

Il costo dell'inquinamento atmosferico e del rumore in Italia*

Romeo Danielis e Lucia Rotaris

Univerità di Trieste e ISTIEE

Indice

Introduzione generale

PARTE I - INQUINAMENTO ATMOSFERICO

Il costo della mortalità da inquinamento atmosferico

1. Introduzione
2. Le misurazioni del livello di concentrazione di particolato
3. Il livello di concentrazione medio nazionale di PM_{10}
4. Il livello di concentrazione medio nazionale di PM_{10} imputabile al trasporto stradale
5. Gli effetti dell'inquinamento atmosferico sulla mortalità: quale metodologia e perché
6. I benefici sociali derivanti da una riduzione permanente della concentrazione atmosferica di particolato
7. I benefici sociali derivanti da una riduzione annuale della concentrazione atmosferica di particolato
8. Confronto dei risultati ottenuti

Il costo della morbilità da inquinamento atmosferico

1. Introduzione
2. Stima basata su Pearce e Crowards (1996)
3. Stima basata su Ostro (1994)
4. Stima basata su ExternE (1999)
5. Confronto dei risultati ottenuti

Conclusioni

Appendice Statistica

1. Dati demografici
2. Misurazioni dei livelli di concentrazione locali di PM_{10} e di PST
3. La normativa vigente relativamente al particolato
4. Tavole di conversione dei dati di misurazione del PM_{10} in PST e del PST in PM_{10}

PARTE II - RUMORE

Il costo del rumore

- 1 Il costo del rumore in Italia
- 2 Analisi di sensitività
- 3 Conclusioni

Riferimenti bibliografici

* Il presente lavoro è stato svolto nell'ambito di una ricerca promossa dall'ANFIA (Associazione Nazionale Fra Industrie Automobilistiche) e dall'ACI (Automobil Club d'Italia) ed è in parte pubblicato sul volume ANFIA-ACI "I costi e i benefici esterni del trasporto", Torino, 2001.

Introduzione generale

In questo capitolo procederemo alla stima del costo dell'inquinamento atmosferico e dell'inquinamento acustico imputabile al settore dei trasporti. L'esigenza di pervenire a tale stima è dettata da una molteplicità di fattori fra cui la scarsa disponibilità di analoghi studi condotti nel contesto italiano (che si riduce fondamentalmente allo studio Amici della Terra 1998 e 1999, allo studio T&E, 1993, ed allo studio INFRAS/IWW,1994) e la significativa discrepanza registrata fra i valori finora ottenuti e quelli ricavati relativamente agli altri paesi europei, come sottolineato nel capitolo X.

L'importante evoluzione che ha recentemente subito la metodologia di stima del costo dell'inquinamento atmosferico ed acustico e la maggiore disponibilità dei dati necessari per pervenire a tali stime ha, inoltre, consentito un'analisi sempre più accurata e verosimilmente più affidabile del fenomeno.

Nella prima parte del capitolo descriviamo i passaggi che abbiamo seguito per stimare il costo dell'inquinamento atmosferico, sia in termini di mortalità che di morbilità, e riportiamo i risultati cui siamo pervenuti. Nella seconda parte, invece, descriviamo le fasi che ci hanno consentito di stimare il costo dell'inquinamento acustico.

PARTE I - INQUINAMENTO ATMOSFERICO

Il costo della mortalità da inquinamento atmosferico

1. Introduzione

L'obiettivo di questa prima parte è stimare il costo esterno causato dall'inquinamento atmosferico prodotto dai trasporti stradali in Italia. Nonostante esistano già alcune stime al riguardo, ci sembra opportuno ripetere l'esercizio di stima alla luce di alcune recenti acquisizioni.

In primo luogo, si sono resi recentemente disponibili i dati aggiornati ufficiali sulle concentrazioni di inquinanti nelle principali città italiane¹, colmando così, almeno in parte, una lacuna conoscitiva derivante dalla assenza di una capillare rete di stazioni di monitoraggio che ha finora reso assai incerta la stima dei costi esterni da inquinamento atmosferico in Italia.

In secondo luogo, in questi ultimi anni, sono stati apportati significativi miglioramenti nelle metodologie di stima utilizzate a livello internazionale, rendendo attraente la possibilità di applicare per la prima volta le nuove tecniche al contesto nazionale. Tali miglioramenti riguardano: (a) nuove evidenze empiriche sulla funzione dose-reazione che confermano la superiorità delle basi di dati di tipo coorte prospettica, (b) la comprensione della necessità di stimare gli anni di vita persi piuttosto che semplicemente il numero dei decessi, (c) la consapevolezza della specificità della WTP per una riduzione dell'inquinamento atmosferico rispetto a quella relativa agli incidenti, in quanto fenomeno differito del tempo e percepito in modo differenziato dalla collettività.

Questa parte è organizzata come segue. Nella seconda sezione presentiamo i dati relativi al livello di concentrazione di PM₁₀ di cui abbiamo potuto disporre. Tali dati fanno riferimento tanto alle realtà metropolitane italiane più densamente abitate, quanto a centri abitati molto piccoli. Classificando tali valori per classe dimensionale del comune di residenza ed effettuando una media ponderata degli stessi ricaviamo il livello di concentrazione medio nazionale di PM₁₀, come descritto nella terza sezione. Nella quarta sezione procediamo alla stima della percentuale della concentrazione media nazionale di PM₁₀ imputabile ai trasporti. Procediamo quindi ad una breve descrizione delle tecniche di stima della mortalità da inquinamento atmosferico attualmente

¹ Dati in parte resi noti il 20 Giugno 2000 a Roma in occasione del V seminario del ciclo Incontri di Sanità Pubblica a cura dell'OMS, ANPA ed ITARIA.

disponibili (quinta sezione). Nella sesta e nella settima sezione descriviamo come abbiamo applicato tali tecniche di stima ai dati disponibili, distinguendo in particolare fra i risultati ottenuti elaborando i dati di tipo coorte prospettici e quelli che abbiamo ottenuto applicando i dati di tipo *time-series* e *cross-section*. Nell'ultima sezione, infine, confrontiamo i risultati cui siamo pervenuti e riportiamo le conclusioni derivanti dal confronto fra le nostre stime e quelle finora disponibili circa il contesto italiano.

2. Le misurazioni del livello di concentrazione di particolato

Per calcolare gli effetti che il PM₁₀ produce sulla mortalità e sulla morbilità della popolazione indagata è innanzi tutto necessario stimare il livello di concentrazione medio nazionale di PM₁₀. Ciò si può fare disponendo delle misurazioni dei livelli di concentrazione del particolato effettuate presso le relative stazioni di monitoraggio. Purtroppo, in Italia, le stazioni di monitoraggio del PM₁₀ sono ancora poco numerose e sono collocate per lo più nelle città di dimensioni medio-grandi. Nella Tav. 1 sono riportati i valori della concentrazione media di PM₁₀ relativi al 1999 per le otto maggiori città italiane². Nella Tav. 2, invece, sono presentati i valori della concentrazione di PM₁₀ che si riferiscono a realtà urbane minori³.

Tav. - 1 - Livelli medi di concentrazione di PM₁₀ misurati nelle otto principali città italiane (1999)

Città	Concentrazione media annuale 1999 PM-10	Popolazione residente
Torino	53,8	909.717
Genova	46,1	641.437
Milano	47,4	1.307.785
Bologna	51,2	382.006
Firenze	46,5	376.760
Roma	51,2	2.646.408
Napoli	52,1	1.020.120
Palermo	44,4	686.551
Totale		7.970.784

Media ponderata del livello di concentrazione di PM-10 nelle maggiori città italiane 49,77

Fonte dati demografici: "Popolazione e movimento anagrafico dei comuni. Anno 1998", annuario ISTAT n.11, 2000

Fonte dati sulle concentrazioni: L'inquinamento atmosferico in 8 città italiane, a cura di OMS, ANPA ed in collaborazione con ITARIA, rapporto pubblicato il 20 Giugno 2000 a Roma (V seminario Incontri di sanità pubblica)

Tav. - 2 - Livelli medi di concentrazione di PM₁₀(1998/99)

Città	Concentrazione media annuale 1999 PM-10	Popolazione residente
Olgiate comasco (CO)	35	10.225
Cantù (CO)	42	35.602
Meda (MI)	51	21.253
Magenta (MI)	45	23.151
Vimercate (MI)	45	25.578
Limido comasco (CO)	41	2.185

Fonte dati demografici "Popolazione e movimento anagrafico dei comuni. Anno 1998", annuario ISTAT n.11, 2000

Fonte dati sulle concentrazioni sito internet regione Lombardia D.G. Tutela Ambiente

²I dati sono stati resi noti a Roma in occasione del V seminario del ciclo "Incontri di sanità pubblica" organizzato dall'ANPA, dal gruppo ITARIA e dall'OMS Italia.

³ Informazioni disponibili nel sito internet della regione Lombardia - D. G. Tutela Ambiente.

Data la scarsa rappresentatività dei dati sul PM₁₀ così raccolti, abbiamo deciso di integrare tali valori con i dati relativi al Particolato Sospeso Totale, d'ora in poi PST. Questi ultimi, illustrati nella Tav. 3, sono tratti dai siti internet ARPA nazionali, dal sito internet della regione Lombardia D. G. Tutela Ambiente e dalla pubblicazione ISTAT (1998) *Le stazioni di monitoraggio della qualità dell'aria. Anno 1996*.

Tav. - 3 – Livelli medi di concentrazione di PST (Anno 1996/99)

Città	Concentrazion e media annuale TSP	Popolazione residente
Odolo (BS)**	41,9	1.894
San Michele all'Adige (TN)**	30	2.257
Montecchio Maggiore (VC)**	80	2.652
Nibionno (LC)**	57,5	3.223
Casnigo (BG)**	56,1	3.491
Bornio (SO)**	25,4	4.166
Ciserano (BG)**	42,8	4.813
Breno (BS)**	47,2	5.110
Vipiteno (BZ)**	34	5.658
Borgo Val Sugana (TN)**	36	5.932
Colico (LC)**	45,1	6.224
Vobarno (BS)**	43,8	7.324
Chiavenna (SO)**	42,9	7.375
Gambara (BS)**	59,2	7.570
Fino Mornasco (CO)**	82,6	8.312
Costa Volpino (BG)**	63,7	8.549
Tirano (SO)**	33,6	8.895
Ponte San Pietro (BG)**	56,1	9.624
Pero (MI)**	64,7	10.537
Morbegno (SO)**	55,4	11.021
Nembro (BG)**	65,2	11.074
Sarezzo (BS)**	44,8	11.324
Lonato (BS)**	46,2	11.626
Manerbio (BS)**	42,4	12.578
Agrate Brianza (MI)**	68,5	12.730
Darfo (BS)**	35,8	13.369
Brunico**	44	13.414
Merate (LC)**	69,8	14.005
Calolzio Corte (LC)**	31,5	14.314
Riva del Garda (TN)**	36	14.358
Castel Maggiore (BO)*	80,1	15.613
Melegnano (MI)**	44,6	16.039
Este (PD)**	32	17.049
Piove di Sacco (PD)**	24	17.102

Bressanone (BZ)**	27	18.198
Cittadella (PD)**	22	18.586
Mariano Comense (CO)**	71	19.637
Seriate (BG)**	46,5	19.686
Dalmine (BG)**	60,1	20.857
Sondrio°	34	22.010
Treviglio (BG)**	74,5	25.269
San Lazzaro di Savena (BO)*	61,9	28.740
Pioltello (MI)**	60,8	33.168
Merano**	36	33.807
Rovereto (TN)**	23	33.981
Piombino (LI)**	11	34.889
Schio (VC)**	43	37.087
Voghera (PV)**	39,7	39.852
Lodi°	55	41.709
Lecco°	60	45.428
Gallarate (VA)**	51,1	46.282
Mantova°	60	48.651
Rho (MI)**	51,5	51.717
Legnano (MI)**	58,6	53.748
Vigevano (PV)**	75,9	59.542
Carpi (MO)**	95,1	60.680
Pavia°	70	74.290
Busto Arsizio (VA)**	42,3	77.684
Sesto San Giovanni (MI)**	54,3	82.410
Como**	74,7	83.264
Varese°	65,5	84.052
Arezzo**	59	91.301
Bolzano*	34,3	97.043
Pisa**	40,2	98.494
Piacenza*	40,2	98.732
Trento**	50,5	104.205
Forlì*	53,4	107.279
Vicenza*	46	109.145
Bergamo°	46	117.193
Monza (MI)**	65,3	119.118
Ravenna*	43,9	138.122
Reggio*	84,5	141.488
Parma*	57,4	167.523
Modena**	100,5	175.485
Brescia°	43	190.909
Padova**	53	211.035

Fonte dati demografici "Popolazione e movimento anagrafico del comune Anno 1998", annuario ISTAT n.11, 2000

Fonte stime concentrazione: (*) stime 1999 da siti ARPA in rete; (**) stime 1996-97 da ISTAT (1998) Le stazioni di monitoraggio della qualità dell'aria Anno 1996, Collana Informazioni 79; (°) stime 1998 dati da sito regione Lombardia
D:G: Tutela Ambiente

L'aggregazione dei due ordini di dati (gli uni relativi al PM₁₀, gli altri al PST) si ottiene applicando la seguente formula:

$$PM_{10} = 0,55 \text{ PST}$$

ove 0,55 corrisponde al coefficiente di conversione suggerito da Ostro (1994) ed adottato nella letteratura internazionale.

Purtutto una serie di fattori ha contribuito ad ampliare il margine di incertezza delle stime da noi condotte, come di seguito illustrato. I valori relativi ai livelli di concentrazione di particolato di cui si dispone sono disomogenei non solo in termini di tipologia di particelle misurate (PST piuttosto che PM₁₀), ma anche in termini di modalità di misurazione. Alcuni, infatti, sono calcolati attraverso la tecnica gravimetrica, mentre altri con quella automatica continua⁴. Neanche la distribuzione territoriale delle stazioni di monitoraggio, del resto, è omogenea, infatti il numero delle stazioni situate nell'Italia settentrionale e centrale è nettamente superiore al numero di stazioni situate nell'Italia meridionale (si confronti con la Fig. 1 e 2 in appendice statistica)⁵.

Quanto ai dati relativi al PST, abbiamo deciso di utilizzare sia i valori misurati presso le stazioni di tipo B (collocate nelle aree urbane ad alta densità abitativa), sia quelli misurati presso le stazioni di tipo C (collocate nelle aree urbane ad alto traffico; ove la classificazione delle stazioni riprende quella del D.M. 20.05.91)⁶. La scelta, per certi aspetti opinabile, è stata dettata tanto dall'esigenza di disporre di un numero sufficiente di valori, quanto dalla considerazione che la distinzione fra le due categorie non è tuttora ben definita, lasciando ampi margini di discrezionalità nel processo di classificazione delle rilevazioni (Cattani *et al.*, 1999).

Un ulteriore problema è rappresentato dalla mancanza di disponibilità di dati per le aree meno densamente abitate (soprattutto per i comuni con densità abitativa inferiore a 10.000 abitanti), sia per quanto riguarda la realtà centro-settentrionale, che per quella meridionale, rendendo particolarmente incerti i risultati che si traggono soprattutto per le prime due classi di aggregazione (fino a 10.000 abitanti e da 10.000 a 50.000 abitanti).

Nell'appendice statistica sono riportate le tabelle di conversione dei dati relativi al PST in PM₁₀ e viceversa (Tav. A10 e A11). Inoltre, per ragioni di completezza e per consentire un più agevole confronto fra i valori di concentrazione correnti e quelli previsti dalla normativa vigente, sono riprodotte due tabelle rappresentative dei vincoli normativi italiani ed europei relativi all'inquinamento da particolato (Tav. A8 e A9).

⁴ Questo secondo aspetto complica la procedura di uniformazione dei dati poiché, secondo parte della letteratura, il coefficiente di conversione da PST a PM₁₀ varierebbe in funzione della tecnica di misurazione adottata. In effetti, mentre Deserti, Baldan, Allegrini ed altri (citati in uno studio dell'ARPA di Reggio Emilia) affermano che la misurazione automatica continua sottostima sistematicamente i valori di PM₁₀, altri studi (ARPA Emilia Romagna e Ferrara) giungono a conclusioni assai diverse, comprovando addirittura l'indifferenza fra le due tecniche di misurazione. Non esistendo, quindi, uniformità di pensiero in merito e non disponendo comunque di altre stime se non di quella proposta da Ostro (1994), effettuiamo la conversione dei dati da PST a PM₁₀ applicando il coefficiente sopra menzionato.

⁵ Ciò porta inevitabilmente ad una maggiore rappresentatività della realtà centro-settentrionale. Le regioni meridionali potrebbero, però, essere caratterizzate da livelli di concentrazione inferiori rispetto al resto d'Italia, nel qual caso le stime da noi ottenute costituirebbero una sovrastima dell'impatto che il particolato genera rispetto all'intero contesto nazionale.

⁶ Teoricamente sarebbe stato corretto utilizzare i valori medi dell'esposizione personale della popolazione (Lipfert, 1995; Pearce e Crowards, 1996), ma, nella maggior parte dei casi, si utilizzano i valori medi della concentrazione cui la popolazione è esposta nell'arco delle 24 ore. Per ottenere un valore approssimativo il più vicino possibile all'esposizione personale, dunque, sarebbe meglio fare riferimento solo alle misurazioni relative alle aree urbane più densamente abitate, piuttosto che anche alle misurazioni raccolte presso le stazioni collocate presso i cigli delle strade (Cattani *et al.*, 1999).

3. Il livello di concentrazione medio nazionale di PM₁₀

Per ottenere la stima del livello di concentrazione medio nazionale di PM₁₀ i dati sui livelli di concentrazione ottenuti nella fase precedente, resi omogenei per tipo di inquinante considerato (PM₁₀ o PST), sono stati prima aggregati e quindi distinti per classe dimensionale del comune di residenza della popolazione⁷. In questo modo abbiamo potuto costruire una mappatura, per quanto abbastanza approssimativa, della popolazione esposta.

I valori medi ponderati della concentrazione per classe dimensionale si ottengono applicando la seguente formula:

$$\frac{\sum_n Pop_n \cdot Conc_n}{\sum_n Pop_n}$$

ove: Pop_n è la popolazione campionaria appartenente alla categoria dimensionale n, con n che va da 1 (fino a 10000) a 6 (oltre 500000);
Conc_n è il livello di concentrazione media annuale cui è soggetta la popolazione appartenente alla categoria dimensionale n.

