusa 487)

<sup>c</sup> ICD-9: 390-459

<sup>d</sup> ICD-9: 390-429

Per quantificare l'impatto di alcune patologie croniche<sup>18</sup> sulla salute della popolazione<sup>19,20</sup> è stato utilizzato il DALY<sup>21,22</sup>, Disability-Adjusted-Life-Year, un indicatore introdotto dal Globan Burden of Disease Study (GBD)<sup>23,24</sup> che ha lo scopo di quantificare il peso della mortalità prematura e della disabilità dovuto alle principali patologie o gruppi di causa<sup>25</sup>. Caratteristica di questo tipo di misura è valutare lo stato di salute di una popolazione prendendo in considerazione sia i dati di mortalità che l'intera storia patologica, importante nel caso di patologie che danno un basso contributo alla mortalità.

Il DALY cumula il peso, espresso in anni, della mortalità "precoce" (al di sotto di un traguardo convenzionale, la speranza di vita, qualora siano controllate le variabili di rischio) e delle conseguenze non fatali di patologie ed incidenti. In altri termini ogni unità di DALY indica la perdita di un anno di vita sana, cioè un anno vissuto in stato di disabilità o perso per morte prematura.

Gli anni di vita persi per morte prematura sono calcolati come differenza tra l'età alla morte e l'età di vita attesa alla nascita<sup>26</sup>; la disabilità è valutata sia in termini della sua durata, che della sua severità<sup>27,28</sup>.

In formule:

$$DALY=YLL+YLD$$

con

YLL= anni di vita persi per morte prematura

YLD= anni vissuti in disabilità

$$YLL = \frac{KCe^{ra}}{(r + \beta)^2} \{ [e^{-(r + \beta)(L + a)} [-(r + \beta)(L + a) - 1] - e^{-(r + \beta)a} [-(r + \beta)a - 1]] + \frac{1 - K}{r} (1 - e^{-rL}) \}$$

a = età alla morte (anni)

r = tasso di sconto, esprime il concetto di preferenza temporale del presente rispetto al futuro; in analogia col concetto bancario i benefici futuri vengono scontati al fine di convertirli in termini di valori nel presente; solitamente viene fissato pari al 3%<sup>23</sup>

$\beta$  = parametro per la ponderazione dell'età ( $0,03 < \beta < 0,05$ )

K = costante introdotta per rimuovere la non uniformità dei pesi assegnati alle età

C = costante<sup>23</sup>

L = speranza di vita standard all'età a (anni).

Se  $K=0$  allora gli YLL sono calcolati con pesi uniformi per età; per calcolare il numero di YLL per una determinata causa si moltiplica il numero di YLL per il numero di decessi ad ogni età.

Allo stesso modo, sostituendo la speranza di vita nella formula degli YLL con la durata della malattia e moltiplicando per il peso della disabilità, la formula degli YLD è la seguente:

$$YLD = DW \left\{ \frac{KCe^{ra}}{(r + \beta)^2} [e^{-(r + \beta)(L + a)} [-(r + \beta)(L + a) - 1] - e^{-(r + \beta)a} [-(r + \beta)a - 1]] + \frac{1 - K}{r} (1 - e^{-rL}) \right\}$$

con

DW = peso della disabilità

Rispetto alla precedente formula a e L assumono un diverso significato:

a= età d'inizio dello stato di disabilità

L = durata della disabilità (anni)

Per il calcolo del numero di YLD per una determinata patologia si moltiplica il numero di YLD per il numero di casi.

La tabella 6 mostra il dettaglio delle cause di morte considerate nel calcolo del DALY con i relativi pesi della disabilità<sup>21</sup>.

**Tabella 6. Gruppi di cause di malattie utilizzate nel calcolo del Disability-Adjusted-Life-Year e pesi medi della disabilità**

<b>Codice ICD-9</b>	<b>Descrizione ICD-9</b>	<b>Peso della disabilità</b>
411	Altre forme acute e subacute di cardiopatia ischemica	0,437
413	Angina pectoris	0,137
426	Disturbi della conduzione	0,353 <sup>a</sup>
427	Aritmie cardiache	0,353 <sup>a</sup>
431	Emorragia cerebrale	0,270
432	Altre e non specificate emorragie intracraniche	0,270
433	Occlusione e stenosi delle arterie precerebrali	0,270
434	Occlusione delle arterie cerebrali	0,270
451	Flebite e tromboflebite	0,209 <sup>a</sup>
453	Embolia e trombosi di altre vene	0,209 <sup>a</sup>
491	Bronchite cronica	0,170
492	Enfisema	0,170
493	Asma	0,043
496	Ostruzioni croniche delle vie respiratorie, non classificate altrove	0,530
162	Tumori maligni della trachea, dei bronchi e dei polmoni	0,150

ICD-9, International Classification of Diseases 9th ed.

<sup>a</sup> Pesi tratti da Epidemiology Section, Health Intelligence and Disease Control, Public Health and Development Division, Victorian Government Department of Human Services. Public Health Division. *Victorian Burden of Disease Study: Morbidity*. Melbourne: State of Victoria, 1999. Appendix Table 1 Disease Categories and Disability Weights

I valori relativi alla prevalenza e all'incidenza di ciascun gruppo di causa considerato sono stati stimati utilizzando le schede di dimissioni ospedaliere informatizzate.