Il livello di concentrazione medio nazionale si ricava, del tutto similmente, calcolando la media ponderata (rispetto la popolazione nazionale residente) delle concentrazioni medie di ciascuna classe dimensionale.

Nella Tav. 4 sono illustrati i valori medi ponderati della concentrazione di PM₁₀ e di PST come ricavati dall'aggregazione dei dati convertiti, la numerosità della popolazione campionaria indagata, la popolazione nazionale residente e la rappresentatività del campione considerato.

Tav. - 4 – Livelli di concentrazione media ponderata di PM₁₀ per classe dimensionale e nazionale

Classi aggregate	Popolazione campionaria aggregata	Concentrazione media ponderata di PM ₁₀	Concentrazione media ponderata di PST	Popolazione residente nazionale	Rappresentatività del campione aggregato
	fino a 10000	105.254	27,68	50,34	18.963.751
10001-50000	899.799	28,41	51,65	18.373.734	5%
50001-100000	1.012.957	31,18	56,70	6.733.381	15%
100001-250000	1.581.502	32,61	59,30	4.092.749	39%
250001-500000	758.766	48,86	88,85	2.236.982	34%
oltre 500000	7.212.018	49,86	90,66	7.212.018	100%
		Concentrazione media ponderata nazionale di PM ₁₀ 32,27	Concentrazione media ponderata nazionale di PST 58,68	Popolazione nazionale totale 57.612.615	

Fonti: sito internet regione Lombardia D.G. Tutela Ambiente; "L'inquinamento atmosferico in 8 città italiane", a cura di OMS, ANPA ed in collaborazione con ITARIA, rapporto pubblicato il 20 Giugno 2000 a Roma (V seminario Incontri di sanità pubblica); ISTAT (1998) Le stazioni di monitoraggio della qualità dell'aria Anno 1996, Collana Informazioni 79; "Popolazione e movimento anagrafico dei comuni. Anno 1998", annuario ISTAT n.11, 2000

Ne risulta che il livello di concentrazione medio ponderato nazionale di PM₁₀ è attualmente inferiore al limite di 40µg/m³ di PM₁₀ consigliato nel D.M. 20.05.91. In realtà l'intervallo di variabilità del livello di concentrazione mediamente caratterizzante il territorio nazionale è piuttosto

⁷ I dati nazionali relativi alla popolazione residente sono tratti dalla pubblicazione ISTAT *Popolazione e movimento anagrafico dei comuni Anno 1998* e sono riportati nell'appendice statistica allegata. (Tav. A1 in appendice)

ampio. Mentre, infatti, le aree urbane più densamente abitate sono caratterizzate da valori piuttosto alti (si pensi ai 53,8 di Torino o ai 52,2 di Roma), le aree rurali presentano livelli comparativamente assai inferiori (per un'illustrazione più dettagliata del fenomeno si faccia riferimento alle Tav.1, 2, e 3 precedentemente rappresentate).

4. Il livello di concentrazione medio nazionale di PM₁₀ imputabile al trasporto stradale

Poichè l'obiettivo di questa parte dell'analisi è la valutazione del costo sociale dell'inquinamento atmosferico imputabile al trasporto, è necessario stimare il valore della concentrazione media nazionale di particolato generato dal settore trasporti. Purtroppo, mentre per altri inquinanti tali dati esistono e sono ben documentati, la disponibilità di informazioni sull'inventario delle fonti del particolato e sulle percentuali di concentrazioni di particolato attribuibili a ciascun macro-settore, data la difficoltà di modellizzare questo inquinante, è decisamente scarsa⁸.

Per quanto si possa ipotizzare con un buon margine di approssimazione che la percentuale di PM₁₀ generato dal trasporto stradale nei grossi centri urbani si aggiri intorno al 70% del totale PM₁₀ antropico, la stima relativamente alle città medio piccole o addirittura alle aree rurali è molto più incerta (anche se, molto verosimilmente, nettamente inferiore alla precedente). Per poter stimare con maggior certezza tali coefficienti di attribuzione, sarebbe necessario utilizzare un modello di emissione, dispersione e concentrazione del particolato costruito ad hoc per l'intero territorio nazionale, cosa di cui ancora non si dispone allo stato attuale dell'indagine.

In assenza di quest'informazione abbiamo deciso di adottare il coefficiente di attribuzione stimato nello studio OMS (1999) relativo all'Austria, alla Francia ed alla Svizzera, ipotizzandone la trasferibilità al contesto italiano. Tale coefficiente è stato ottenuto sulla base di una mappatura delle fonti di emissione nazionali ed è pari a 0,35. Un coefficiente di attribuzione simile è stato, per altro, recentemente usato in un'analogia indagine condotta nel Regno Unito (Harrison *et al.*, 1996)⁹.

Tav. – 5 – Concentrazione media nazionale di PM₁₀ attribuibile ai trasporti (1999).

Coefficiente di attribuzione OMS (1999)	Concentrazione media nazionale di PM ₁₀	Concentrazione attribuibile al trasporto stradale
35% rispetto al totale	32,27 µg/m ³	11.30 µg/m ³

Fonte: Filliger *et al.* (1999) p. 55.

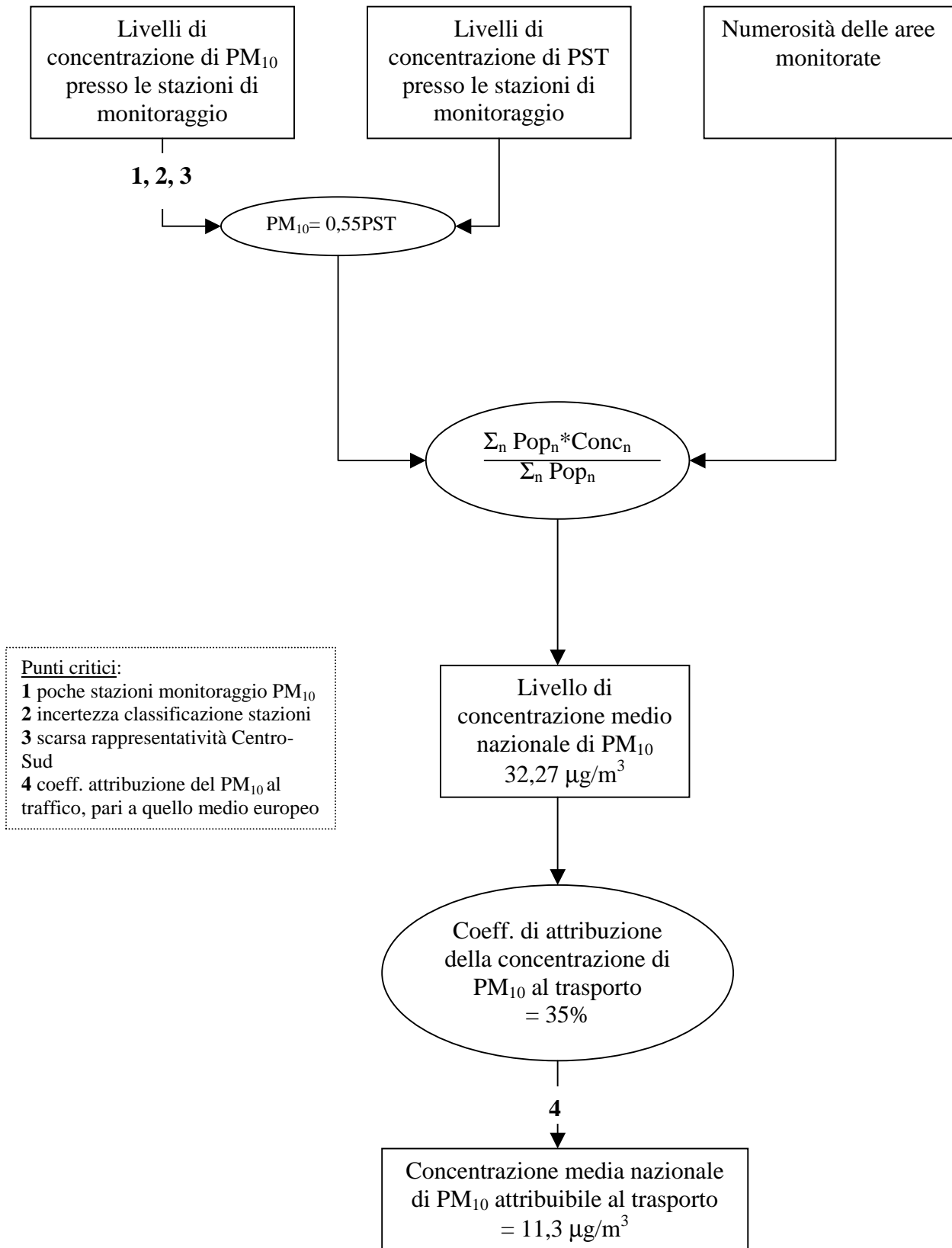
Moltiplicando la concentrazione media nazionale di PM₁₀ (come ottenuta nel paragrafo precedente) per il coefficiente di attribuzione (35%), otteniamo la quantità di concentrazione media di PM₁₀ imputabile al trasporto stradale, cioè 11,30 µg/m³ (si faccia riferimento alla Tav. 5).

Nella Tav. 6 sono riassunti i passaggi seguiti per pervenire alla stima dei livelli di concentrazione media nazionale di PM₁₀ imputabile al traffico.

⁸ I pochi dati ufficiali sinora pubblicati fanno riferimento all'area urbana di Firenze e di Prato (come da sito internet dell'ARPA della regione Toscana).

⁹ Alcuni dei responsabili delle ARPA italiane, nel corso di una serie di conversazioni informali, hanno confermato l'urgenza di condurre studi più approfonditi sull'imputabilità delle emissioni e concentrazioni di particolato a ciascun macrosettore, pare, anzi, che un'indagine sia già stata avviata e che i relativi risultati saranno pubblicati a breve.

Tav. - 6 - Stima della concentrazione media nazionale di particolato imputabile al trasporto



5. Gli effetti dell'inquinamento atmosferico sulla mortalità: quale metodologia e perché

Per calcolare gli effetti sulla mortalità causati dal particolato si possono seguire tre approcci:

1. applicare i coefficienti delle funzioni dose-risposta stimate a partire dagli studi di tipo *time series*;
2. applicare i coefficienti delle funzioni dose-risposta stimate a partire dagli studi di tipo *cross-section*;
3. oppure utilizzare i coefficienti derivati dagli studi di tipo *prospective cohort*

La valutazione dettagliata dei pro e contro e del significato di ciascun approccio è descritta nel capitolo X a cui si rimanda. In sintesi, il primo permette la stima dell'effetto sulla mortalità acuta, il secondo l'effetto sul quella cronica ed il terzo consente la stima dell'effetto cumulato acuto e cronico.

A causa della natura dei dati, i risultati dell'applicazione dei coefficienti dose-risposta derivati dai dati *time-series* e *cross-section* sono interpretabili come effetto sulla mortalità attribuibile ad un anno di esposizione della popolazione ad un dato livello di concentrazione di particolato.

I risultati dell'applicazione dei coefficienti derivati dai dati di *prospective cohort* sono invece interpretabili come effetto sulla mortalità complessiva derivante da una riduzione permanente dell'inquinamento da particolato.

Dal punto di vista teorico, i dati *prospective cohort* ed i risultati conseguenti sono superiori e più affidabili degli altri due tipi di dati. La valutazione più corretta e, a nostro parere da preferire, è quindi quella sugli effetti di una riduzione permanente dell'inquinamento atmosferico che saranno presentati nella sezione 6. Per esigenza di confrontabilità con altre stime presentate a livello nazionale, proponiamo però anche la stima dei costi sociali generati da un anno di esposizione all'inquinamento atmosferico effettuata sulla base degli studi *time series* e sulla base di quelli *cross section*, presentate nella sezione 7.

6. I benefici sociali derivanti da una riduzione permanente della concentrazione atmosferica di particolato

Per calcolare i benefici sociali che si ottengono da una riduzione permanente della concentrazione di PM₁₀ pari a 10 µg/m³ usiamo il Mortality Risk Ratio (d'ora in avanti MRR) stimato da Pope (1995) sulla base di uno studio epidemiologico condotto negli Stati Uniti¹⁰.

Si ricorda che dalle stime da noi precedentemente condotte (descritte nelle sezioni 1, 2 e 3) il trasporto stradale risulta responsabile del 35% della concentrazione media nazionale di PM₁₀, per un valore pari a 11,3 µg/m³. I risultati che si ottengono relativamente ad una riduzione permanente di 10 µg/m³ sono quindi rappresentativi (per difetto) dei benefici sociali che si otterrebbero dall'eliminazione quasi totale e definitiva del particolato prodotto da traffico.

Nei prossimi paragrafi si descrive in dettaglio tanto la procedura di stima degli anni di vita attesi persi secondo l'approccio coorte prospettico (sezione 5.1, Capitolo X), quanto la metodologia di conversione di tali valori in termini monetari (sezione 5.2, Capitolo X).

¹⁰ Avremmo voluto condurre queste stime utilizzando i risultati di studi epidemiologici analoghi condotti in Italia, purtroppo, però, tali informazioni non sono attualmente disponibili. In mancanza di valide alternative e considerata la buona similitudine esistente fra il contesto statunitense e quello europeo-italiano, abbiamo deciso di utilizzare i valori proposti da Pope. L'indagine si è sviluppata nell'arco di 7 anni coinvolgendo ben 552.138 persone residenti in 151 differenti località (SMSAs). In tale studio l'MRR è stato calcolato secondo il modello di rischio proporzionale di Cox (1972).

6.1 Il calcolo del numero di anni di vita attesi persi

Per calcolare il numero di anni di speranza di vita persi si divide il rischio di morte corrente (distinto per classe di età, da 0 a 109 anni, e per sesso) per il Mortality Risk Ratio (MRR) imputabile all'inquinamento atmosferico. In tal modo si ottiene la stima del rischio di morte in assenza permanente di 10 mg/m^3 di PM_{10} . Il valore della probabilità di morte in assenza di inquinamento atmosferico (q^s) é dunque dato dalla probabilità di morte corrente (q^c) divisa per l'MRR secondo la seguente formula:

$$q^s = \frac{q^c}{MRR}$$

Sia q_x la probabilità di morte corrispondente alla classe di età x , l_x il numero di sopravvivenuti per la classe di età x , L_x il numero di anni di vita vissuti per classe di età x e w l'ultima classe di età considerata (nel nostro caso 109), allora:

$$l_{x+1} = l_x q_x$$

$$L_x = (l_x + l_{x+1}) / 2$$

$$e_x = \frac{L_x + L_{x+1} + \dots + L_{w-1}}{l_x}$$

Moltiplicando il numero di anni di vita attesi per ciascun individuo appartenente alla classe di età x (cioè e_x), per q^c e per q^s , si ottiene, rispettivamente, il numero di anni di vita attesi con e senza inquinamento atmosferico da particolato. In questo modo abbiamo ricavato una tabella delle aspettative di vita dato l'attuale livello di concentrazione di PM_{10} e di una tabella delle aspettative di vita dato un livello di PM_{10} ridotto di $10 \text{ } \mu\text{g/m}^3$ rispetto la media nazionale. Calcolando la differenza della speranza di vita per ciascuna classe di età si ottiene il numero di anni di vita attesi persi per ogni individuo (i) appartenente alla classe di età x ($YOLL_i$).

$$YOLL_i = e_i(q_i^s) - e_i(q_i^c)$$

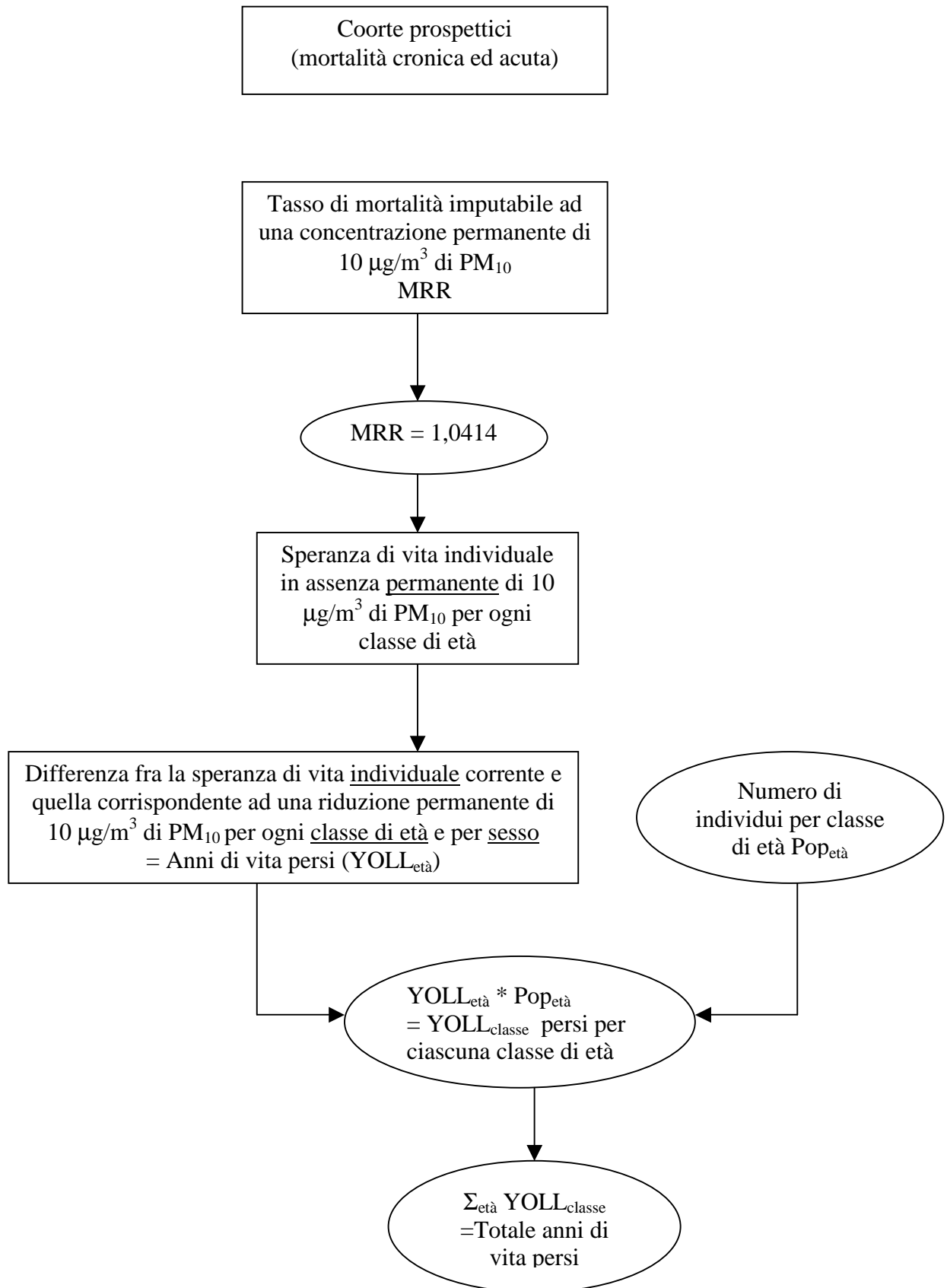
Moltiplicando tale valore per la numerosità di ciascuna classe di età, cioè per il numero di sopravvivenuti per ogni classe di età nel 1999 (P_i), e sommando i valori così ottenuti rispetto a tutte le classi di età considerate (da 0 a 109), si ricava il numero totale di anni di vita attesi persi dalla popolazione italiana a causa dell'esposizione a $10 \text{ } \mu\text{g/m}^3$ di PM_{10} nel 1999.

$$YOLL = \sum_{i=0}^{109} YOLL_i \cdot P_i$$

Tale valore rappresenta il numero di anni di vita attesi di cui la popolazione godrebbe se il livello di concentrazione di PM_{10} fosse permanentemente ridotto di $10 \text{ } \mu\text{g/m}^3$ rispetto il livello di concentrazione medio relativo al 1999. Dalle tabelle A6 ed A7 in appendice statistica si ricava il numero totale degli anni di vita persi dalla popolazione italiana per classe di età. La popolazione maschile nel suo complesso ha perso 10.728.806 anni di vita, mentre la popolazione femminile ha perso 9.685.304 anni.