Le analisi sono state effettuate utilizzando il software Sas System v.9.3.

## **RISULTATI**

---

In questo studio la stima degli eventi avversi alla salute, decessi e ricoveri ospedalieri, attribuibili all'esposizione all'inquinamento atmosferico è stata effettuata fissando come soglia di non effetto per esposizione al PM<sub>10</sub> la concentrazione media giornaliera di 50 µg/m<sup>3</sup>, che rappresenta il valore raccomandato dalle linee guida dell'OMS<sup>29</sup> e il limite della normativa vigente<sup>30</sup>; per l'esposizione all'Ozono è stata stabilita la soglia di 120 µg/m<sup>3</sup>, che rappresenta il livello di riferimento per la protezione della salute umana da non superare più di 25 volte in un anno<sup>29</sup>.

La stima dei decessi e dei ricoveri attribuibili all'inquinamento è stata effettuata, inoltre, utilizzando i valori di concentrazione corrispondente ai livelli di background naturale<sup>31</sup>, ovvero con concentrazioni superiori a 10 µg/m<sup>3</sup> per PM<sub>10</sub> e 70 µg/m<sup>3</sup> per l'Ozono, rispettivamente.

I risultati riguardanti gli eventi sanitari in eccesso e gli anni di vita persa sono sempre accompagnati dai relativi intervalli di confidenza al 95% (I.C. 95%), essi riflettono il grado di incertezza della stima; va sottolineato, infatti, che le metodologie utilizzate nel presente lavoro sono importanti per una quantificazione dell'ordine di grandezza dei casi attesi dovuti all'esposizione agli inquinanti piuttosto che per una precisa stima numerica.

La tabella 7 mostra i risultati relativi alla stima degli eventi sanitari in eccesso attribuibili all'esposizione acuta a PM<sub>10</sub> e Ozono.

**Tabella 7. Eventi sanitari in eccesso attribuibili alle polveri al di sotto di 10 micron di diametro aerodinamico (PM<sub>10</sub>) e all'Ozono (O<sub>3</sub>). Ancona, anno 2009**

	INQUINANTE			
	PM <sub>10</sub>		O <sub>3</sub>	
	> 50 µg/m <sup>3</sup> <b>Eventi</b> <b>(I.C. 95%)</b>	> 10 µg/m <sup>3</sup> <b>Eventi</b> <b>(I.C. 95%)</b>	> 120 µg/m <sup>3</sup> <b>Eventi</b> <b>(I.C. 95%)</b>	> 70 µg/m <sup>3</sup> <b>Eventi</b> <b>(I.C. 95%)</b>
Mortalità per tutte le cause non accidentali <sup>a</sup>	1 (1-2)	16 (11-21)	<1	2 (1-3)
Mortalità per cause respiratorie <sup>b</sup>	<1	2 (1-3)	<1	<1
Mortalità per cause cardiovascolari <sup>c</sup>	1 (0-1)	9 (5-13)	<1	1 (1-1)
Ricoveri ospedalieri per cause respiratorie <sup>b</sup>	1 (0-3)	16 (5-29)	<1	4 (0-9)
Ricoveri ospedalieri per cause cardiache <sup>d</sup>	1 (0-3)	14 (0-28)	<1	<1

ICD-9, International Classification of Diseases 9th ed.; I.C. 95%, Intervallo di Confidenza al 95%.

<sup>a</sup> ICD-9: 1-799

<sup>b</sup> ICD-9: 460-519 (esclusa 487)

<sup>c</sup> ICD-9: 390-459

<sup>d</sup> ICD-9: 390-429

La stima degli eventi sanitari avversi attribuibili all'inquinamento atmosferico mostra un numero non elevato di decessi e ricoveri ospedalieri se si considera come soglia di non effetto i valori di concentrazione di  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  e  $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$  per il  $\text{PM}_{10}$  e l'Ozono rispettivamente, per ciascuna causa considerata; valutando invece gli eventi attribuibili all'aumentata esposizione frutto dell'attività antropica, si stimano significativi incrementi di eventi sanitari legati all'esposizione all'inquinamento atmosferico. In particolare risultano più numerosi gli eventi avversi attribuibili all'esposizione al particolato sottile ( $\text{PM}_{10}$ ), sia per quello che riguarda la mortalità per tutte le cause non accidentali, che i ricoveri per cause respiratorie e cardiache.

In questo studio sono stati inoltre valutati gli effetti sanitari attribuibili ad esposizione cronica al  $\text{PM}_{2,5}$  per valori di concentrazione superiore a  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , considerato come soglia limite nelle linee guida dell'OMS<sup>14</sup>, e per valori di concentrazione superiore a  $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , valore limite indicativo del valore obiettivo degli Stati membri<sup>15</sup>. Questi sono stati calcolati come anni di vita persi nell'anno della simulazione, che rappresenta il tempo non vissuto nell'anno analizzato (tabella 8) ed anni totali di vita persi nell'anno della simulazione (tabella 9).