Nella Tav. 7 sono riassunti i passaggi seguiti per pervenire alla stima del numero di anni di vita attesi persi dalla popolazione italiana nel 1999 a causa dell'inquinamento atmosferico (da particolato) generato dal traffico.

Tav. - 7 - Numero di anni di vita attesa persi a causa dell'inquinamento generato da traffico calcolati sulla base degli studi *prospective cohort*.



6.2 La valutazione monetaria degli anni di vita attesi persi

Per stimare il valore monetario degli anni di vita attesi persi si procede moltiplicando il numero totale di YOLL (Years of Life Lost) della popolazione maschile e femminile italiana, per il valore monetario unitario di un anno di speranza di vita perso (Value Of Life Years Lost, d'ora in avanti VOLY). Noi abbiamo utilizzato i VOLY stimati in ExternE (1999, Tav.12.7, p. 251), tali valori sono riassunti nella seguente tabella distinti per sesso e per tasso di sconto (pari allo 0%, al 3% ed al 10% rispettivamente).

Tav. – 8 – Valore monetario (ECU 1995) di un anno di vita attesa perso (VOLY).

Sesso	Tasso di sconto		
	0%	3%	10%
Maschi	98.000	83.969	59.371
Femmine	98.000	84.680	61.371

Fonte: European Commission, DGXII, Science, Research and Development (1999), *Externalities of Energy*, Vol. 7, Methodology 1998 update, Brussels.

Il valore totale degli anni di vita attesa persi si calcola inizialmente in ECU 1995, poiché i VOLY cronici tratti da ExternE (1999) sono espressi in questa valuta, quindi, applicando il tasso di cambio ECU/Lire 1995, si converte tale valore in Lire 1995. Attualizzando secondo il tasso di inflazione italiano 1995-1999 si ottiene, infine, l'ammontare in Lire 1999.

Tav. – 9 – Valore monetario del beneficio sociale derivante da una riduzione permanente della concentrazione di PM₁₀ pari a 10 µg/m³ (Mld Lire 1999).

	Massimo	Base	Minimo
VOLY totale femmine	2.200.897	1.901.754	1.375.987
VOLY totale maschi	2.450.294	2.099.477	1.484.453
VOLY totale maschi e femmine	4.651.190	4.001.231	2.860.440

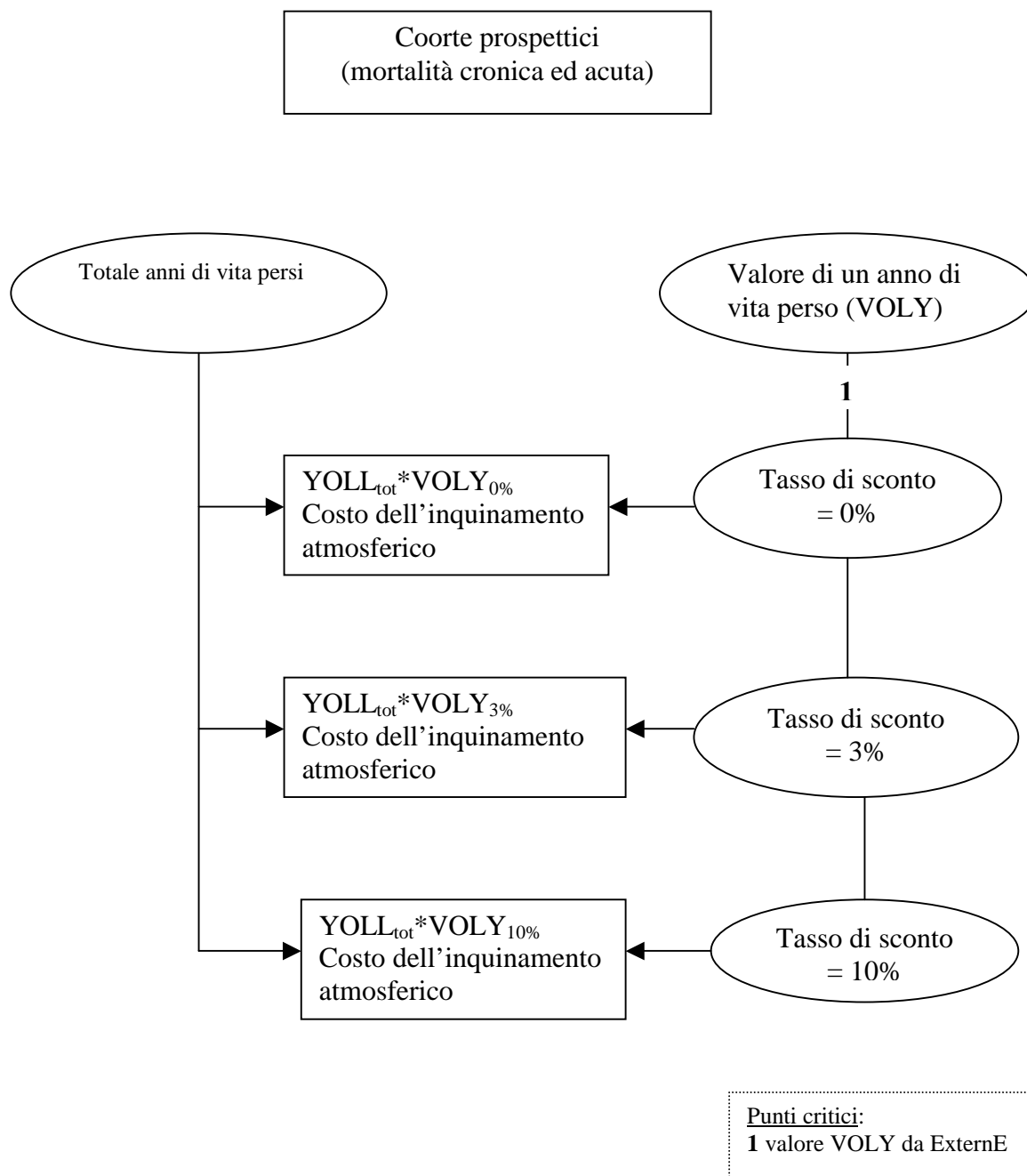
Fonte: European Commission, DGXII, Science, Research and Development (1999), *Externalities of Energy*, Vol. 7, Methodology 1998 update, p.251, Brussels.

Nota: in corrispondenza della dicitura Alto si usa il VOLY calcolato con un tasso di sconto pari a 0%, in corrispondenza della dicitura Medio il VOLY calcolato con un tasso di sconto pari al 3%, in corrispondenza della dicitura Basso il VOLY calcolato con un tasso di sconto pari al 10%.

Come si evince dalla Tav. 9 i valori sono leggermente più alti per la popolazione maschile italiana, variando (a seconda del tasso di sconto considerato) da 1.375.987 Mld Lire a 2.200.897 Mld Lire per le femmine e da 1.484.453 Mld Lire a 2.450.294 Mld Lire per i maschi. Mediamente il beneficio sociale di cui l'intera popolazione italiana goderebbe se la concentrazione di PM₁₀ fosse ridotta permanentemente di 10 µg/m³ (pari circa alla quantità correntemente imputabile al settore trasporti su strada) è di 4.001.231 Mld Lire, con un valore minimo pari a 2.860.440 Mld Lire ed un valore massimo pari a 4.651.190 Mld Lire. Questo valore, dalle dimensioni enormi, pari (nel suo valore minimo) all'intero debito pubblico italiano, è da interpretarsi come il beneficio derivante da una riduzione di 10 µg/m³ di PM₁₀ (equivalente all'inquinamento imputabile ai trasporti) di cui goderebbe tutta la popolazione italiana attualmente vivente da qui all'estinzione di questa coorte.

La Tav. 10 riassume le fasi di stima del valore monetario degli anni di vita attesi persi dalla popolazione italiana nel 1999 a causa dell'inquinamento atmosferico generato dal traffico.

Tav. - 10 - Costo della mortalità da particolato generato dal traffico secondo gli studi *prospective cohort*.



7. I benefici sociali derivanti da una riduzione annuale della concentrazione atmosferica di particolato

In questo paragrafo si descrive la procedura seguita per ricavare le stime dei benefici sociali derivanti da una riduzione annuale (non permanente) della concentrazione atmosferica del particolato prodotto dal settore trasporti stradali. Per fare ciò si utilizzano, come già accennato, due approcci alternativi: la stima della mortalità acuta tramite i coefficienti dose-risposta ricavati dagli studi *time series* e la stima della mortalità cronica tramite i coefficienti dose-risposta ricavati dagli studi *cross section*.

Se la tipologia di mortalità stimata con il primo approccio escludesse completamente la tipologia di mortalità stimata con il secondo, sarebbe possibile calcolare il costo totale della mortalità (rispettivamente acuta e cronica) sommando i risultati ottenuti dalle due applicazioni. In realtà non solo non vi è certezza alcuna che i due aggregati siano complementari e mutuamente escludenti, ma lo stesso fenomeno di base studiato nei due casi differisce notevolmente¹¹. Mentre con i *time series*, infatti, si studia fundamentalmente l'effetto di accelerazione di quello che sarebbe il normale processo di decesso della popolazione, con i *cross section* si studia piuttosto il legame di causa-effetto esistente fra inquinamento da particolato e mortalità (in questo senso l'approccio *cross section* è molto più simile a quello *prospective cohort*).

Alla luce di quanto sinora esposto, preferiamo proporre entrambe le valutazioni mantendendole però distinte, a significare che rappresentano fenomeni diversi per quanto generati dal medesimo fattore: l'esposizione annua della popolazione italiana ad una concentrazione di PM₁₀ pari a 11.3 µg/m³.

7.1 L'approccio time-series

I coefficienti che abbiamo scelto di utilizzare per calcolare la mortalità acuta da particolato sono quelli calcolati da Michelozzi *et al.*, (1996) relativi alla città di Roma, con riferimento all'area urbana centrale o all'area metropolitana. Se ne propongono, inoltre, sia una stima di base, che una di minima ed una di massima, per evidenziare il margine di incertezza caratterizzante il calcolo di tali valori.

7.1.1 Il calcolo del numero di anni di vita attesi persi

Disponendo dei valori della concentrazione media di PM₁₀ (distinta per classe dimensionale e per fonte di produzione), della numerosità della popolazione esposta e dei coefficienti della funzione dose-risposta è possibile applicare la formula illustrata nella fig. 6 paragrafo 5.1 della prima parte del rapporto. Abbiamo così stimato i decessi avvenuti nel 1999 che si sarebbero potuti evitare in assenza del PM₁₀ prodotto dal traffico stradale.

Tali valori sono riportati nelle Tav. 11 e 12 e si differenziano tra loro a seconda se calcolati applicando, rispettivamente, le stime urbane centrali o quelle metropolitane dei coefficienti della funzione dose risposta calcolati da Michelozzi (1996).

Dalle stime del numero di decessi si ricavano quelle del numero di anni di vita complessivamente persi dagli individui deceduti. Per fare ciò ipotizziamo che ad ogni decesso corrisponda un numero di anni di vita attesi persi pari a 0,75, come suggerito sia nello studio ExternE (1998, p 248) sia nel rapporto COMEAP (1995).

¹¹ Si faccia riferimento a Lipfert (1995) p. 963; Hartley et al (1999) p. 18, 19 e 26 .

Tav. - 11 - Effetti sulla mortalità acuta di $11,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ di PM_{10} ottenuti applicando il coefficiente dose risposta relativo alle *aree urbane centrali* stimato da Michelozzi (1996)

<i>Coefficiente dose risposta per le aree urbane centrali</i>	0,066
Numero di decessi imputabili al particolato da traffico stradale	4301
Numero totale di anni di vita attesa persi YOLL	3.226,1

Fonte: coefficiente dose risposta Michelozzi (1996); dati demografici: "Popolazione e movimento anagrafico dei comuni. Anno 1998", annuario ISTAT n.11, 2000

Note: il numero totale dei decessi avvenuti in Italia nel 1999 è pari a 576.911, il valore della concentrazione media nazionale di PM_{10} imputabile al trasporto è pari a $11,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (per una descrizione della modalità di stima di tale valore si rimanda al paragrafo precedente), il numero di anni di vita attesa persi per ciascun decesso si ipotizza pari a 0,75; gli estremi dell'intervallo di confidenza della stima del coefficiente dose risposta sono rispettivamente pari a 0,03 e a 0,12.

Tav. - 12 - Effetti sulla mortalità acuta di $11,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ di PM_{10} ottenuti applicando il coefficiente dose risposta relativo alle *aree metropolitane* stimato da Michelozzi (1996)

<i>Coefficiente dose risposta per le aree urbane metropolitane</i>	0,038
Numero di decessi imputabili al particolato da traffico stradale	2476
Numero totale di anni di vita attesa persi YOLL	1.857,4

Fonte: coefficiente dose risposta Michelozzi (1996); dati demografici: "Popolazione e movimento anagrafico dei comuni. Anno 1998", annuario ISTAT n.11, 2000

Note: il numero totale dei decessi avvenuti in Italia nel 1999 è pari a 576.911, il valore della concentrazione media nazionale di PM_{10} imputabile al trasporto è pari a $11,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (per una descrizione della modalità di stima di tale valore si rimanda al paragrafo precedente), il numero di anni di vita attesa persi per ciascun decesso si ipotizza pari a 0,75; gli estremi dell'intervallo di confidenza della stima del coefficiente dose risposta sono rispettivamente pari a 0,009 e a 0,068.

Così facendo si ottengono due valori diversi a seconda del tipo di area urbana considerata. Le stime del numero di anni di vita attesi persi (Years Of Life Lost) sono riportate nell'ultima riga delle due tabelle proposte. L'intervallo dei valori stimati varia da un minimo di 1.857 anni per le aree urbane metropolitane ad un massimo di 3.226 per le aree urbane centrali. Come si può notare, le stime riferite alle aree urbane centrali sono quasi doppie rispetto a quelle relative alle aree urbane metropolitane.

7.1.2 La valutazione monetaria degli anni di vita attesi persi

Per esprimere in termini monetari il numero di anni di vita attesa persi a causa dell'inquinamento atmosferico si usano, in mancanza di stime relative all'Italia, i valori degli anni di vita persi (VOLY), proposti da ExternE (1999, Vol. 7, p. 251).

Tav. - 13 - VOLY (in Lire 1999) differenziati per tassi di sconto

	Tasso di sconto		
	0%	3%	10%
VOLY (Lire 1999) per un 35enne	195.009.730	327.180.416	698.881.483
VOLY (Lire 1999) per un 45enne	258.776.289	390.715.096	747.575.946

Fonte: European Commission, DGXII, Science, Research and Development (1999), *Externalities of Energy*, Vol. 7, Methodology 1998 update, Brussels.

Note: i VOLY si basano su un VOSL pari a 3,14 MECU.

Tali valori sono distinti in funzione del tasso di sconto con cui sono stati calcolati: 0%, 3% e 10%. Per esprimere tali valori in Lire si procede come segue: anzi tutto si convertono le stime in Lire (applicando il tasso di cambio relativo alla moneta ed all'anno di riferimento dello specifico VOLY considerato), quindi si attualizzano tali valori all'anno 1999 applicando l'opportuno tasso di inflazione.

Moltiplicando il numero totale degli anni di vita attesi persi (come stimati nel paragrafo precedente) per il relativo VOLY (abbiamo usato quello proposto da ExternE relativo ai 35^{enni}), si ricava il costo sociale della mortalità acuta da inquinamento.

Tav. - 14 - Valore monetario degli anni di vita attesi persi nel 1999 a causa di 11,3 µg/m³ di PM₁₀ prodotto da traffico stradale, usando i coefficienti dose risposta relativi alle *aree urbane centrali* (Mil Lire 1999)

	Tasso di sconto		
	0%	3%	5%
Valore monetario degli anni di vita attesi persi	894.666	769.819	550.676

Nota: coefficiente dose risposta Michelozzi (1996), VOLUY ExternE '99 Vol. 7, p.251.

Tav. - 15 - Valore monetario degli anni di vita attesi persi nel 1999 a causa di 11,3 µg/m³ di PM₁₀ prodotto da traffico stradale, usando i coefficienti dose risposta relativi alle *aree urbane metropolitane* (Mil Lire 1999)

	Tasso di sconto		
	0%	3%	5%
Valore monetario degli anni di vita attesi persi	515.111	443.229	317.056

Nota: coefficiente dose risposta Michelozzi (1996), VOLY ExternE '99 Vol. 7, p.251.

Ne risulta un costo sociale che varia da un minimo di 317 Mld Lire ad un massimo di 894 Mld Lire a seconda del tasso di sconto considerato.