Nella stima di questi due parametri si assume che le concentrazioni atmosferiche di inquinanti, la struttura della popolazione ed i tassi di mortalità per cause siano rimasti immutati nel tempo. Poiché per convenzione si ammette che i decessi attribuibili all'esposizione cronica al  $\text{PM}_{2,5}$  siano avvenuti a metà anno, il numero di anni di vita persi nell'anno della simulazione può essere interpretato come la metà dei decessi attribuibili all'esposizione cronica al particolato fine presente in atmosfera. La stima degli anni totali di vita persi nell'anno della simulazione è invece un utile strumento per valutare il peso dei decessi stimati per esposizione cronica al  $\text{PM}_{2,5}$  in una comunità, in quanto tiene in considerazione anche l'età in cui si stima sia avvenuto il decesso e si assegna a questa un peso tanto maggiore quanto più essa è precoce.

**Tabella 8. Anni di vita persi nell'anno di simulazione attribuibili all'esposizione cronica alle polveri al di sotto di 2,5 micron di diametro aerodinamico (PM<sub>2,5</sub>). Ancona, anno 2009**

	<b>PM<sub>2,5</sub></b>			
	> 10 µg/m <sup>3</sup>		> 20 µg/m <sup>3</sup>	
	Età > 30 aa <b>Anni</b> <b>(I.C. 95%)</b>	30 aa < Età < 65 aa <b>Anni</b> <b>(I.C. 95%)</b>	Età > 30 aa <b>Anni</b> <b>(I.C. 95%)</b>	30 aa < Età < 65 aa <b>Anni</b> <b>(I.C. 95%)</b>
Mortalità per tutte le cause non accidentali <sup>a</sup>	32 (9-54)	3 (1-6)	8 (2-13)	1 (0-1)
Mortalità per cause cardio-polmonari <sup>b</sup>	21 (8-33)	1 (0-2)	5 (2-8)	<1
Mortalità per tumori apparato respiratorio <sup>c</sup>	4 (1-6)	1 (0-2)	1 (0-2)	<1

ICD-9, International Classification of Diseases 9th ed.; I.C. 95%, Intervallo di Confidenza al 95%.

<sup>a</sup> ICD-9: 1-799

<sup>b</sup> ICD-9: 390-519 (esclusa 487)

<sup>c</sup> ICD-9: 162

**Tabella 9. Anni totali di vita persi nell'anno di simulazione attribuibili all'esposizione cronica alle polveri al di sotto di 2,5 micron di diametro aerodinamico (PM<sub>2,5</sub>). Ancona, anno 2009**

	<b>PM<sub>2,5</sub></b>	
	> 10 µg/m <sup>3</sup>	> 20 µg/m <sup>3</sup>
	<b>Anni (I.C. 95%)</b>	<b>Anni (I.C. 95%)</b>
Mortalità per tutte le cause non accidentali <sup>a</sup>	748 (198-1291)	174 (46-302)
Mortalità per cause cardio-polmonari <sup>b</sup>	378 (140-607)	90 (33-146)
Mortalità per tumori apparato respiratorio <sup>c</sup>	132 (47-208)	32 (11-53)

ICD-9, International Classification of Diseases 9th ed.; I.C. 95%, Intervallo di Confidenza al 95%.

<sup>a</sup> ICD-9: 1-799

<sup>b</sup> ICD-9: 390-519 (esclusa 487)

<sup>c</sup> ICD-9: 162

Dai risultati mostrati nella tabella 8, si può notare che la maggior parte dei decessi attribuibili ad una esposizione cronica al PM<sub>2,5</sub> risulta a carico delle persone di età superiore ai 65 anni, deducibile per differenza tra gli anni di vita persi per soggetti di età al di sopra dei 30 anni e per quelli compresi tra 30 e 65 anni. In particolare, per valori di concentrazione superiore a 10 µg/m<sup>3</sup>, il numero di anni di vita persi per tutte le cause non violente attribuibili a questa fascia di età è circa 10 volte maggiore rispetto a quello attribuibile nei soggetti più giovani mentre per le cause cardiopolmonari è di circa 20 volte superiore.

Infine sono riportati i valori del DALY<sup>32</sup>, l'indicatore sulla salute della popolazione che combina i valori di mortalità e gli outcomes non fatali di salute in un'unica misura (Tabella 10). In particolare tale indicatore rappresenta il divario (gap) tra l'attuale stato di salute di una popolazione e quello di riferimento, considerato "ideale"<sup>22</sup>, traducendo la diminuzione della qualità di vita in un numero di anni perduti in condizioni di salute normali<sup>33</sup>.

**Tabella 10. Disability-Adjusted-Life-Year (DALY) per la popolazione di Ancona, anno 2009 – graduatoria decrescente**

Gruppi di cause di malattie	YLL	YDL	DALY
	[anni (%)]	[anni (%)]	[anni (%)]
Tumori maligni della trachea, dei bronchi e dei polmoni	133 (68)	2 (3)	<b>135 (50)</b>
Aritmie cardiache	3 (2)	38 (52)	<b>40 (15)</b>
Emorragia cerebrale	32 (16)	1 (1)	<b>33 (12)</b>
Bronchite cronica	9 (5)	9 (12)	<b>19 (7)</b>
Occlusione delle arterie cerebrali	5 (3)	6 (8)	<b>12 (4)</b>
Altre forme acute e subacute di cardiopatia ischemica	6 (3)	3 (4)	<b>9 (3)</b>
Occlusione e stenosi delle arterie precerebrali	2 (1)	5 (7)	<b>7 (3)</b>
Disturbi della conduzione	0 (0)	4 (5)	<b>4 (1)</b>
Altre e non specificate emorragie intracraniche	3 (2)	0 (0)	<b>3 (1)</b>
Asma	1 (1)	2 (3)	<b>3 (1)</b>
Flebite e tromboflebite	0 (0)	2 (3)	<b>2 (1)</b>
Embolia e trombosi di altre vene	1 (1)	1 (1)	<b>2 (1)</b>
Angina pectoris	0 (0)	1 (1)	<b>1 (0)</b>
<b>Totale</b>	<b>196 (73)</b>	<b>73 (27)</b>	<b>269</b>

Nella popolazione considerata per alcune patologie studiate (enfisema e ostruzioni croniche delle vie respiratorie, non classificate altrove - ICD 9: 492 e 496) non sono presenti né decessi né casi incidenti, così da non permettere la stima dei valori di DALY. Gli anni di vita persi per morte prematura (YLL) danno un contributo nettamente più alto (73%) rispetto agli anni vissuti in disabilità.

## **DISCUSSIONE E CONCLUSIONI**

Dai risultati ottenuti si stima che, nell'anno 2009, tra la popolazione residente nel comune di Ancona siano da attribuire 16 decessi (I.C.95%: 11-21) all'esposizione al PM<sub>10</sub> presente in atmosfera per concentrazioni superiori a 10 µg/m<sup>3</sup> per tutte le cause non accidentali; tra questi, vengono stimati 9 decessi (I.C.95%: 5-13) per cause cardiovascolari e 2 (I.C.95%: 1-3 decessi) per cause respiratorie. Ai suddetti si aggiungono 14 ricoveri ospedalieri (I.C.95%: 0-28) stimati per cause cardiache e 16 (I.C.95%: 5-29) per cause legate all'apparato respiratorio. Si stimano inoltre 2 decessi (I.C.95%: 1-3) attribuibili all'Ozono presente in atmosfera (concentrazioni superiori a 70 µg/m<sup>3</sup>) per tutte le cause non accidentali; a questi vanno aggiunti 4 ricoveri ospedalieri (I.C.95%: 0-9) stimati per cause respiratorie.

L'esposizione cronica al PM<sub>2,5</sub> atmosferico, nell'ipotesi che siano rimasti invariati nel tempo i valori di concentrazione atmosferica, viene considerata come responsabile della perdita di 748 anni di vita totali (I.C.95%: 198-1291 anni) per tutte le cause non accidentali, di 378 anni di vita totali (I.C.95%: 140-607 anni) per cause cardiopolmonari e di 132 anni di vita totali (I.C.95%: 47-208 anni) per tumori dell'apparato respiratorio attribuiti nell'anno 2009, per concentrazioni superiori a 10 µg/m<sup>3</sup>.

Non è possibile effettuare confronti con i risultati relativi al precedente lavoro a causa della diversa natura dei dati di mortalità, che nello studio antecedente sono stati stimati.

Il numero di anni perduti in condizioni di salute normali (DALY) per le patologie considerate è pari a 269; di questi il 50% è da attribuire ai tumori maligni della trachea, dei bronchi e dei polmoni, il 15% alle aritmie cardiache e il 12% alle emorragie cerebrali. Tale indicatore serve in generale per quantificare il carico di malattia su una società, includendo oltre al peso dei decessi dovuti alla malattia, anche quello dell'invalidità; poiché vengono aggiustati i fattori di peso in base all'età, si pone l'accento sull'importanza sociale per gli anni di vita di un giovane adulto (rispetto ad un adulto anziano o ad un bambino). Il DALY viene considerato uno strumento utile per il monitoraggio dell'impatto delle patologie sulla salute delle popolazioni e per stabilire quali possano essere le priorità della programmazione sanitaria; l'uso di tali indicatori può consentire di fotografare il profilo patologico di un'area e di conseguenza di identificare gli interventi di sanità pubblica sulla base di una "scala" oggettiva, al netto cioè di eventuali condizionamenti. Tuttavia, i dati per la stima del DALY non sono accessibili facilmente, soprattutto per ciò che riguarda la componente della disabilità, la cui durata deve essere stimata.

La stima di impatto sanitario viene comunemente descritta come la mortalità e/o la morbosità che si riuscirebbe ad evitare se i livelli di concentrazione degli inquinanti cui la popolazione è esposta fossero inferiori o uguali al counterfactual.

In questa stima un importante fattore è rappresentato dalla temporalità. Stabilita un'associazione causale tra inquinamento dell'aria ed effetti sanitari, è corretto assumere che riduzioni nelle concentrazioni medie dei contaminanti siano associate a riduzioni negli eventi sanitari a questi attribuibili. Tuttavia, non è possibile determinare esattamente il periodo di tempo entro il quale questi guadagni in termini di salute possano essere raggiunti. Se da una parte per gli effetti relativi ai picchi di esposizione, che rappresentano la maggior parte degli esiti sanitari considerati, si osservano risultati

abbastanza immediati (0-5 giorni)<sup>34,35,36</sup>, l'incertezza riguarda principalmente gli effetti a lungo termine, in quanto il tempo di induzione non è noto.