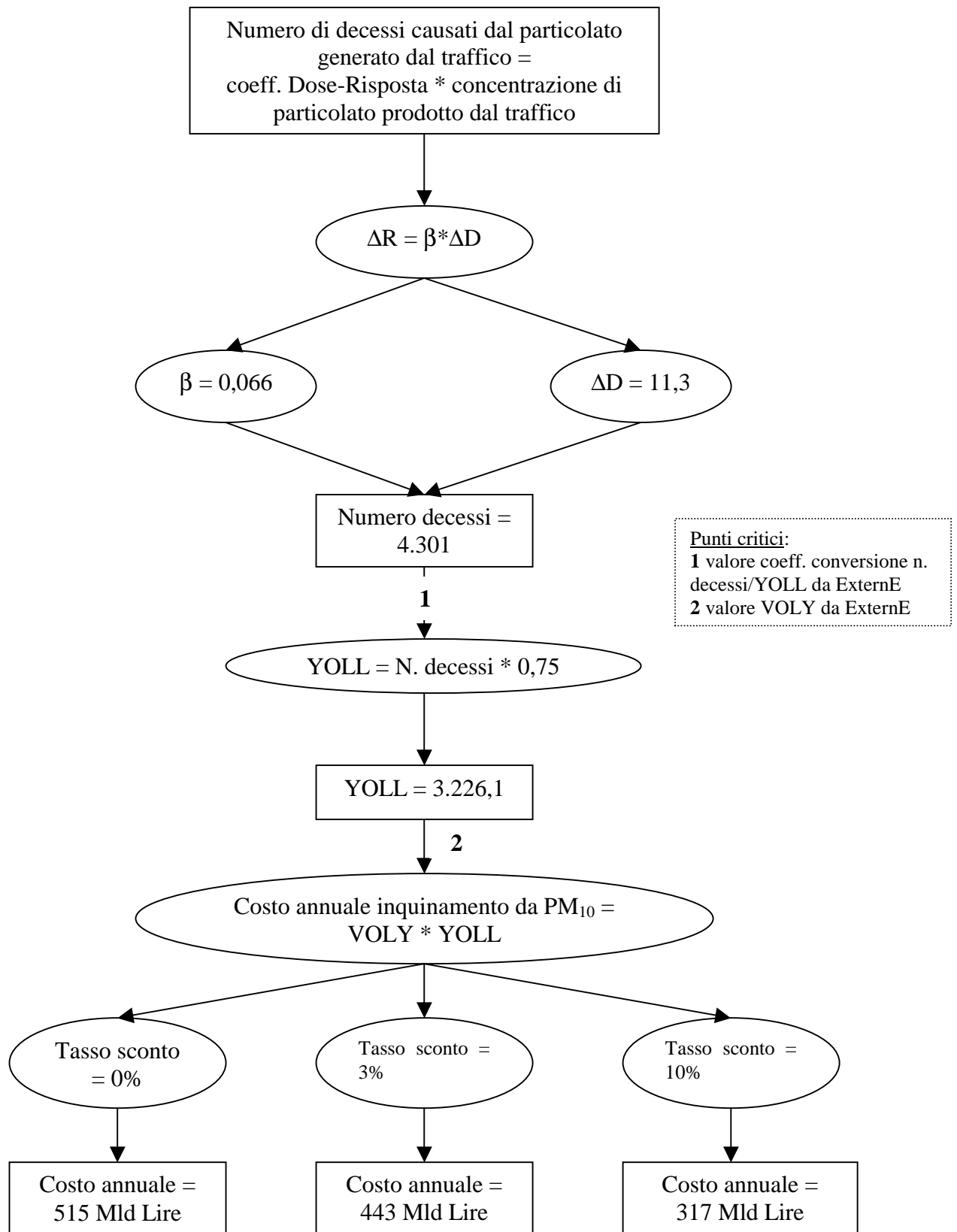
E' necessario sottolineare che se avessimo espresso gli effetti generati dal particolato sulla mortalità acuta moltiplicando il numero dei decessi per il valore della vita statistica (VOSL, Value Of Statistical Life) - seguendo la metodologia applicata in molti recenti studi di valutazione - avremmo ottenuto, non sorprendentemente, delle stime molto più alte. Tali stime sarebbero infatti variate da un massimo di 75.863 Mld Lire 1999¹², ad un minimo di 9.588 Mld lire 1999¹³. Con quest'approccio, infatti, si attribuisce ad ogni decesso il medesimo VOSL, indipendentemente dalla considerazione delle reali aspettative di vita dell'individuo (o probabilità di decesso) e della sua età. Le stime da noi effettuate applicando il VOLY, invece, si basano proprio su queste distinzioni, limitando la valutazione del costo sociale all'effettivo arco di tempo di vita perduto dagli individui deceduti.

Nella Tav.16 sono riassunte la fasi seguite per calcolare il costo annuale della mortalità causata dall'inquinamento atmosferico generato dal traffico secondo l'approccio *time-series*.

¹² utilizzando l'estremo maggiore dell'intervallo di confidenza del coefficiente dose risposta ed un VOSL pari a 3,1 Mil Ecu 1995

¹³ utilizzando l'estremo inferiore dell'intervallo di confidenza del coefficiente dose risposta ed un VOSL pari a 1,5 Mil Sterline 1995, in entrambi i casi i VOSL citati sono tratti da Pearce e Crowards (1996), ExternE (1995) ed ExternE (1999).

Tav. - 16 - Stima del costo annuale della mortalità da particolato generato dal trasporto secondo gli studi *time-series*.



7.2 Gli studi cross-section

I coefficienti della funzione dose-risposta che abbiamo utilizzato sono quelli stimati da Evans (1984). La loro applicazione è del tutto analoga a quanto citato relativamente agli studi *time series*, con la sola differenza per cui, in questo caso, i coefficienti si applicano ai livelli di concentrazione media di PST anziché di PM₁₀.

7.2.1 Il calcolo del numero di anni di vita attesi persi

Per stimare il numero di anni di vita attesi persi bisogna innanzi tutto stimare il numero di decessi attribuibili all'inquinamento atmosferico prodotto dal trasporto stradale (pari a 20,54 µg/m³ di PST), quindi bisogna esprimere tale dato in termini di numero di anni. In questo caso, però, poiché gli studi *cross-section* comprendono tanto le morti definite croniche, quanto quelle acute (si veda la parte teorica introduttiva), bisogna formulare delle ipotesi sul valore del coefficiente di conversione per passare dal numero di decessi al numero di anni di vita persi.

Per questo studio abbiamo utilizzato due valori di conversione, in modo tale da rappresentare rispettivamente un'ipotesi di minimo impatto (per ogni decesso si attribuiscono 2 anni di speranza di vita in meno) e di massimo impatto (per ogni decesso si attribuiscono 5 anni di speranza di vita in meno). Il primo parametro è stato calcolato da noi sulla base del numero medio ponderato degli anni di vita persi per ogni classe di età utilizzando i dati contenuti nelle tavole di mortalità italiane (ISTAT, 1992) ed applicando il MRR risultante dallo studio di Pope (1995). Il secondo parametro di conversione, invece, è quello riportato in ExternE (1999, p. 248).

Tav. - 17 – Numero di anni di vita persi a causa del PST prodotto dal traffico stradale.

Coefficiente dose risposta (b)	0,338
Numero totale dei decessi prematuri	4.000
Totale anni di vita attesi persi (5)	19.998,8
Totale anni di vita attesi persi (2)	7.999,5

Fonte: dati demografici: "Popolazione e movimento anagrafico dei comuni. Anno 1998", annuario ISTAT n.11, 2000

Nota: i coefficienti dose risposta (b) sono tratti da Evans (1984), il livello di concentrazione di PST considerato è pari a 20.54 µg/m³, la popolazione totale italiana nel 1999 è pari a 57.612.615; l'indice (5) e (2) significa rispettivamente che il numero di anni di vita attesi persi per ogni decesso è pari a 5 e a 2; gli estremi dell'intervallo di confidenza della stima del coefficiente dose risposta sono rispettivamente pari a 0,14 e a 0,536.

Dai risultati proposti nella Tav. 17 si può notare come il numero dei decessi da mortalità cronica (pari a 4.000) sia molto simile, per quanto leggermente inferiore, al numero di decessi da mortalità acuta stimato utilizzando i coefficienti riferiti alle aree urbane centrali (pari a 4.301). Risulta, invece, quasi doppio rispetto ai decessi stimati utilizzando i coefficienti *time series* riferiti alle aree urbane metropolitane (pari a 2.476).

7.2.2 La valutazione monetaria degli anni di vita attesi persi

Moltiplicando il numero degli anni di vita attesi persi per i VOLY citati in ExternE (1999) riportati nella Tav. 7¹⁴, si ottengono i valori riassunti nella seguente tabella (Tav. 18).

Quanto alla conversione dei valori in Lire ed Euro 1999, si segue la stessa procedura descritta nel paragrafo precedente.

Tav. - 18 - Valore monetario degli anni di vita attesi persi nel 1999 a causa del PST prodotto da traffico stradale (Mil Lire 1999).

VOLY unitario in ECU '95	VOLY unitario in Mil Lire '99	Tasso di sconto	Valore monetario del totale anni di vita attesi persi nel 1999 a causa del particolato da traffico stradale	
98.000	277	0%	VOLY (5)	5.546.114
			VOLY (2)	2.218.445
84.325	239	3%	VOLY (5)	4.772.176
			VOLY (2)	1.908.870
60.320	171	10%	VOLY (5)	3.413.689
			VOLY (2)	1.365.476

Fonte: : European Commission, DGXII, Science, Research and Development (1999), *Externalities of Energy*, Vol. 7, Methodology 1998 update, Brussels.

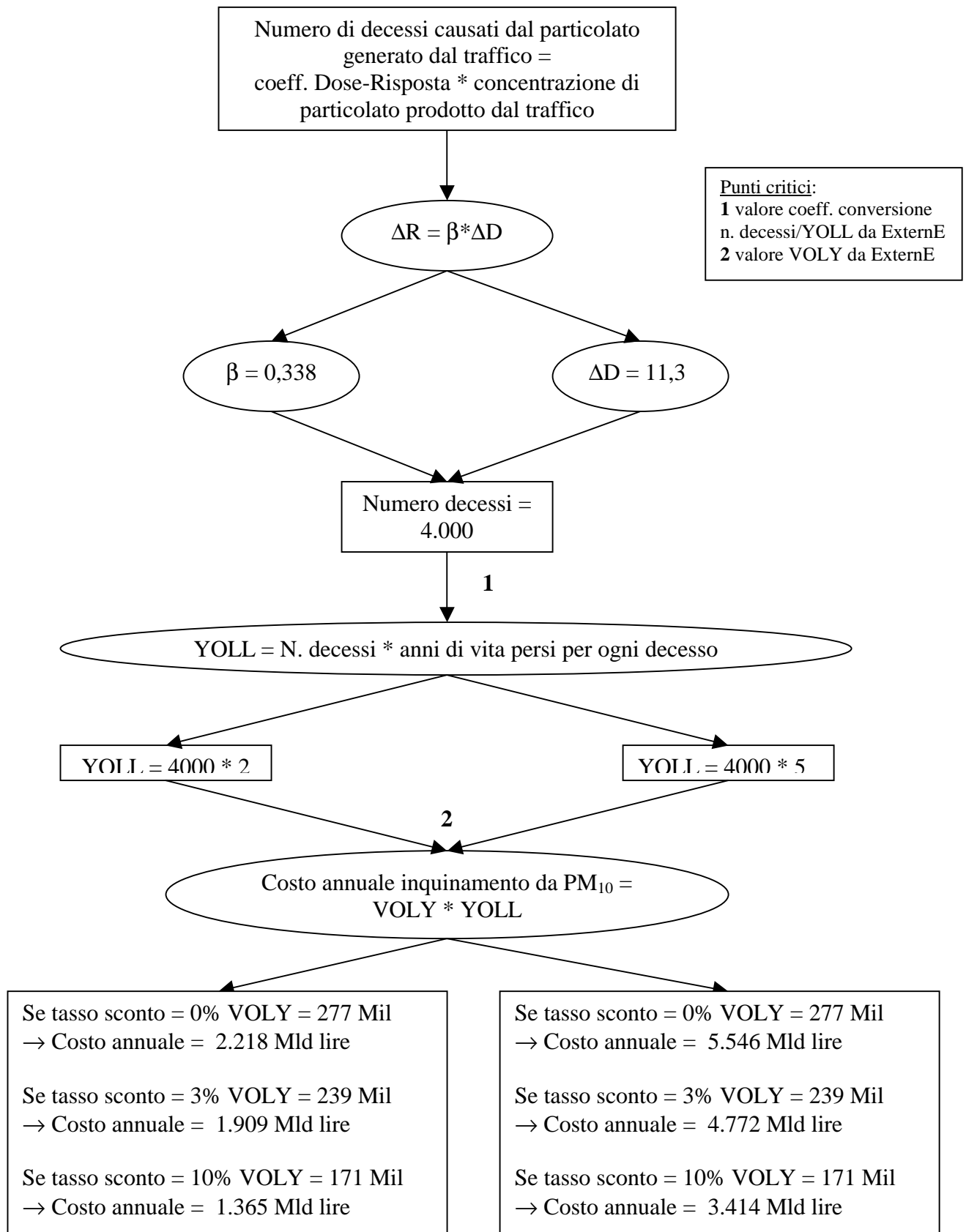
Nota: coefficiente dose risposta Evans (1984), VOLY ExternE '99 Vol. 7, p.251.

Le differenze fra le stime che si ottengono considerando un numero medio di anni di vita attesi persi pari a 2 piuttosto che a 5, aumentano all'aumentare del tasso di sconto con cui sono stati calcolati i VOLY unitari. Si tratta di valori molto elevati che variano da un minimo di 1.365 Mld lire 1999 (ipotizzando due anni di vita attesi persi ogni decesso ed un tasso di sconto pari a 10%) ad un massimo di 5.546 Mld Lire 1999 (ipotizzando cinque anni di vita attesi persi ogni decesso ed un tasso di sconto pari a 0%).

Nella Tav. 19 sono raffigurati i passaggi seguiti per calcolare il costo annuale della mortalità causata dall'inquinamento atmosferico generato dal traffico secondo l'approccio *cross-section*.

¹⁴ In questo caso non si distingue fra VOLY attribuito alle femmine rispetto a quello attribuito ai maschi, ma se ne considera meramente il valore medio.

Tav. - 19 - Stima del costo annuale della mortalità da particolato generato dal trasporto secondo gli studi *cross-section*.



8. Confronto dei risultati ottenuti

Applicando le relazioni dose-risposta basate sui dati di coorte prospettica, times series e cross section, rappresentativi – come già precedentemente spiegato – della mortalità cronica sommata a quella acuta, della sola mortalità acuta e della sola mortalità cronica, abbiamo ottenuto i risultati riportati nelle tabelle 20, 21 e 22.

Tav. – 20 - Benefici di una riduzione permanente di PM₁₀ pari a 10 µg/m³ (mortalità cronica ed acuta).

Anni di vita persi	20.468.112		
	Tasso di sconto pari a		
	0%	3%	10%
<i>Valori monetari (mld lire 1999)</i>	4.651.190	4.001.231	2.860.440

Fonte: nostre elaborazioni sulla base dei coefficienti dose-risposta tratti da Pope (1995) e dei dati demografici ISTAT (1996)

Tav. – 21 - Benefici di una riduzione annuale di PM₁₀ pari a 11.3 µg/m³ (mortalità acuta).

Anni di vita persi	1.857,4		
	Tasso di sconto pari a		
	0%	3%	10%
<i>Valori monetari (mld lire 1999)</i>	515	443	317

Fonte: nostre elaborazioni sulla base dei coefficienti dose-risposta tratti da Michelozzi (1996) e dei dati demografici ISTAT (1996)

Note: ^aUsando il coefficiente dose-risposta riferito all'area metropolitana di Roma

Tav. – 22 - Benefici di una riduzione annuale di PM₁₀ pari a 11.3 µg/m³ (mortalità cronica).

Anni di vita persi	19.998,8		
	Tasso di sconto pari a		
	0%	3%	10%
<i>Valori monetari (mld lire 1999)</i>	5.546	4.772	3.414

Fonte: nostre elaborazioni sulla base dei coefficienti dose-risposta tratti da Evans (1984) e dei dati demografici ISTAT (1996)

Note: ^a Ipotizzando una perdita di 5 anni per ogni decesso

Dalla Tav. 20 si evince come una riduzione permanente di PM₁₀ pari a 10 µg/m³ (quasi pari a quella attualmente attribuibile ai trasporti) porterebbe benefici di costo variabili da 2,8 a 4, 6 milioni di Miliardi di Lire 1999, ove l'intervallo dei valori è funzione del tasso di sconto considerato.

Gran parte delle valutazioni finora effettuate si riferiscono, però, ai costi annuali della mortalità causata dall'inquinamento atmosferico generato dai trasporti. Le Tav. 21 e 22, dunque, forniscono una stima del costo della mortalità acuta e cronica imputabile ad un anno di esposizione al particolato generato dai trasporti, in modo tale da garantire la confrontabilità delle nostre stime con quelle già esistenti per l'Italia. Nell'ipotesi, seguendo McCubbin (1996, 1999) e Hsueh (1999), che tali aggregati si possano sommare - ipotesi per altro non condivisa da tutta la letteratura e che, secondo alcuni (ad esempio il Department of Health, Hartley *et al.* 1999), sovrastimerebbe certamente il fenomeno - si giunge ad una stima del costo annuale della mortalità totale variabile tra i 3.731 ed i 6.061 Mld di Lire 1999. Tale valore è nettamente inferiore a quello stimato da Danielis

e Chiabai (1998) relativamente all'Italia nel 1992. La differenza è da attribuirsi alla diversa valutazione, quantitativa e monetaria, degli anni di vita persi¹⁵.

Un ulteriore confronto si può operare tra i risultati quantitativi qui forniti e quelli ottenuti da Amici della Terra (1999). Tale confronto, che però non siamo in grado di commentare per mancanza di informazioni sugli specifici valori adottati nello studio Amici della Terra, è riportato nella Tav.23.

Tav. – 23 – Confronto fra le stime ottenute nel presente studio ed in quello Amici della Terra

	<i>Numero di anni di vita persi Mortalità acuta</i>	<i>Numero di anni di vita persi Mortalità cronica</i>
Amici della Terra - anno 1997	210.129	7.534
Nostre stime - anno 1999	3.226	8.000 – 19.999

Si evidenzia un valore decisamente più ridotto relativamente alla mortalità acuta e, invece, comparabile (almeno per la soglia minima) per la mortalità cronica.