Uno studio di Dockery<sup>37</sup> afferma che gli effetti a lungo termine di particolato presente in atmosfera sono solo parzialmente reversibili nell'arco di una decade; studi successivi<sup>38</sup> sottolineano i lunghi tempi necessari per un apprezzabile miglioramento in termini di salute per cause cardio-respiratorie e tumori dell'apparato respiratorio.

Parallelamente, anche i benefici sanitari legati ad esposizioni acute all'inquinamento atmosferico possono suscitare alcune domande, in particolare circa il fenomeno denominato "harvesting" (mietitura). Con questo elemento si ipotizza una breve anticipazione della mortalità a seguito di un picco di inquinamento a carico dei soli individui più fragili, che sarebbero comunque morti entro un breve periodo di tempo. Se questa fosse la realtà, si assisterebbe a un innalzamento immediato dei tassi di mortalità in seguito a un giorno con alti livelli di inquinamento, seguito da una diminuzione nei giorni successivi. Questa considerazione, tuttavia, è in disaccordo con l'evidenza scientifica recentemente emersa da studi di serie storiche, in cui si dimostra che condizioni di forte inquinamento atmosferico fanno precipitare fino al decesso le condizioni di salute più critiche, ma peggiorano anche lo stato di salute dei soggetti in condizioni meno gravi, che contribuiscono alla mortalità o all'aumento dei ricoveri nei giorni successivi se l'inquinamento rimane elevato<sup>39,40</sup>. Quindi, anche ammettendo che l'harvesting possa non essere del tutto escluso, la sua importanza risulta probabilmente limitata.

Lo studio effettuato presenta comunque alcune limitazioni. In primo luogo si considera la contaminazione presente nel comune come omogenea con quella rilevata dalle centraline fisse di monitoraggio. Queste sono rappresentate da centraline di diversa tipologia (traffico, industriale e background urbano) che non garantiscono la rappresentatività dell'intera area comunale. Se infatti è vero che i contaminanti analizzati possiedono una elevata mobilità e quindi si possono spostare anche per lunghe distanze rispetto alla sorgente emissiva, è anche vero che la dispersione è fortemente influenzata dalle condizioni meteorologiche, in quanto condizioni di scarsa ventilazione, specie se in associazione a basse temperature, possono provocare una sorta di intrappolamento dei contaminanti nella zona di origine<sup>41</sup> tanto da indurre alcuni autori a restringere il campo di azione sulla contaminazione presente a 100 metri dalla fonte<sup>42</sup>. Inoltre nell'area comunale sono presenti diverse sorgenti di inquinanti e particolari condizioni geomorfologiche ed architettoniche che in determinate situazioni possono anche essere estremamente rilevanti.

Nonostante questi limiti la stima della contaminazione urbana utilizzando questa metodologia viene generalmente considerata come una buona rappresentazione della situazione reale<sup>43,44</sup>.

Inoltre la validità dei risultati ottenuti dipende in larga misura dall'attendibilità dei rischi relativi utilizzati, oltre che dalla possibile presenza di particolari confondenti o modificatori di effetto. Da recenti studi epidemiologici realizzati nel territorio italiano emerge che, ad esempio, l'incremento percentuale della mortalità per tutte le cause attribuibili ad una aumentata esposizione di 10  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  al  $\text{PM}_{10}$  riferito a 10 città nel periodo 2001-2005 è risultato pari allo 0,69%<sup>45</sup>. In un analogo studio riferito al periodo 1997-2004 si era ottenuto per lo stesso parametro un valore simile<sup>45</sup> mentre nello studio MISA riferito agli anni 1996-2002<sup>17</sup> si è ottenuto un incremento percentuale della

mortalità per tutte le cause non violente più basso. Essendo le metodologie utilizzate confrontabili<sup>46</sup>, si sono ipotizzate diverse spiegazioni tra cui una modificazione nella composizione del PM<sub>10</sub> verso una maggiore percentuale ascrivibile alle sostanze più tossiche, piuttosto che una aumentata suscettibilità nelle persone esposte<sup>47</sup>.

L'attuale evidenza scientifica indica che, all'interno di ogni popolazione, esiste un ampio spettro di suscettibilità, in cui alcuni soggetti sono più vulnerabili alla contaminazione atmosferica rispetto ad altri. Questo implica, ad esempio, un rischio maggiore di mortalità e morbosità per persone con malattie cardiache e polmonari preesistenti, specialmente tra gli anziani e tra i giovanissimi<sup>48</sup>.

Guadagni sostanziali in termini di salute si potrebbero ottenere attraverso politiche mirate alla riduzione delle emissioni provenienti da due fonti principali: trasporto urbano e produzione di energia; da un rapporto preparato dall'ISPRA (APAT)<sup>49</sup> emerge che nelle aree metropolitane italiane la principale fonte del PM primario è rappresentata dal trasporto su strada (50-70%), emissioni che potrebbero essere ridotte adottando politiche mirate a limitare il trasporto motorizzato privato a favore del mezzo pubblico o di mezzi ecologici.

Questo Servizio di Epidemiologia Ambientale proseguirà l'attività di monitoraggio degli effetti dell'inquinamento atmosferico anche nei prossimi anni ed effettuerà valutazioni comparative per verificare se ad un eventuale miglioramento della qualità dell'aria corrisponda una reale riduzione degli effetti sanitari sulle popolazioni marchigiane.

Dallo scorso anno l'ARPAM è stata inserita in un progetto multicentrico nazionale di ricerca sugli effetti sanitari dell'inquinamento atmosferico e sui sottogruppi di popolazione più vulnerabili (progetto EPIAIR II) che valuterà direttamente anche i rischi relativi alla città di Ancona.

## BIBLIOGRAFIA

---

- <sup>1</sup> **Cesaroni G, Badaloni C, Forastiere F.** "Aphekom, Improving Knowledge and Communication for Decision Making on Air Pollution and Health in Europe". *Local city report*. Dipartimento di Epidemiologia del Servizio Sanitario Regionale, Regione Lazio.  
<http://www.scienzainrete.it/documenti/rs/aphekom-risultati-principali>
- <sup>2</sup> **Sesia V, Berti G, Simona S.** *Valutazione di impatto della qualità dell'aria sulla salute umana nelle città di Novara e Torino*. Regione Piemonte, Direzione Sanità, Settore Promozione della Salute e Interventi di Prevenzione Individuale e Collettiva, 2010.
- <sup>3</sup> **Berti G, Galassi C, Faustini A, Forastiere F.** *Inquinamento atmosferico e salute: Sorveglianza epidemiologica e interventi di prevenzione*. *Epidemiologia e Prevenzione*; 2009; 33(6) suppl.
- <sup>4</sup> **Report on a WHO Working Group.** "Health Aspects of Air Pollution with Particulate Matter, Ozone and Nitrogen, Dioxide". 2003; Report No.: EUR/03/5042688.  
[http://ec.europa.eu/environment/archives/cafe/activities/pdf/1st\\_report.pdf](http://ec.europa.eu/environment/archives/cafe/activities/pdf/1st_report.pdf)
- <sup>5</sup> **Report on a WHO Working Group.** "Quantification of the Health Effects of Exposure to Air Pollution". 2000; Report No.: EUR/01/5026342 E74256.  
[http://www.euro.who.int/\\_\\_data/assets/pdf\\_file/00111/112160/E74256.pdf](http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/00111/112160/E74256.pdf)
- <sup>6</sup> **Martuzzi M, Mitis F, Iavarone I, Serinelli M.** *Health Impact of PM<sub>10</sub> and Ozone in 13 Italian Cities*. WHO Regional Office for Europe. Copenhagen, Denmark, 2006.  
<http://www.euro.who.int/document/e88700.pdf>
- <sup>7</sup> **ISTAT.** *Demografia in cifre [database online]*. Roma, ISTAT.  
<http://demo.istat.it/>
- <sup>8</sup> **WHO.** *International classification of diseases: [9th] ninth revision, basic tabulation list with alphabetic index*. Geneva, World Health Organization, 1978.
- <sup>9</sup> **Zeger S L, Thomas D, Dominici F, et al.** *Exposure measurement error in time-series studies of air pollution: concepts and consequences*. *Environmental Health Perspectives*; 2000; 108. (5): 419–426.  
<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1638034/pdf/envhper00306-0069.pdf>
- <sup>10</sup> **AIRNET Work Group 2.** *Air pollution and the risks to human health: epidemiology*. Utrecht, Institute for Risk Assessment Sciences, 2004.  
[http://airnet.iras.uu.nl/products/pdf/airnet\\_wg2\\_epidemiology\\_report.pdf](http://airnet.iras.uu.nl/products/pdf/airnet_wg2_epidemiology_report.pdf)
- <sup>11</sup> **APAT.** *BRACE [database online]*. Roma, APAT.  
<http://www.brace.sinanet.apat.it/web/struttura.html>
- <sup>12</sup> **WHO European Centre for Environment and Health.** *Air Quality Impact Assessment Tool*.  
[http://www.euro.who.int/air/activities/20050223\\_5](http://www.euro.who.int/air/activities/20050223_5)
- <sup>13</sup> **Berti G. et al.** *Indicatori ambientali in dieci città italiane (2001-2005): i dati di qualità dell'aria per la sorveglianza epidemiologica*. *Epidemiologia e Prevenzione*; 2009; 33(6) suppl : 13-26