Il costo della morbidità da inquinamento atmosferico*

1. Introduzione

Le stime attualmente disponibili circa il costo della morbidità da inquinamento atmosferico per l'Italia sono molto poche e per lo più circoscritte a sottogruppi della popolazione (tipicamente i bambini sino ad un'età variabile dai 10 ai 15 anni) o a ristrette aree metropolitane. Rari sono stati finora i tentativi di stimare il costo esterno della morbidità rispetto l'intero contesto nazionale, per tale ragione riteniamo opportuno effettuare questo esercizio di stima applicando le tecniche ed i parametri che riteniamo più adatti al nostro contesto di indagine.

Purtroppo esistono ancora grosse lacune informative sia in termini di disponibilità di studi epidemiologici condotti per l'intera popolazione italiana, sia di dati informativi ufficiali sulla COI (*cost of illness*) per le diverse sintomatologie studiate e sulla WTP (*willingness to pay*) per ridurre il rischio della contrazione delle stesse. Il fatto di poter utilizzare i dati aggiornati ufficiali sul livello di concentrazione medio nazionale di PM₁₀ imputabile ai trasporti stradali, oltre che la disponibilità di un certo numero di studi analoghi condotti nel contesto europeo, ci ha però consentito di pervenire a delle buone stime del costo esterno della morbidità.

Per stimare il costo della morbidità imputabile al particolato prodotto dal trasporto stradale abbiamo utilizzato i coefficienti dose risposta stimati in tre differenti studi: Pearce e Crowards (1996), Ostro (1994) ed ExternE (1999).

Questo secondo paragrafo si compone di cinque sezioni. Nella seconda riportiamo i risultati che abbiamo ottenuto applicando i parametri citati in uno studio condotto da Pearce e Crowards nel 1996 relativamente al Regno Unito (la similitudine territoriale e socio-demografica dei due paesi ci è sembrata tale da giustificare la nostra scelta). Nella terza sezione presentiamo le stime che abbiamo ricavato applicando i coefficienti delle funzioni dose-reazione raccolti in uno studio di Ostro (1994). Nella quarta sezione, infine, descriviamo come abbiamo utilizzato i coefficienti dose-reazione suggeriti in ExternE (1999) ed a quali risultati siamo giunti. Il confronto dei tre ordini di stime ed un nostro giudizio sul risultato che riteniamo rappresenti più verosimilmente il costo della morbidità per la realtà italiana sono riportati nella quinta ed ultima sezione.

¹⁵ Danielis e Chiabai (1998) hanno applicato il coefficiente dose-risposta di Evans (1984) derivato dagli studi cross-section usato anche in questo rapporto. Ma, a differenza della metodologia qui applicata, il risultato ottenuto con la funzione dose-reazione è stato direttamente moltiplicato per il VOSL medio europeo, senza trasformarlo nei corrispondenti anni di vita persi (YOLL) e valore monetario degli anni di vita persi (VOLY).

* La redazione di questa sezione è stata curata da Lucia Rotaris

2. Stima basata su Pearce e Crowards (1996)

2.1 La stima degli effetti del trasporto stradale sulla morbilità

Per stimare la morbilità legata all'inquinamento atmosferico è necessario moltiplicare i coefficienti delle funzioni dose-risposta (stimati dalle indagini epidemiologiche) per la numerosità della popolazione di riferimento.

In questo caso abbiamo applicato i coefficienti dose-risposta tratti da Pearce e Croward (1996) riassunti nella Tav. 24. Si noti, comunque, come nel caso della morbilità non sempre i coefficienti facciano riferimento all'intera popolazione. In questo caso specifico, ad esempio, il coefficiente relativo alle giornate di ridotta o mancata attività deve essere moltiplicato solamente per il numero di individui in età lavorativa¹⁶, o, in alternativa, per il numero di persone con un'età maggiore di 15 anni¹⁷. La tecnica applicativa dei coefficienti varia, dunque, in funzione del tipo di studio epidemiologico considerato e delle modalità di stima dei coefficienti delle rispettive funzioni dose-risposta.

Tav. - 24 - Coefficienti delle funzioni dose risposta per una variazione di 10 mg/m³ di PM₁₀, tratti da Rowe *et al.* (1995)

Tipo di sintomatologia	Minimo*	Centrale	Massimo*
Ricoveri ospedalieri per problemi respiratori/100.000	6,6	12	17,3
Ricoveri Pronto Soccorso/100.000	116	237	354
Giornate di ridotta o mancata attività per persona*	0,29	0,58	0,78
Attacchi d'asma per persona	0,33	0,58	0,96
Problemi respiratori per persona	0,8	1,68	2,56
Bronchite cronica/100.000 (rischio di nuovi casi)	30	61,2	93

Fonte: Pearce, D e Crowards, T. (1996) "Particulate matter and human health in the United Kingdom", *Energy Policy*, 24, p.615.

Nota: nelle colonne Minimo* e Massimo* sono raffigurati gli estremi dell'intervallo di confidenza del coefficiente stimato il cui valore è riportato nella colonna denominata "Centrale"

Moltiplicando i coefficienti rappresentati nella colonna centrale della Tav. 24 per la specifica popolazione di riferimento (da ora in avanti popolazione obiettivo), abbiamo attenuato la stima del numero di casi imputabili al particolato prodotto dal traffico stradale distinti per tipo di sintomatologia. Nella Tav. 25 sono riassunti i valori da noi stimati per l'Italia.

Tav. - 25 - Numero di casi per tipo di sintomatologia (anno 1999)

Tipo di sintomatologia	Numero di casi
Ricoveri ospedalieri per problemi respiratori	7.812
Ricoveri Pronto Soccorso	154.292
Giornate di ridotta o mancata attività	28.160.557
Attacchi d'asma	37.759.308
Problemi respiratori	109.371.788
Bronchite cronica	39.843

Fonte: nostre elaborazioni da dati tratti da Pearce e Crowards (1995) e da ISTAT (2000) *Popolazione e movimento anagrafico dei comuni. Anno 1998*, annuario statistico ISTAT n.11.

Come si nota osservando i valori riportati nella Tav. 25, per alcune sintomatologie quali il numero di giornate di ridotta o mancata attività (28,2 milioni all'anno), i casi di attacchi d'asma (37,8 milioni all'anno) ed i casi di generici problemi all'apparato respiratorio (109,3 milioni all'anno) il numero di casi stimati è molto elevato.

¹⁶ Come suggerito in Ostro (1994, p. 18).

¹⁷ Come suggerito in ExternE (1999, p.175).

2.2 Valutazione monetaria della morbilità causata dal trasporto stradale

Per stimare il valore monetario dei casi di morbilità imputabili al particolato da trasporto stradale abbiamo utilizzato i costi unitari per sintomatologia riportati in Pearce e Croward (1996, p. 616). Tali valori, a loro volta ricavati da un'indagine ad hoc condotta da Rowe (1995) negli USA, sono stati modificati dagli autori inglesi per consentirne la trasferibilità e l'applicazione alla realtà inglese.

Abbiamo preferito non modificare ulteriormente tali parametri perché riteniamo che i costi unitari utilizzati da Pearce e Croward rispecchino con un buon margine di approssimazione anche quelli italiani.¹⁸

Tav. – 26 - Costo unitario per ciascuna sintomatologia (Sterline 1994)

<i>Tipo di sintomatologia</i>	<i>Costo unitario</i>
Ricoveri ospedalieri per problemi respiratori*	9.800
Ricoveri Pronto Soccorso*	370
Giornate di ridotta o mancata attività *°	50
Attacchi d'asma °	25
Problemi respiratori °	7
Bronchite cronica°	147.000

Fonte: Pearce, D e Crowards, T. (1996) "Particulate matter and human health in the United Kingdom", *Energy Policy*, 24, 609-619.

Nota: I valori contrassegnati con l'asterisco (*) sono stati calcolati sulla base del costo medio della malattia (COI), mentre i valori contrassegnati dal cerchietto (°) sono stati calcolati sulla base della disponibilità a pagare (WTP)¹⁹.

Dalla Tav.26 si può notare come i casi di bronchite cronica contribuiscano in modo preponderante al costo sociale unitario della morbilità da inquinamento, seguiti dai ricoveri ospedalieri.

Tav. - 27 - Costo della morbilità causata da 11,3 mg/m³ PM10 (concentrazione media di particolato dovuta al traffico stradale) in Mil Lire 1999.

<i>Tipo di sintomatologia</i>	<i>Costo totale per sintomatologia</i>
Ricoveri ospedalieri per problemi respiratori	218.673
Ricoveri Pronto Soccorso	163.057
Giornate di ridotta o mancata attività*	4.021.644
Attacchi d'asma	2.696.226
Problemi respiratori	2.186.733
Bronchite cronica	16.728.505
Totale	26.014.837

Fonte: nostre elaborazioni su dati tratti da Pearce e Crowards (1995) e da ISTAT (2000) *Popolazione e movimento anagrafico dei comuni. Anno 1998*, annuario statistico ISTAT n.11.

Nota: il numero di giornate di ridotta o mancata attività è stato calcolato non rispetto alla totalità della popolazione italiana, bensì per gli individui di età compresa fra i 15 ed i 65 anni, ove l'estremo inferiore dell'intervallo considerato è stato tratto da ExternE (1999, p. 176).

Moltiplicando il costo unitario (espresso in Lire 1999 anziché in Sterline 1994)²⁰ per il numero di casi stimato per ogni sintomatologia ed aggregando i valori così ottenuti, si ottiene un costo base della morbilità pari a 26.015 Mld Lire 1999, come riportato nella Tav. 24.

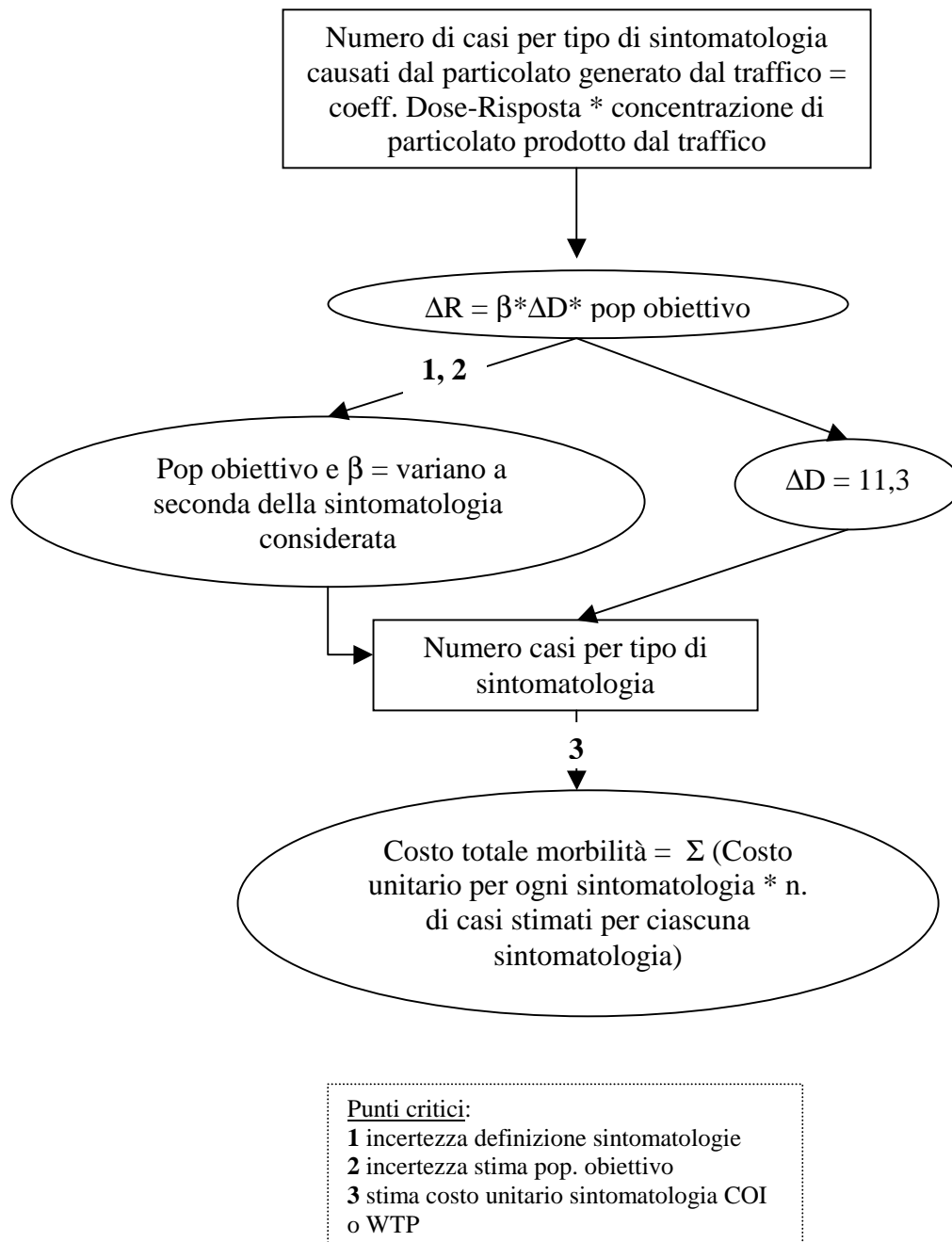
¹⁸ Certamente se disponessimo di maggiori informazioni sul costo medio italiano attribuibile a ciascuna sintomatologia (COI o WTP), otterremmo dei risultati più precisi ed affidabili, riteniamo comunque che la differenza non sarebbe significativamente elevata.

¹⁹ Per ulteriori approfondimenti su queste due tecniche di valutazione si faccia riferimento alla prima parte del rapporto (La teoria economica dei costi esterni dei trasporti) paragrafo 5 (La stima dei costi esterni).

²⁰ Abbiamo convertito i valori applicando il tasso di cambio ufficiale Sterline/Lire 1994 e quindi attualizzando i valori ottenuti attraverso l'indice dei prezzi al consumo 1994-99.

Nella Tav. 28 sono rappresentate le fasi di stima del costo annuale della morbidità causata dal PM₁₀ prodotto dal traffico.

Tav. - 28 - Stima del costo annuale della morbidità da particolato generato dal trasporto.



3. Stima basata su Ostro (1994)

3.1 La stima degli effetti del trasporto stradale sulla morbilità

I coefficienti delle funzioni dose-risposta scelti da Ostro nascono dalla valutazione dei risultati ottenuti da una molteplicità di studi epidemiologici condotti per ciascun tipo di sintomatologia considerata. Si tratta, per la maggior parte, di analisi condotte negli Stati Uniti, ma, alla stregua di quanto fatto da Pearce e Croward e date le sostanziali similitudini fra le caratteristiche socio-demografiche della popolazione americana e di quella europea, abbiamo ipotizzato di poter trasferire tali parametri (con un buon margine di approssimazione) nel contesto italiano.

Nella Tav. 29 sono riassunti i coefficienti proposti da Ostro che abbiamo utilizzato per condurre le nostre stime.

Tav. – 29 - Coefficienti delle funzioni dose-risposta per una variazione di $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ di PM_{10} tratti da Ostro (1994).

Tipo di sintomatologia	Minimo*	Centrale	Massimo*
Ricoveri ospedalieri per problemi respiratori/100000	6,57	12	15,6
Ricoveri Pronto Soccorso/100000	128,3	235,4	342,5
Giornate di ridotta o mancata attività per persona	0,404	0,575	0,903
Bronchite cronica/100000 adulti	30,6	61,2	91,8
Sintomatologia leggera fra cui bruciore agli occhi e tosse	0,91	1,83	2,74
Bronchite cronica bambini	0,008	0,0169	0,0238

Fonte: nostre elaborazioni su dati tratti da Ostro, B., Sanchez, J., Aranda, C., Eskeland, G. (1994) "Air pollution and Mortality: Results from Santiago, Chile", Working Paper 1453, Policy Research Department, World Bank, Washington, DC. e da ISTAT (2000) *Popolazione e movimento anagrafico dei comuni. Anno 1998*, annuario statistico ISTAT n.11.

Nota: nelle colonne Minimo* e Massimo* sono raffigurati gli estremi dell'intervallo di confidenza del coefficiente stimato il cui valore è riportato nella colonna denominata "Centrale"

Comparando i coefficienti riportati nella Tav. 23 (Rowe) con quelli riassunti nella Tav. 27 (Ostro) si nota la forte similitudine delle stime ottenute dai due diversi studi.

Per calcolare il numero di casi imputabili all'inquinamento da trasporto stradale (suddivisi per tipo di sintomatologia) abbiamo moltiplicato il valore centrale di ciascun coefficiente per la rispettiva popolazione obiettivo²¹. I risultati che abbiamo ottenuto sono rappresentati nella Tav. 30.

Tav. - 30 - Numero di casi per tipo di sintomatologia (anno 1999)

Tipo di sintomatologia	Numero di casi
Ricoveri ospedalieri per problemi respiratori	7.812
Ricoveri Pronto Soccorso	153.251
Giornate di ridotta o mancata attività per persona*	27.917.793
Bronchite cronica adulti*	37.240
Sintomatologia leggera fra cui bruciore agli occhi e tosse	119.137.127
Bronchite cronica bambini*	71.869

Fonte: nostre elaborazioni su dati tratti da Ostro (1994) e da ISTAT (2000) *Popolazione e movimento anagrafico dei comuni. Anno 1998*, annuario statistico ISTAT n.11.

Nota: le stime sono state calcolate rispetto alla totalità della popolazione italiana, eccezion fatta per il numero di giornate di ridotta o mancata attività che è stato calcolato rispetto gli individui di età compresa fra i 15 ed i 65 anni, ove l'estremo inferiore dell'intervallo considerato è stato tratto da ExternE (1999, p. 176), i casi di bronchite cronica/adulti calcolati rispetto alla popolazione di età maggiore a 15 anni ed i casi di bronchite cronica/bambini calcolati rispetto alla popolazione di età inferiore a 15 anni.

Dalla Tav. 30 si evince come gli effetti più importanti (espressi in termini fisico-quantitativi) siano rappresentati dal numero di giornate di ridotta o mancata attività (per un valore pari a 28 milioni di

²¹ Ad esempio nel caso della bronchite cronica per i bambini è stata considerata la popolazione italiana con età inferiore a 15 anni, nel caso del numero di giornate di ridotta o mancata attività è stata considerata invece la popolazione con età compresa fra i 15 ed i 65 anni, in tutti gli altri casi è stata considerata l'intera popolazione italiana.

casi all'anno) e dal numero di casi di sintomatologie leggere afferenti il sistema respiratorio e gli occhi (con più di 119 milioni all'anno)²².

3.2 Valutazione monetaria della morbilità causata dal trasporto stradale

Per stimare il valore monetario dei casi di morbilità imputabili al trasporto su strada abbiamo utilizzato gli stessi costi unitari applicati nel paragrafo precedente (rappresentati nella Tav. 25)²³. I valori che abbiamo ottenuto sono riassunti nella Tav. 31.

Tav. - 31 - Costo della morbilità causata da 11,3 mg/m³ PM10 (concentrazione media di particolato dovuta al traffico stradale) in Mil Lire 1999.

Tipo di sintomatologia	Costo totale per sintomatologia
Ricoveri ospedalieri per problemi respiratori	218.673
Ricoveri Pronto Soccorso	161.956
Giornate di ridotta o mancata attività per persona	3.986.974
Bronchite cronica adulti	15.635.766
Sintomatologia leggera fra cui bruciore agli occhi e tosse	2.381.977
Totale	22.385.346

Fonte: nostre elaborazioni su dati tratti da Ostro (1994), da Pearce e Crowards (1995) e da ISTAT (2000) *Popolazione e movimento anagrafico dei comuni. Anno 1998*, annuario statistico ISTAT n.11.

Nota: non abbiamo considerato anche il costo della bronchite cronica dei bambini perché il relativo valore unitario non è contemplato in Pearce e Crowards (1996).

Dalla Tav. 31 si nota come il valore stimato (pari a 22.385 Mld lire 1999) resti nell'ordine di grandezza delle stime precedentemente condotte utilizzando i coefficienti tratti da Pearce e Croward (Tav. 26).

Per garantire maggiore completezza allo studio e per verificare se e come la stima dei costi totali sia influenzata dallo specifico valore del costo unitario impiegato, oltre che dal valore dei coefficienti delle funzioni dose risposta, abbiamo ricalcolato i costi totali utilizzando i costi unitari proposti in ExternE (1999). I risultati sono rappresentati nella Tav. 32.

Tav. - 32 - Costo della morbilità causata da 11,3 mg/m³ PM10 (concentrazione media di particolato dovuta al traffico stradale) in Mil Lire 1999.

Tipo di sintomatologia	Costo totale per sintomatologia
Ricoveri ospedalieri per problemi respiratori ^o	142.565
Ricoveri Pronto Soccorso ^o	79.244
Giornate di ridotta o mancata attività per persona ^o	4.855.151
Bronchite cronica adulti ^o	9.066.907
Sintomatologia leggera fra cui bruciore agli occhi e tosse	2.071.900
Bronchite cronica bambini*	37.496
Totale	16.031.454

Fonte: nostre elaborazioni su dati tratti da Ostro (1994), da ExternE (1999, Vol.7, p.258) e da ISTAT (2000) *Popolazione e movimento anagrafico dei comuni. Anno 1998*, annuario statistico ISTAT n.11.

Nota i valori qui impiegati sono stati calcolati sulla base della disponibilità a pagare (WTP).

L'adozione dei costi unitari per tipo di sintomatologia proposti da ExternE (1999) ha ridotto ulteriormente le stime iniziali dei costi totali sociali della morbilità causata dal particolato prodotto dal traffico stradale, anche se il valore stimato resta nell'ordine di grandezza dei valori precedenti (si effettuino i confronti rispetto la Tav. 31 e 32).

²² Si ricorda in questa sede come tale fenomeno possa comunque essere in parte causato dalla mancanza di univocità di definizione delle casistiche in questione (vi è un ampio margine di discrezionalità nello stabilire quali casi debbano essere inclusi nella voce sintomatologie leggere o giornate di ridotta attività).

²³ La procedura di stima adottata è del tutto analoga a quella descritta nel precedente paragrafo cui si rimanda per una descrizione più dettagliata dei singoli passaggi.

4. Stima basata su ExternE (1999)

4.1 La stima degli effetti del trasporto stradale sulla morbilità

Abbiamo infine applicato i coefficienti dose-risposta proposti in ExternE (1999, p. 91). Questa scelta è stata dettata tanto dall'esigenza di utilizzare un approccio metodologico condiviso a livello internazionale che consentisse il confronto fra le nostre stime e quelle calcolate per le altre realtà europee, quanto dalla consapevolezza che lo studio ExternE rappresenta quanto di più aggiornato si possa attualmente utilizzare per condurre questo tipo di analisi. Nella Tav. 33 sono riassunti i coefficienti dose risposta che abbiamo utilizzato.

Tav. – 33 - Coefficienti delle funzioni dose risposta per una variazione di 1 mg/m³ di PM₁₀, tratti da ExternE (1999).

Tipo di sintomatologia	Coefficienti
<i>Adulti Asmatici (Maggiori di 15 anni)</i>	
Uso di bronchiolitici	0,1630000
Tosse	0,1680000
Affezioni alle basse vie respiratorie	0,0610000
<i>Bambini Asmatici (Minori di 15 anni)</i>	
Uso di bronchiolitici	0,0780000
Tosse	0,1330000
Affezioni alle basse vie respiratorie	0,1030000
<i>Anziani (maggiori di 65 anni)</i>	
affezioni al sistema cardiaco	0,0000185
<i>Bambini (Minori di 15 anni)</i>	
Bronchite cronica	0,0016100
Tosse cronica	0,0020700
<i>Adulti (Maggiori di 15 anni)</i>	
Giorni di mancata o ridotta attività	0,0250000
Bronchite cronica	0,0000490
<i>Tutta la popolazione</i>	
Ricoveri ospedalieri	0,00000711

Fonte: European Commission, DGXII, Science, Research and Development (1999), *Externalities of Energy*, Methodology 1998 update, Vol. 7, p. 91, Brussels.

Moltiplicando tali coefficienti per la popolazione residente in Italia nel 1999 otteniamo il numero di casi per tipologia di impatto attribuibili al particolato prodotto dal trasporto stradale. I risultati cui siamo pervenuti sono riassunti nella Tav. 34.

Tav. – 34 - Numero di casi per tipo di sintomatologia causati da 11,3 mg/m³ PM₁₀ (concentrazione media di particolato dovuta al traffico stradale) (anno 1999)

Tipo di sintomatologia	N. casi
<i>Adulti Asmatici (Maggiori di 15 anni)</i>	
Uso di bronchiolitici	3.471.472
Tosse	3.577.959
Affezioni alle basse vie respiratorie	1.299.140
<i>Bambini Asmatici (Minori di 15 anni)</i>	
Uso di bronchiolitici	116.096
Tosse	197.959
Affezioni alle basse vie respiratorie	153.307
<i>Anziani (maggiori di 65 anni)</i>	
Affezioni al sistema cardiaco	2.275
<i>Bambini (Minori di 15 anni)</i>	
Bronchite cronica	68.467

Tosse cronica	88.029
<i>Adulti (Maggiori di 15 anni)</i>	
Giorni di mancata o ridotta attività	15.212.412
Bronchite cronica	29.816
<i>Tutta la popolazione</i>	
Ricoveri ospedalieri	4.629

Fonte: nostre elaborazioni su dati ExternE (1999, p.91) e ISTAT (2000) *Popolazione e movimento anagrafico dei comuni. Anno 1998*, annuario statistico ISTAT n.11, Roma.

I valori ricavati applicando i coefficienti ExternE risultano nettamente inferiori rispetto i valori precedentemente ottenuti. In realtà esistono delle eccezioni, ad esempio la sintomatologia definita come *bronchite cronica degli adulti* con un valore di base pari a 15,2 milioni di casi all'anno. Oltre a ciò va sottolineato come i coefficienti ExternE contemplino anche sintomatologie che non abbiamo potuto considerare sulla base dei coefficienti dose-risposta proposti da Pearce ed Ostro. In questo senso le stime riportate nella Tav. 34 dovrebbero essere più complete delle precedenti.

4.2 Valutazione monetaria della morbilità causata dal trasporto stradale

Per dare una stima monetaria del numero di casi di morbilità imputabili al trasporto stradale abbiamo moltiplicato tali valori per il relativo costo unitario come riportato in ExternE (1999). Nella Tav. 35 sono riassunti tanto i valori in ECU 1995, quanto quelli in Lire 1999²⁴.

Tav. – 35 - Costo unitario per ciascuna sintomatologia (ECU 1995 e Lire 1999)

<i>Tipo di sintomatologia</i>	<i>Costo unitario in ECU 1995</i>	<i>Costo unitario in Lire 1995</i>
<i>Adulti Asmatici (Maggiori di 15 anni)</i>		
Uso di bronchiolitici	37	85.795
Tosse	7	16.231
Affezioni alle basse vie respiratorie	7.5	17.391
<i>Bambini Asmatici (Minori di 15 anni)</i>		
Uso di bronchiolitici	37	85.795
Tosse	7	16.231
Affezioni alle basse vie respiratorie	7.5	17.391
<i>Anziani (maggiori di 65 anni)</i>		
Affezioni al sistema cardiaco	7870	18.248.830
<i>Bambini (Minori di 15 anni)</i>		
Bronchite cronica	225	521.726
Tosse cronica	225	521.726
<i>Adulti (Maggiori di 15 anni)</i>		
Giorni di mancata o ridotta attività	75	173.909
Bronchite cronica	105000	24.347.2315
<i>Tutta la popolazione</i>		
Ricoveri ospedalieri	7870	18.248.830

Fonte: European Commission, DGXII, Science, Research and Development (1999), *Externalities of Energy, Methodology 1998 update*, Vol. 7, p. 91, Brussels.

Nota i valori qui impiegati sono stati calcolati sulla base della disponibilità a pagare (WTP).

²⁴ Per convertire i costi unitari in Lire 1999 abbiamo applicato il tasso di cambio ECU'95/Lire'95 ed abbiamo quindi moltiplicato i valori ottenuti per il tasso di inflazione italiano '95-'99.

Nella Tav. 36 sono riportati i valori complessivi per tipo di sintomatologia calcolati moltiplicando i valori delle Tav. 35 e 34. Poiché, ove possibile, abbiamo utilizzato questi stessi costi unitari anche per stimare il numero di casi di morbilità derivanti dall'applicazione di Ostro (1994), i due ordini di risultati dovrebbero essere confrontabili.

Tav. - 36 - Costo della morbilità causata da 11,3 mg/m³ PM₁₀ (concentrazione media di particolato dovuta al traffico stradale) in Mil Lire 1999.

<i>Tipo di sintomatologia</i>	<i>Costo totale per sintomatologia espresso in Mil Lire 99</i>
<i>Adulti Asmatici (Maggiori di 15 anni)</i>	
Uso di bronchiolitici	297.835
Tosse	58.076
Affezioni alle basse vie respiratorie	22.593
<i>Bambini Asmatici (Minori di 15 anni)</i>	
Uso di bronchiolitici	9.960
Tosse	3.213
Affezioni alle basse vie respiratorie	2.666
<i>Anziani (maggiori di 65 anni)</i>	
Affezioni al sistema cardiaco	41.515
<i>Bambini (Minori di 15 anni)</i>	
Bronchite cronica	35.721
Tosse cronica	45.927
<i>Adulti (Maggiori di 15 anni)</i>	
Giorni di mancata o ridotta attività	2.645.572
Bronchite cronica	7.259.450
<i>Tutta la popolazione</i>	
Ricoveri ospedalieri	84.470
Totale	10.506.999

Osservando i valori riportati nella Tav. 36 si verifica come la maggior parte dei costi sociali totali della morbilità imputabile al traffico sia costituita dalle giornate di mancata o ridotta attività (2.645 Mld Lire) e dai casi di bronchite cronica relativi alla popolazione adulta (7.259 Mld Lire), questi, infatti, rappresentano più del 90% del costo totale della morbilità.

5. Confronto dei risultati ottenuti

Per stimare il valore del beneficio sociale che la collettività otterrebbe dall'eliminazione totale (per un anno intero) dell'inquinamento prodotto dal traffico, abbiamo moltiplicando i coefficienti dose-risposta proposti da Pearce e Crowards (1996), Ostro (1994) ed ExternE (1999), per la popolazione indagata e per il costo unitario attribuito a ciascuna sintomatologia come da Pearce e Crowards (1996) ed ExternE (1999). Nella Tav. 37 sono riassunti i risultati che abbiamo ottenuto.

Tav. - 37 - Benefici della riduzione annuale di 11,3 µg/m³ di PM₁₀

<i>Studio di riferimento per i coefficienti dose-risposta</i>	<i>Studio di riferimento per i costi unitari per sintomatologia</i>	<i>Valori monetari complessivi Base</i>
Pearce e Crowards(1996)	Pearce e Crowards(1996)	26.014.837
Ostro (1994)	Pearce e Crowards(1996)	22.385.346
Ostro (1994)	ExternE (1999)	16.031.454
ExternE (1999)	ExternE (1999)	10.506.999

Dalla Tav. 37 si evince come il valore della morbilità complessivamente imputabile al trasporto vari a 10.507 Mld Lire a 26.014 Mld Lire in funzione dei coefficienti dose risposta utilizzati e del costo unitario per tipo di sintomatologia considerato.

La variabilità delle stime è dettata anche dal fatto che l'insieme delle sintomatologie stimate nei tre studi non è sempre uguale. Ad esempio applicando l'approccio inglese si considerano le voci *problemi respiratori e attacchi d'asma* che non sono, invece, comprese fra quelle contemplate nello studio di Ostro (1994).

Fra i quattro ordini di stime che abbiamo calcolato, comunque, preferiamo attribuire maggiore rilevanza a quelle ottenute applicando i coefficienti ed i parametri riportati nello studio ExternE. Tale studio, infatti, prende in esame una gamma più ampia di sintomatologie, inoltre rappresenta uno degli esempi più aggiornati e completi della metodologia di stima dell'impatto dell'inquinamento atmosferico sullo stato di salute pubblica. Si tratta, infine, di uno dei pochi rapporti compilati appositamente per uniformare le tecniche di stima all'interno del contesto europeo, caratteristica che consente la confrontabilità dei risultati nazionali calcolati sulla base dei parametri in esso riportati.

Conclusioni

Il costo dell'inquinamento atmosferico attribuibile ai trasporti si può riassumere in costo della mortalità prematura e costo della morbilità.

In base ai dati disponibile ed alle nostre conoscenze, siamo giunti alle seguenti conclusioni:

- il livello di concentrazione medio nazionale di PM₁₀ nel 1999 è pari a 32,27 µg/m³. Tale stima rappresenta la media ponderata di un campione rappresentativo di città di varie dimensioni;
- nel 1999, il livello di concentrazione medio nazionale di PM₁₀ imputabile al trasporto stradale è pari a 11,3 µg/m³. Il valore è ottenuto ipotizzando un coefficiente di imputabilità pari a 0,35.

Relativamente alla mortalità, applicando questi valori alla funzione dose-reazione basata sui dati di coorte prospettica ed utilizzando la tavola nazionale di mortalità, si ottiene una stima degli anni di vita persi pari a 20.414.110. Se in Italia ci fosse una riduzione dell'inquinamento atmosferico permanente pari a 10 µg/m³, il un beneficio monetario che la popolazione italiana ne ricaverebbe sarebbe pari a 4 milioni di miliardi di lire.

Il beneficio derivante da una riduzione annuale di tutto l'inquinamento atmosferico da particolato imputabile al trasporto è invece pari a 21.856 anni di vita persi, valutabili in termini monetari con un valore compreso fra 3.731 e 6.061 Mld di Lire, a seconda del tasso di sconto considerato.

Relativamente al costo annuale della morbilità, la stima, a nostro avviso più attendibile, è di 10.507 Mld di Lire (stima basata sui parametri ExternE, 1999).

Ne risulta quindi che il costo totale di un anno di esposizione a 11,3 µg/m³ di PM₁₀ è pari ad un valore compreso tra 14.238 e 16.568 Mld di Lire (0,66-0,77% del PIL). Questi valori sono decisamente inferiori a quelli precedentemente stimati per l'Italia e riassunti nella tavola seguente.

Tav. - 38 - Stime del costo dell'inquinamento atmosferico in Italia (Mld Lire 1999)

<i>Danielis e Chiabai (1998)</i>	<i>Amici della Terra (1999)</i>	<i>Nostre stime</i>
<i>anno 1992</i>	<i>anno 1997</i>	<i>anno 1999</i>
32.122 ^a	78.172 ^b	14.238 – 16.568

^a Non comprende il costo della morbilità.

^b Considera tutti gli inquinanti.

Nonostante i valori siano poco confrontabili perché la stima Danielis e Chiabai (1998) non comprende il costo della morbilità e la stima Amici della Terra (1999) rappresenta la somma del costo complessivo considerando tutti gli inquinanti, la stima da noi ottenuta è decisamente contenuta fondamentalmente a causa del fatto che si basa sulla stima degli anni di vita persi piuttosto che meramente sul numero dei decessi.