- <sup>14</sup> **Rocchetti M, Martinelli E, Mariottini M.** *Valutazione di impatto sanitario del PM<sub>10</sub> e dell'O<sub>3</sub> in 16 comuni della regione Marche nel 2007 e nel 2008.* Agenzia Regionale per la Protezione ambientale delle Marche. Dipartimento di Ancona. Servizio di epidemiologia ambientale; 2008.  
[http://www.arpa.marche.it/doc/Pdf/epidem/Air\\_RiskAssessment\\_Marche\\_2009.pdf](http://www.arpa.marche.it/doc/Pdf/epidem/Air_RiskAssessment_Marche_2009.pdf)
- <sup>15</sup> **Anderson H R, Atkinson R W, Peacock J L, Marston L, Konstantinou K.** *Meta-analysis of time-series studies and panel studies of particulate matter (PM) and ozone (O<sub>3</sub>): report of a WHO task group.* Copenhagen, WHO Regional Office for Europe. 2004; Report No.: EUR/04/504268.
- <sup>16</sup> **Clench-Aas J, Krzyżanowski M.** *Quantification of Health Effects Related to SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub> and Particulate Matter Exposure.* Report from the Nordic Expert Meeting Oslo, 15 - 17 October 1995. Norsk institutt for luftforskning
- <sup>17</sup> **Biggeri A, Bellini P, Terracini B.** *Meta-analysis of the Italian studies on short-term effects of air pollution—MISA 1996-2002.* *Epidemiologia e Prevenzione*, 2004 Jul-Oct; 28(4-5 Suppl): 4-100.
- <sup>18</sup> **Logue J M, Price P N, Sherman M H, Singer B C.** *A Method to Estimate the Chronic Health Impact of Air Pollutants in U.S. Residences.* *Environmental Health Perspectives*; February 2012, vol. 120, number 2: 216-222.
- <sup>19</sup> **Murray C J and Lopez A D.** *The Global Burden of Disease.* Vol. 1, Harvard University Press, Harvard, 1996.
- <sup>20</sup> **Istituto Superiore di Sanità – Laboratorio di Epidemiologia e Biostatistica.** *Indicatori complessi per il monitoraggio dell'impatto delle patologie sulla salute delle popolazioni*, 2000.  
<http://www.sanita.fvg.it/ars/specializza/programmi/burden/BOD2.pdf>
- <sup>21</sup> **Lopez A D, Mathers D, Ezzati M, Jamison D T, Murray C J.** *Global Burden of Disease and Risk Factors.* A copublication of Oxford University Press and The World Bank, 2006.
- <sup>22</sup> **Murray C J and Lopez A D.** *Global mortality, disability, and the contribution of risk factors: Global Burden of Disease Study.* *Lancet*; 1997, 349: 1436–42.
- <sup>23</sup> **WHO.** *The Global Burden of Disease: 2004 update*, 2008.  
[http://www.who.int/healthinfo/global\\_burden\\_disease/GBD\\_report\\_2004update\\_full.pdf](http://www.who.int/healthinfo/global_burden_disease/GBD_report_2004update_full.pdf)
- <sup>24</sup> **Prüss-Üstün A, Mathers C, Corvalán C, Woodward A.** *Assessing the environmental burden of Disease at national and local levels. The Global Burden of Disease concept.* *Environmental Burden of Disease Series*, 2003; No. 1. (Chap.3).  
[http://www.who.int/quantifying\\_ehimpacts/publications/en/9241546204chap3.pdf](http://www.who.int/quantifying_ehimpacts/publications/en/9241546204chap3.pdf)
- <sup>25</sup> **Williams P, Von Stackelberg K.** *Systematic Review of Environmental Burden of Disease in Canada.* Vancouver: National Collaborating Centre for Environmental Health. British Columbia Centre for Disease Control; 2011.  
[http://www.nccch.ca/sites/default/files/Environmental\\_Burden\\_Disease\\_Jan\\_2011.pdf](http://www.nccch.ca/sites/default/files/Environmental_Burden_Disease_Jan_2011.pdf)
- <sup>26</sup> **Epidemiology Section, Health Intelligence and Disease Control, Public Health and Development Division, Victorian Government Department of Human Services. Public Health Division.** *Victorian Burden of Disease Study: Mortality.* Melbourne: State of Victoria, 1999.