Appendice Statistica

1. Dati demografici

Tav. - A1 - Popolazione residente per dimensione del comune di residenza Anno 1998

<i>Classe dimensionale</i>	<i>Popolazione residente</i>	<i>Classi dimensionali aggregate</i>	<i>Popolazione pop. residente</i>	<i>Decessi Nazionale</i>	<i>Classi aggregate</i>	<i>Popolazione residente</i>
fino a 500	259136					
501-1000	847586					
1001-2000	2472589					
2001-3000	2474699					
3001-4000	2422227					
4001-5000	2233862					
5001-10000	8253652	fino a 10000	18963751	201829		
10001-15000	5201278					
15001-20000	3127090					
20001-30000	4414035					
30001-40000	3530071					
40001-50000	2101260	10001-50000	18373734	166644	fino a 50000	37337485
50001-65000	3026622					
65001-80000	1357602					
80001-100000	2349157	50001-100000	6733381	63615		
100001-250000	4092749	100001-250000	4092749	43063		
25001-500000	2236982	250001-500000	2236982	25151	50-500000	13063112
oltre 500000	7212018	oltre 500000	7212018	76609	oltre 500000	7212018
Totale Italia	57612615			576911		

Fonte: "Popolazione e movimento anagrafico dei comuni. Anno 1998", annuario ISTAT n.11, 2000

Tav. - A2 - Tavole della mortalità popolazione maschile italiana Anno 1992

<i>Età</i>	<i>Prob. di morte x 1000</i>	<i>Sopravvivenuti stimati</i>	<i>Decessi</i>	<i>Anni vissuti per classe di età</i>	<i>Speranza di vita</i>
x	qx (x1000)	lx	dx	Lx	ex
0	8.7877	100000	879	99143	73.79
1	0.4612	99121	46	99098	73.44
2	0.3322	99076	33	99059	72.48
3	0.2532	99043	25	99030	71.50
4	0.2094	99018	21	99007	70.52
5	0.2007	98997	20	98987	69.53
6	0.2033	98977	20	98967	68.55
7	0.1994	98957	20	98947	67.56
8	0.194	98937	19	98927	66.57
9	0.1892	98918	19	98909	65.59
10	0.1789	98899	18	98890	64.60
11	0.1742	98881	17	98873	63.61
12	0.2106	98864	21	98854	62.62
13	0.2573	98843	25	98831	61.63
14	0.3755	98818	37	98799	60.65
15	0.5452	98781	54	98754	59.67
16	0.743	98727	73	98690	58.70
17	0.8794	98654	87	98610	57.75
18	0.9864	98567	97	98518	56.80
19	1.0384	98470	102	98419	55.85

20	1.0782	98367	106	98314	54.91
21	1.1284	98261	111	98206	53.97
22	1.1841	98151	116	98092	53.03
23	1.1895	98034	117	97976	52.09
24	1.2078	97918	118	97859	51.15
25	1.2564	97799	123	97738	50.22
26	1.3008	97677	127	97613	49.28
27	1.3637	97549	133	97483	48.34
28	1.4458	97416	141	97346	47.41
29	1.5095	97276	147	97202	46.47
30	1.5451	97129	150	97054	45.54
31	1.5805	96979	153	96902	44.61
32	1.5708	96825	152	96749	43.68
33	1.5346	96673	148	96599	42.75
34	1.5108	96525	146	96452	41.82
35	1.5008	96379	145	96307	40.88
36	1.4961	96234	144	96162	39.94
37	1.5349	96091	147	96017	39.00
38	1.6062	95943	154	95866	38.06
39	1.6483	95789	158	95710	37.12
40	1.7433	95631	167	95548	36.18
41	1.891	95464	181	95374	35.24
42	2.0615	95284	196	95186	34.31
43	2.2514	95087	214	94980	33.38
44	2.4813	94873	235	94756	32.45
45	2.6965	94638	255	94510	31.53
46	3.0236	94383	285	94240	30.61
47	3.4532	94097	325	93935	29.71
48	3.85	93772	361	93592	28.81
49	4.2335	93411	395	93214	27.92
50	4.5824	93016	426	92803	27.03
51	4.9605	92590	459	92360	26.15
52	5.4827	92130	505	91878	25.28
53	6.1748	91625	566	91342	24.42
54	6.8995	91059	628	90745	23.57
55	7.7761	90431	703	90080	22.73
56	8.6787	89728	779	89339	21.90
57	9.6772	88949	861	88519	21.09
58	10.8163	88089	953	87612	20.29
59	12.0567	87136	1051	86610	19.51
60	13.4047	86085	1154	85508	18.74
61	14.8559	84931	1262	84300	17.99
62	16.433	83669	1375	82982	17.25
63	18.1074	82295	1490	81549	16.53
64	19.9894	80804	1615	79997	15.83
65	22.0372	79189	1745	78317	15.14
66	24.198	77444	1874	76507	14.47
67	26.285	75570	1986	74577	13.82
68	28.5902	73584	2104	72532	13.17
69	31.0235	71480	2218	70371	12.55
70	34.2388	69262	2371	68077	11.93
71	36.9911	66891	2474	65654	11.34
72	40.2865	64417	2595	63119	10.76
73	43.7685	61821	2706	60469	10.19
74	47.8673	59116	2830	57701	9.63

75	52.6235	56286	2962	54805	9.09
76	58.1536	53324	3101	51773	8.57
77	63.3359	50223	3181	48632	8.06
78	69.4689	47042	3268	45408	7.57
79	76.6855	43774	3357	42096	7.10
80	84.8398	40417	3429	38703	6.65
81	94.8519	36988	3508	35234	6.22
82	105.0429	33480	3517	31721	5.82
83	115.9765	29963	3475	28226	5.45
84	127.6466	26488	3381	24797	5.09
85	140.5346	23107	3247	21483	4.77
86	153.7456	19860	3053	18333	4.46
87	166.5867	16806	2800	15406	4.18
88	179.6023	14007	2516	12749	3.92
89	193.2082	11491	2220	10381	3.67
90	207.964	9271	1928	8307	3.43
91	227.6959	7343	1672	6507	3.20
92	244.6201	5671	1387	4977	2.99
93	262.5071	4284	1124	3721	2.80
94	281.3706	3159	889	2715	2.62
95	301.2148	2270	684	1928	2.45
96	322.0535	1586	511	1331	2.29
97	343.8909	1076	370	891	2.14
98	366.7017	706	259	576	2.00
99	390.4802	447	175	360	1.87
100	415.191	272	113	216	1.75
101	440.7888	159	70	124	1.63
102	467.2083	89	42	68	1.53
103	494.3935	47	23	36	1.43
104	522.2488	24	13	18	1.33
105	550.668	11	6	8	1.24
106	579.5243	5	3	4	1.14
107	608.7005	2	1	2	1.03
108	638.0286	1	1	1	0.86
109	667.3398	0	0	0	0.50

Fonte: Tavole di mortalità e tavole attuariali della popolazione al 1992, ISTAT collana Note e relazioni, anno 1996 n. 1

Tav. - A3 - Tavole della mortalità popolazione maschile italiana Anno 1992 modificate ipotizzando una riduzione permanente del livello di concentrazione media nazionale di $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ di PM_{10} .

Età	<i>Prob morte depurata del MRR per 10 mg/m³ di PM₁₀ x 1.000</i>	<i>Sopravvivenzi stimati al netto dei decessi causati da 10 mg/m³ di PM₁₀</i>	<i>Decessi al netto dei morti causati da 10 mg/m³ di PM₁₀</i>	<i>Anni vissuti al netto degli effetti di 10 mg/m³ di PM₁₀</i>	<i>Speranza di vita al netto degli effetti di 10 mg/m³ di PM₁₀</i>
	qx (x1000)	lx	dx	Lx	ex
1	8.438352	100000	844	99177	74.27
2	0.442865	99156	44	99134	73.90
3	0.318994	99112	32	99096	72.93
4	0.243134	99081	24	99069	71.95
5	0.201075	99057	20	99047	70.97
6	0.192721	99037	19	99027	69.99
7	0.195218	99018	19	99008	69.00
7	0.191473	98998	19	98989	68.01

8	0.186288	98979	18	98970	67.03
9	0.181679	98961	18	98952	66.04
10	0.171788	98943	17	98934	65.05
11	0.167275	98926	17	98918	64.06
12	0.202228	98909	20	98899	63.07
13	0.247071	98889	24	98877	62.08
14	0.360572	98865	36	98847	61.10
15	0.523526	98829	52	98803	60.12
16	0.713463	98777	70	98742	59.15
17	0.84444	98707	83	98665	58.19
18	0.947186	98624	93	98577	57.24
19	0.997119	98530	98	98481	56.30
20	1.035337	98432	102	98381	55.35
21	1.083541	98330	107	98277	54.41
22	1.137027	98224	112	98168	53.47
23	1.142212	98112	112	98056	52.53
24	1.159785	98000	114	97943	51.59
25	1.206453	97886	118	97827	50.65
26	1.249088	97768	122	97707	49.71
27	1.309487	97646	128	97582	48.77
28	1.388323	97518	135	97450	47.83
29	1.449491	97383	141	97312	46.90
30	1.483676	97241	144	97169	45.97
31	1.517669	97097	147	97024	45.03
32	1.508354	96950	146	96877	44.10
33	1.473593	96804	143	96732	43.17
34	1.450739	96661	140	96591	42.23
35	1.441137	96521	139	96451	41.29
36	1.436624	96382	138	96312	40.35
37	1.473881	96243	142	96172	39.41
38	1.542347	96101	148	96027	38.46
39	1.582773	95953	152	95877	37.52
40	1.673997	95801	160	95721	36.58
41	1.815825	95641	174	95554	35.64
42	1.979547	95467	189	95373	34.71
43	2.161897	95278	206	95175	33.77
44	2.382658	95072	227	94959	32.85
45	2.589303	94846	246	94723	31.92
46	2.903399	94600	275	94463	31.00
47	3.315921	94325	313	94169	30.09
48	3.696946	94013	348	93839	29.19
49	4.065201	93665	381	93475	28.30
50	4.40023	93284	410	93079	27.41
51	4.763299	92874	442	92653	26.53
52	5.26474	92432	487	92188	25.66
53	5.929326	91945	545	91672	24.79
54	6.625216	91400	606	91097	23.93
55	7.466968	90794	678	90455	23.09
56	8.333685	90116	751	89741	22.26
57	9.292491	89365	830	88950	21.44
58	10.38631	88535	920	88075	20.64
59	11.5774	87615	1014	87108	19.85
60	12.87181	86601	1115	86044	19.08
61	14.26532	85486	1219	84876	18.32
62	15.77972	84267	1330	83602	17.58

63	17.38756	82937	1442	82216	16.85
64	19.19474	81495	1564	80713	16.14
65	21.16113	79931	1691	79085	15.45
66	23.23603	78239	1818	77330	14.77
67	25.24006	76421	1929	75457	14.11
68	27.45362	74492	2045	73470	13.46
69	29.79019	72447	2158	71368	12.83
70	32.87766	70289	2311	69134	12.21
71	35.52055	67978	2415	66771	11.60
72	38.68494	65563	2536	64295	11.01
73	42.02852	63027	2649	61703	10.44
74	45.96437	60378	2775	58991	9.87
75	50.5315	57603	2911	56148	9.32
76	55.84175	54692	3054	53165	8.79
77	60.81803	51638	3141	50068	8.28
78	66.70722	48498	3235	46880	7.79
79	73.63693	45262	3333	43596	7.31
80	81.46706	41929	3416	40222	6.85
81	91.08114	38514	3508	36760	6.41
82	100.867	35006	3531	33240	6.00
83	111.3659	31475	3505	29722	5.62
84	122.5721	27970	3428	26255	5.26
85	134.9478	24541	3312	22885	4.93
86	147.6336	21230	3134	19662	4.62
87	159.9642	18095	2895	16648	4.33
88	172.4624	15201	2622	13890	4.06
89	185.5274	12579	2334	11412	3.81
90	199.6966	10245	2046	9222	3.56
91	218.644	8199	1793	7303	3.32
92	234.8954	6407	1505	5654	3.11
93	252.0713	4902	1236	4284	2.91
94	270.1849	3666	991	3171	2.73
95	289.2403	2676	774	2289	2.55
96	309.2505	1902	588	1608	2.39
97	330.2198	1314	434	1097	2.24
98	352.1238	880	310	725	2.09
99	374.957	570	214	463	1.96
100	398.6854	356	142	285	1.83
101	423.2656	214	91	169	1.71
102	448.6348	124	55	96	1.60
103	474.7393	68	32	52	1.50
104	501.4872	36	18	27	1.40
105	528.7766	18	9	13	1.30
106	556.4858	8	5	6	1.20
107	584.5021	4	2	3	1.08
108	612.6643	2	1	1	0.89
109	640.8103	1	1	0	0.50

Fonte: Tavole di mortalità e tavole attuariali della popolazione al 1992, ISTAT collana Note e relazioni, anno 1996 n.1

Nota: ove il MRR pari a 1,0414 impiegato per modificare la probabilità di morte, q_x , è tratto da Pope, 1995.

Tav. – A4 – Tavole della mortalità popolazione femminile italiana Anno 1992

Età	Prob. di morte x 1000	Sopravvivenenti stimati	Decessi	Anni vissuti per classe di età	Speranza di vita
x	qx (x1000)	lx	dx	Lx	ex
0	6.9066	100000	691	99338	80.35
1	0.447	99309	44	99287	79.91
2	0.3035	99265	30	99250	78.95
3	0.2214	99235	22	99224	77.97
4	0.175	99213	17	99204	76.99
5	0.1513	99195	15	99188	76.00
6	0.1396	99180	14	99174	75.01
7	0.1283	99167	13	99160	74.03
8	0.1134	99154	11	99148	73.03
9	0.1173	99143	12	99137	72.04
10	0.1335	99131	13	99124	71.05
11	0.1349	99118	13	99111	70.06
12	0.155	99104	15	99097	69.07
13	0.1725	99089	17	99081	68.08
14	0.1954	99072	19	99062	67.09
15	0.2216	99053	22	99042	66.11
16	0.2523	99031	25	99018	65.12
17	0.2753	99006	27	98992	64.14
18	0.2976	98978	29	98964	63.15
19	0.3136	98949	31	98933	62.17
20	0.3123	98918	31	98902	61.19
21	0.3041	98887	30	98872	60.21
22	0.295	98857	29	98842	59.23
23	0.3137	98828	31	98812	58.25
24	0.3366	98797	33	98780	57.26
25	0.379	98764	37	98745	56.28
26	0.4167	98726	41	98706	55.30
27	0.4432	98685	44	98663	54.33
28	0.4669	98641	46	98618	53.35
29	0.501	98595	49	98570	52.38
30	0.5266	98546	52	98520	51.40
31	0.5485	98494	54	98467	50.43
32	0.5641	98440	56	98412	49.46
33	0.5879	98384	58	98355	48.48
34	0.6005	98327	59	98297	47.51
35	0.6326	98267	62	98236	46.54
36	0.6738	98205	66	98172	45.57
37	0.7239	98139	71	98104	44.60
38	0.7707	98068	76	98030	43.63
39	0.8391	97993	82	97951	42.67
40	0.9836	97910	96	97862	41.70
41	0.9727	97814	95	97766	40.74
42	1.0557	97719	103	97667	39.78
43	1.1754	97616	115	97558	38.82
44	1.2898	97501	126	97438	37.87
45	1.4306	97375	139	97306	36.92
46	1.5963	97236	155	97158	35.97
47	1.8001	97081	175	96993	35.02
48	1.9676	96906	191	96811	34.09
49	2.1273	96715	206	96612	33.15
50	2.2722	96509	219	96400	32.22

51	2.462	96290	237	96172	31.29
52	2.6933	96053	259	95924	30.37
53	2.992	95794	287	95651	29.45
54	3.2817	95508	313	95351	28.54
55	3.5693	95194	340	95024	27.63
56	3.9267	94855	372	94668	26.73
57	4.3345	94482	410	94277	25.83
58	4.7912	94073	451	93847	24.94
59	5.2732	93622	494	93375	24.06
60	5.7387	93128	534	92861	23.18
61	6.2669	92594	580	92304	22.31
62	6.8924	92013	634	91696	21.45
63	7.6524	91379	699	91030	20.60
64	8.5031	90680	771	90294	19.75
65	9.4559	89909	850	89484	18.92
66	10.463	89059	932	88593	18.09
67	11.5742	88127	1020	87617	17.28
68	12.9927	87107	1132	86541	16.48
69	14.5992	85975	1255	85348	15.69
70	16.4807	84720	1396	84022	14.91
71	18.3743	83324	1531	82558	14.15
72	20.4228	81793	1670	80958	13.41
73	22.7017	80122	1819	79213	12.68
74	25.5401	78303	2000	77303	11.96
75	28.8796	76304	2204	75202	11.26
76	32.7692	74100	2428	72886	10.58
77	37.1538	71672	2663	70340	9.92
78	42.023	69009	2900	67559	9.29
79	47.7393	66109	3156	64531	8.67
80	54.2377	62953	3414	61246	8.08
81	62.2396	59538	3706	57686	7.52
82	71.015	55833	3965	53850	6.98
83	80.8858	51868	4195	49770	6.48
84	91.3357	47672	4354	45495	6.00
85	103.1417	43318	4468	41084	5.56
86	116.3023	38850	4518	36591	5.14
87	129.8571	34332	4458	32103	4.75
88	144.2508	29874	4309	27719	4.38
89	159.6838	25564	4082	23523	4.04
90	176.5906	21482	3794	19585	3.71
91	200.6452	17689	3549	15914	3.39
92	221.4047	14140	3131	12574	3.12
93	243.9082	11009	2685	9666	2.87
94	268.207	8324	2232	7208	2.63
95	294.3627	6091	1793	5195	2.41
96	322.3988	4298	1386	3605	2.21
97	352.3393	2912	1026	2399	2.02
98	384.1311	1886	725	1524	1.85
99	417.7299	1162	485	919	1.69
100	453.0138	676	306	523	1.55
101	489.8301	370	181	279	1.42
102	527.9561	189	100	139	1.30
103	567.1066	89	51	64	1.19
104	606.9715	39	23	27	1.09
105	647.1471	15	10	10	1.00

106	687.1743	5	4	4	0.92
107	726.5872	2	1	1	0.84
108	764.8657	0	0	0	0.74
109	801.494	0	0	0	0.50

Fonte: Tavole di mortalità e tavole attuariali della popolazione al 1992, ISTAT collana Note e relazioni, anno 1996 n.1

Tav. - A5 - Tavole della mortalità popolazione femminile italiana Anno 1992 modificate in funzione di una riduzione permanente del livello di concentrazione media nazionale di $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ di PM_{10} .