- <sup>27</sup> **Istituto Superiore di Sanità – Laboratorio di Epidemiologia e Biostatistica.** *Modello per la stima dell'impatto relativo delle principali patologie nel determinare mortalità ed invalidità, utilizzando al meglio i dati epidemiologici attualmente disponibili*, 1999.  
<http://www.sanita.fvg.it/ars/specializza/programmi/burden/BOD1.pdf>
- <sup>28</sup> **Epidemiology Section, Health Intelligence and Disease Control, Public Health and Development Division, Victorian Government Department of Human Services. Public Health Division.** *Victorian Burden of Disease Study: Morbidity*. Melbourne: State of Victoria, 1999.
- <sup>29</sup> **WHO.** *Air quality guidelines for particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide*. Global update 2005, 2005.  
[http://whqlibdoc.who.int/hq/2006/WHO\\_SDE\\_PHE\\_OEH\\_06.02\\_eng.pdf](http://whqlibdoc.who.int/hq/2006/WHO_SDE_PHE_OEH_06.02_eng.pdf)
- <sup>30</sup> **DIRETTIVA DEL PARLAMENTO EUROPEO E DEL CONSIGLIO DELL'UNIONE EUROPEA** 50/CE del 21 maggio 2008 relativa alla qualità dell'aria ambiente e per un'aria più pulita in Europa
- <sup>31</sup> **Ostro B.** *Outdoor air pollution: assessing the environmental burden of disease at National and local levels*. Environmental Burden of Disease series n 5., 2004.  
[http://www.who.int/quantifying\\_ehimpacts/publications/ebd5.pdf](http://www.who.int/quantifying_ehimpacts/publications/ebd5.pdf)
- <sup>32</sup> **Fox-Rushby J A, Hanson K.** *Calculating and presenting disability adjusted life years (DALYs) in cost-effectiveness analysis*. Health Policy and Planning; 16(3): 326-331. Oxford University Press, 2001.
- <sup>33</sup> **Wieser S, Kauer L, Schmidhauser S. et al.** *Rapporto di sintesi – Valutazione economica delle misure preventive in Svizzera*. Institut de recherches économiques, Université de Neuchâtel. Servizio Valutazione e ricerca, Ufficio federale della sanità pubblica, Berna, 2010.
- <sup>34</sup> **Clancy L, Goodman P, Sinclair H, Dockery D W .** *Effect of air-pollution control on death rates in Dublin, Ireland: an intervention study*. Lancet, 2002; 360: 1210-1214.
- <sup>35</sup> **Friedman M S, Powell K E, Hutwagner L, Graham L M, Teague W G.** *Impact of changes in transportation and commuting behaviors during the 1996 Summer Olympic Games in Atlanta on air quality and childhood asthma*. The Journal of American Medical Association. 2001; 285: 897-905.  
<http://jama.ama-assn.org/cgi/reprint/285/7/897>
- <sup>36</sup> **Bayer-Oglesby L, Grize L, Gassner M, et al.** *Decline of Ambient Air Pollution Levels and Improved Respiratory Health in Swiss Children*. Environmental Health Perspectives, 2005; 113: 1635-1637.
- <sup>37</sup> **Dockery D W, Pope C A, Xu X, et al. (1993).** *An association between air pollution and mortality in six US cities*. The New England Journal of Medicine, 1993; 329: 1753–1759.  
<http://content.nejm.org/cgi/content/full/329/24/1753>
- <sup>38</sup> **Laden F, Schwartz J, Speizer F E, Dockery D W.** *Reduction in fine particulate air pollution and mortality: extended follow-up of the Harvard Six Cities study*. American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine, 2006; 173(6): 667–672.  
<http://ajrccm.atsjournals.org/cgi/reprint/173/6/667>

- <sup>39</sup> **Fung K, Krewski D, Burnett R, Dominici F.** *Testing the harvesting hypothesis by time-domain regression analysis. I: baseline analysis.* Journal of Toxicology Environmental Health, 2005; Part A. Jul 9-23; 68(13-14): 1137-54.
- <sup>40</sup> **Schwartz J.** *Is there harvesting in the association of airborne particles with daily deaths and hospital admission?* Epidemiology, 2001; 12(1): 55-61.
- <sup>41</sup> **Ferguson E C, Maheswaran R, Daly M.** *Road-traffic pollution and asthma – using modelled exposure assessment for routine public health surveillance.* International Journal of Health Geographics, 2004; 3(1): 24-30.  
<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC526385/pdf/1476-072X-3-24.pdf>
- <sup>42</sup> **Lindgren A, Stroh E, Montnémy P, Nihlén U, Jakobsson K, Axmon A.** *Traffic-related air pollution associated with prevalence of asthma and COPD/ chronic bronchitis. A cross-sectional study in Southern Sweden.* International Journal of Health Geographics, 2009; 8: 2.  
<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2649061/>
- <sup>43</sup> **U.S. Environmental Protection Agency.** *Fourth External Review Draft of Air Quality Criteria for Particulate Matter, 2004; Vol. I.*  
<http://cfpub.epa.gov/ncea/cfm/recordisplay.cfm?deid=87903>
- <sup>44</sup> **Vardoulakis S, Fisher B E A., Pericleous K, Gonzalez- Flesca N.** *Modelling air quality in street canyons: a review.* Atmospheric Environment, 2003; 37: 155-182.
- <sup>45</sup> **Stafoggia M, Faustini A, et al.** *Inquinamento atmosferico e mortalità in dieci città italiane.* Epidemiologia e Prevenzione; 2009; 33(6) suppl 1: 65-76.
- <sup>46</sup> **Biggeri A, Baccini M.** *Le stime italiane degli effetti a breve termine dell'inquinamento atmosferico: metodi e risultati a confronto.* Epidemiologia e Prevenzione; 2009; 33(6) suppl 1: 95-102.
- <sup>47</sup> **Cadum E, Berti G, Biggeri A, et al.** *I risultati di EpiAir e la letteratura nazionale e internazionale.* Epidemiologia e Prevenzione; 2009; 33(6) suppl 1: 113-119.
- <sup>48</sup> **U.S. Environmental Protection Agency.** *Review of the national ambient air quality standards for particulate matter: policy assessment of scientific and technical information.* OAQPS Staff Paper. Research Triangle Park, NC, United States Environmental Protection Agency, Office of Air Quality Planning and Standards, 2005
- <sup>49</sup> *Qualità dell'ambiente urbano. Il rapporto APAT. Edizione 2005.* Roma, APAT.  
<http://www.areeurbane.apat.it/site/it-IT/Archivio/Pubblicazioni/Pubblicazioni/rapporto2005.html>