Età	<i>Prob morte depurata del MRR per 10 mg/m³ di PM₁₀ x 1.000</i>	<i>Sopravvivenuti stimati al netto dei decessi causati da 10 mg/m³ PM10</i>	<i>Decessi al netto dei morti causati da 10 mg/m³ di PM10</i>	<i>Anni vissuti al netto degli effetti di 10 mg/m³ di PM10</i>	<i>Speranza di vita al netto degli effetti di 10 mg/m³ di PM10</i>
	qx (x1000)	lx	dx	Lx	ex
1	6.632034	100000	663	99353	80.75
2	0.42923	99337	43	99315	80.29
3	0.291435	99294	29	99280	79.33
4	0.212598	99265	21	99255	78.35
5	0.168043	99244	17	99236	77.37
6	0.145285	99227	14	99220	76.38
7	0.13405	99213	13	99206	75.39
8	0.1232	99200	12	99194	74.40
9	0.108892	99188	11	99182	73.41
10	0.112637	99177	11	99171	72.42
11	0.128193	99166	13	99159	71.42
12	0.129537	99153	13	99146	70.43
13	0.148838	99140	15	99133	69.44
14	0.165642	99125	16	99117	68.45
15	0.187632	99109	19	99100	67.46
16	0.21279	99090	21	99080	66.48
17	0.24227	99069	24	99057	65.49
18	0.264356	99045	26	99032	64.51
19	0.285769	99019	28	99005	63.52
20	0.301133	98991	30	98976	62.54
21	0.299885	98961	30	98946	61.56
22	0.292011	98931	29	98917	60.58
23	0.283273	98902	28	98888	59.60
24	0.301229	98874	30	98859	58.61
25	0.323219	98844	32	98828	57.63
26	0.363933	98813	36	98795	56.65
27	0.400134	98777	40	98757	55.67
28	0.425581	98737	42	98716	54.69
29	0.448339	98695	44	98673	53.71
30	0.481083	98651	47	98627	52.74
31	0.505665	98603	50	98578	51.76
32	0.526695	98553	52	98527	50.79
33	0.541675	98502	53	98475	49.82
34	0.564529	98448	56	98420	48.84
35	0.576628	98393	57	98364	47.87
36	0.607452	98336	60	98306	46.90
37	0.647014	98276	64	98244	45.93

37	0.695122	98213	68	98178	44.95
38	0.740061	98144	73	98108	43.99
39	0.805742	98072	79	98032	43.02
40	0.944498	97993	93	97946	42.05
41	0.934031	97900	91	97854	41.09
42	1.013732	97809	99	97759	40.13
43	1.128673	97709	110	97654	39.17
44	1.238525	97599	121	97539	38.21
45	1.373728	97478	134	97411	37.26
46	1.53284	97344	149	97270	36.31
47	1.728539	97195	168	97111	35.37
48	1.88938	97027	183	96936	34.43
49	2.042731	96844	198	96745	33.49
50	2.181871	96646	211	96541	32.56
51	2.364125	96435	228	96321	31.63
52	2.58623	96207	249	96083	30.70
53	2.873056	95958	276	95821	29.78
54	3.151239	95683	302	95532	28.86
55	3.427405	95381	327	95218	27.95
56	3.770597	95054	358	94875	27.05
57	4.162186	94696	394	94499	26.15
58	4.60073	94302	434	94085	25.26
59	5.063568	93868	475	93630	24.37
60	5.510563	93393	515	93135	23.49
61	6.017765	92878	559	92598	22.62
62	6.618398	92319	611	92013	21.75
63	7.348185	91708	674	91371	20.89
64	8.165066	91034	743	90662	20.05
65	9.079988	90291	820	89881	19.21
66	10.04705	89471	899	89021	18.38
67	11.11408	88572	984	88080	17.56
68	12.47619	87588	1093	87041	16.75
69	14.01882	86495	1213	85889	15.96
70	15.82552	85282	1350	84607	15.18
71	17.64384	83933	1481	83192	14.41
72	19.61091	82452	1617	81643	13.66
73	21.79921	80835	1762	79954	12.93
74	24.52477	79073	1939	78103	12.20
75	27.73152	77133	2139	76064	11.50
76	31.46649	74994	2360	73815	10.81
77	35.67678	72635	2591	71339	10.15
78	40.35241	70043	2826	68630	9.50
79	45.84146	67217	3081	65676	8.88
80	52.08152	64136	3340	62465	8.28
81	59.76532	60795	3633	58979	7.71
82	68.19186	57162	3898	55213	7.17
83	77.67025	53264	4137	51195	6.66
84	87.70472	49127	4309	46972	6.18
85	99.04139	44818	4439	42599	5.72
86	111.6788	40379	4510	38125	5.30
87	124.6947	35870	4473	33633	4.90
88	138.5162	31397	4349	29223	4.52
89	153.3357	27048	4147	24974	4.17
90	169.5704	22901	3883	20959	3.84
91	192.6687	19017	3664	17185	3.52

92	212.6029	15353	3264	13721	3.24
93	234.2118	12089	2831	10673	2.98
94	257.5447	9258	2384	8066	2.73
95	282.6606	6873	1943	5902	2.51
96	309.5821	4931	1526	4167	2.30
97	338.3323	3404	1152	2828	2.11
98	368.8603	2252	831	1837	1.93
99	401.1234	1422	570	1136	1.77
100	435.0046	851	370	666	1.62
101	470.3573	481	226	368	1.49
102	506.9676	255	129	190	1.36
103	544.5617	126	68	91	1.25
104	582.8418	57	33	41	1.15
105	621.4203	24	15	16	1.06
106	659.8563	9	6	6	0.97
107	697.7023	3	2	2	0.88
108	734.4591	1	1	1	0.77
109	769.6313	0	0	0	0.50

Fonte: Tavole di mortalità e tavole attuariali della popolazione al 1992, ISTAT collana Note e relazioni, anno 1996 n.1

Nota: ove il MRR pari a 1,0414 impiegato per modificare la probabilità di morte, qx, è tratto da Pope, 1995.

Tav. – A6 – Variazione della speranza di vita derivante da una riduzione permanente di PM₁₀ pari a 10 µg/m³ rispetto il livello corrente (anno 1999, popolazione maschile).

Età	Speranza di vita	Speranza di vita al netto degli effetti di 10 mg/m ³ di PM10	Differenza fra la speranza di vita calcolata al lordo ed al netto di 10 mg/m ³ di PM10	Popolazione maschile italiana per classe di età nel 1999	Anni di vita attesi persi a causa di 10 mg/m ³ di PM10 per ciascuna classe di età
0	73.78778	74.26692	0.48	272714	130667.79
1	73.44174	73.89873	0.46	275173	125753.39
2	72.47539	72.93125	0.46	272468	124207.66
3	71.49931	71.95437	0.46	271826	123695.99
4	70.51729	70.97174	0.45	275244	125085.03
5	69.53196	69.98592	0.45	282048	128038.43
6	68.54581	68.99931	0.45	292910	132833.58
7	67.55965	68.01268	0.45	292105	132333.67
8	66.57302	67.02561	0.45	294716	133385.39
9	65.58585	66.03801	0.45	291083	131617.29
10	64.59816	65.04992	0.45	295740	133602.49
11	63.60963	64.06101	0.45	287414	129732.40
12	62.62063	63.07164	0.45	288058	129918.91
13	61.63371	62.0843	0.45	297702	134140.77
14	60.64945	61.09952	0.45	303193	136459.02
15	59.67204	60.12138	0.45	310723	139619.31
16	58.70432	59.15261	0.45	318981	142995.49
17	57.7476	58.19448	0.45	321762	143791.18
18	56.79798	57.24324	0.45	328719	146365.30
19	55.85357	56.29704	0.44	341325	151367.35
20	54.91111	55.35273	0.44	362294	159997.29
21	53.96984	54.40958	0.44	377329	165927.92
22	53.03024	53.46806	0.44	397894	174204.54

23	52.09252	52.52835	0.44	420544	183288.35
24	51.15396	51.58785	0.43	442460	191978.67
25	50.21521	50.64717	0.43	443480	191563.49
26	49.27776	49.70774	0.43	449721	193374.50
27	48.34129	48.76928	0.43	457074	195626.13
28	47.40662	47.83258	0.43	454975	193799.90
29	46.47453	46.89838	0.42	470824	199556.75
30	45.54404	45.96573	0.42	468912	197737.35
31	44.61374	45.03329	0.42	475035	199298.72
32	43.68357	44.10098	0.42	489064	204136.63
33	42.75151	43.16684	0.42	489896	203467.66
34	41.81645	42.22981	0.41	498527	206069.03
35	40.87897	41.29044	0.41	466918	192121.58
36	39.93966	40.34931	0.41	452620	185413.56
37	38.99875	39.40664	0.41	443952	181079.95
38	38.05794	38.46406	0.41	430725	174929.34
39	37.11836	37.52271	0.40	422579	170869.50
40	36.17882	36.5814	0.40	403541	162458.75
41	35.24112	35.6419	0.40	402574	161342.37
42	34.30694	34.70583	0.40	396206	158040.48
43	33.37678	33.77368	0.40	390487	154981.93
44	32.45097	32.84577	0.39	385477	152185.66
45	31.53044	31.92302	0.39	371705	145921.76
46	30.61434	31.00459	0.39	366908	143185.56
47	29.70567	30.09342	0.39	367182	142372.71
48	28.80688	29.19187	0.38	383713	147728.60
49	27.91628	28.29834	0.38	387549	148067.32
50	27.03284	27.41181	0.38	406274	153964.73
51	26.15498	26.53075	0.38	400132	150355.78
52	25.28288	25.65533	0.37	402605	149952.31
53	24.41951	24.78847	0.37	313026	115496.02
54	23.56812	23.93335	0.37	323438	118127.20
55	22.72839	23.08963	0.36	327153	118182.64
56	21.90259	22.25958	0.36	325951	116359.95
57	21.08996	21.44244	0.35	328789	115889.77
58	20.29116	20.63887	0.35	361216	125597.37
59	19.50757	19.85023	0.34	358022	122680.89
60	18.73954	19.07688	0.34	349260	117821.81
61	17.98735	18.31912	0.33	324119	107531.55
62	17.25106	17.57699	0.33	305068	99431.32
63	16.53093	16.85078	0.32	313084	100140.82
64	15.82656	16.14012	0.31	304470	95467.24
65	15.13918	15.4462	0.31	297500	91337.69
66	14.46906	14.76931	0.30	284876	85536.09
67	13.81546	14.10876	0.29	285320	83684.75
68	13.17491	13.46114	0.29	291530	83446.54
69	12.54795	12.82702	0.28	264052	73688.45
70	11.93369	12.20552	0.27	257009	69863.07
71	11.33904	11.60345	0.26	248516	65710.08
72	10.75539	11.01238	0.26	233726	60064.43
73	10.18589	10.43541	0.25	222447	55506.17
74	9.62923	9.871305	0.24	211056	51091.32
75	9.088191	9.322804	0.23	200699	47086.59
76	8.565235	8.792361	0.23	183272	41625.73
77	8.063217	8.282808	0.22	171025	37555.54

78	7.574631	7.786794	0.21	160301	34010.01
79	7.102788	7.307619	0.20	98241	20122.77
80	6.65118	6.848759	0.20	70325	13894.74
81	6.221424	6.411847	0.19	68935	13126.77
82	5.820982	6.004263	0.18	78614	14408.45
83	5.445516	5.621745	0.18	89307	15738.47
84	5.094326	5.263615	0.17	82785	14014.58
85	4.766588	4.929067	0.16	73943	12014.19
86	4.464235	4.62	0.16	63312	9861.79
87	4.184448	4.333602	0.15	48916	7295.99
88	3.920914	4.063617	0.14	41454	5915.62
89	3.669824	3.80629	0.14	31766	4334.99
90	3.428924	3.559424	0.13	82067*	8536.14**
91	3.197968	3.32283	0.12		
92	2.993402	3.112733	0.12		
93	2.800858	2.91487	0.11		
94	2.619837	2.728744	0.11		
95	2.449834	2.553848	0.10		
96	2.290319	2.389652	0.10		
97	2.140797	2.235654	0.09		
98	2.0008	2.091379	0.09		
99	1.869815	1.956301	0.09		
100	1.747367	1.829921	0.08		
101	1.632948	1.71169	0.08		
102	1.525975	1.600949	0.07		
103	1.425658	1.49677	0.07		
104	1.330788	1.397667	0.07		
105	1.238955	1.300689	0.06		
106	1.144563	1.199171	0.05		
107	1.032939	1.076435	0.04		
108	0.861971	0.887336	0.03		
109	0.5	0.5	0.00		
				Totale popolazione maschile italiana = 27.967.670	N. di anni di vita attesi persi nel complesso dalla popolazione maschile italiana = 10.782.806,77

Fonti: dati demografici Tavole di mortalità e tavole attuariali della popolazione al 1992, ISTAT collana Note e relazioni, anno 1996 n.1, "Popolazione e movimento anagrafico dei comuni. Anno 1998", annuario ISTAT n.11, 2000; coefficiente di variazione della probabilità di morte stimato da Pope (1995)

Nota: i valori contrassegnati da un asterisco (*) sono stati calcolati moltiplicando il numero degli individui di età superiore o uguale a 90 anni per la differenza della speranza di vita riferita alla classe dei 95^{enni}; i valori contrassegnati da due asterischi (**) esprimono il totale della popolazione rispettivamente maschile e femminile di età superiore o uguale a 90 anni.

Tav. - A7 - Variazione della speranza di vita derivante da una riduzione permanente di PM₁₀ pari a 10 µg/m³ rispetto il livello corrente (anno 1999, popolazione femminile).

Età	Speranza di vita	Differenza fra la		Popolazione femminile italiana per classe di età nel 1999	Anni di vita attesi persi a causa di 10 mg/m ³ di PM10 per ciascuna classe di età
		Speranza di vita al netto degli effetti di 10 mg/m ³ di PM10	speranza di vita calcolata al lordo ed al netto di 10 mg/m ³ di PM10		
0	80.35499	80.75237	0.397379	257323	102254.865
1	79.91354	80.29133	0.377793	260152	98283.52703
2	78.94905	79.32559	0.376543	257505	96961.57813
3	77.97287	78.34857	0.375705	256083	96211.7132
4	76.99002	77.36512	0.375103	260304	97640.78687
5	76.00341	76.37804	0.374634	267026	100036.9191
6	75.01484	75.38907	0.374234	277268	103763.0549
7	74.02524	74.39911	0.37387	276274	103290.6481
8	73.03467	73.40821	0.373541	278880	104173.1913
9	72.0429	72.41615	0.373255	276048	103036.2655
10	71.05129	71.42426	0.372963	279786	104349.8938
11	70.06071	70.43335	0.372637	271361	101119.0223
12	69.0701	69.44241	0.372312	272646	101509.2872
13	68.08073	68.45267	0.371944	283482	105439.5539
14	67.09239	67.46393	0.371542	288099	107041.0119
15	66.1054	66.4765	0.371095	294302	109213.9133
16	65.11994	65.49054	0.370595	303985	112655.4675
17	64.13625	64.50629	0.370037	306977	113592.7961
18	63.15377	63.52321	0.369438	312741	115538.3613
19	62.17243	62.54123	0.368802	325173	119924.3781
20	61.19177	61.55992	0.368144	346481	127554.7366
21	60.21073	60.57823	0.3675	362343	133161.0506
22	59.2289	59.59578	0.366885	382562	140356.2792
23	58.24623	58.61253	0.3663	405830	148655.4759
24	57.26435	57.63004	0.36569	427833	156454.1013
25	56.28346	56.64851	0.365048	430569	157178.2702
26	55.30461	55.66895	0.36434	435836	158792.3164
27	54.32746	54.69103	0.363577	445002	161792.4199
28	53.35132	53.71411	0.362782	443163	160771.7463
29	52.37601	52.73797	0.361963	458759	166053.9033
30	51.40201	51.76312	0.361103	456542	164858.803
31	50.42883	50.78905	0.360219	463976	167133.0797
32	49.45623	49.81555	0.359319	476499	171215.2311
33	48.48387	48.84228	0.358415	477865	171273.911
34	47.51209	47.86959	0.357495	485777	173662.6298
35	46.54034	46.89692	0.356577	458312	163423.6082
36	45.56948	45.92512	0.355635	445187	158323.9227
37	44.59987	44.95453	0.354656	437828	155278.3513
38	43.63182	43.98545	0.353632	424887	150253.5736
39	42.66509	43.01766	0.35257	416960	147007.6927
40	41.7005	42.05194	0.351446	401168	140988.7745
41	40.74106	41.09123	0.350164	399890	140027.0129
42	39.78024	40.12917	0.348932	395047	137844.5985
43	38.82175	39.16939	0.347634	390356	135701.1277
44	37.86685	38.21308	0.346232	388348	134458.6192
45	36.91511	37.25985	0.344741	371596	128104.3051
46	35.96728	36.31042	0.343138	369970	126950.8424

47	35.02399	35.36539	0.341407	371214	126735.1294
48	34.08624	34.42576	0.339519	387286	131490.9633
49	33.15246	33.48998	0.337524	392878	132605.9215
50	32.22207	32.55751	0.335442	414080	138899.9766
51	31.29431	31.62761	0.333298	407339	135765.1192
52	30.37031	30.70137	0.331059	411569	136253.5636
53	29.45098	29.77968	0.328702	321352	105629.0801
54	28.53786	28.86405	0.326185	332939	108599.8288
55	27.63018	27.95371	0.323535	340974	110317.0233
56	26.72736	27.04813	0.320771	341543	109557.089
57	25.83075	26.14861	0.317859	346966	110286.3403
58	24.94103	25.25581	0.314786	383817	120820.0467
59	24.05869	24.37023	0.311541	381870	118968.2267
60	23.18358	23.49172	0.308137	376060	115877.854
61	22.31451	22.61912	0.30461	352300	107314.2248
62	21.45208	21.75303	0.300952	337483	101566.3071
63	20.59749	20.89463	0.297138	348777	103634.9686
64	19.75247	20.0456	0.293131	343598	100719.2511
65	18.91758	19.20651	0.288926	338990	97943.15376
66	18.0934	18.37792	0.28452	332186	94513.67689
67	17.27942	17.55936	0.279938	336748	94268.42096
68	16.47591	16.75109	0.275185	351135	96627.08788
69	15.68621	15.9564	0.270196	323488	87405.03879
70	14.9112	15.17617	0.264966	322090	85342.8288
71	14.15269	14.41216	0.259472	319475	82894.80557
72	13.40824	13.66203	0.25379	310873	78896.60064
73	12.67736	12.92531	0.247954	304743	75562.39269
74	11.96023	12.20221	0.241984	297030	71876.61204
75	11.26059	11.49642	0.235827	292469	68972.12365
76	10.5806	10.81007	0.229469	283359	65022.15999
77	9.922122	10.14503	0.222906	271815	60589.25851
78	9.285698	9.501863	0.216165	261531	56533.75313
79	8.671095	8.880384	0.209289	164933	34518.6305
80	8.080733	8.28301	0.202277	122558	24790.61955
81	7.515474	7.710632	0.195158	121750	23760.48564
82	6.981094	7.16897	0.187876	143680	26994.04031
83	6.476533	6.657021	0.180488	169744	30636.78763
84	6.002492	6.175509	0.173017	162983	28198.89822
85	5.555583	5.721132	0.165549	149558	24759.20616
86	5.136992	5.295085	0.158094	133629	21125.88501
87	4.74726	4.897919	0.150658	110468	16642.90653
88	4.381107	4.52444	0.143333	98105	14061.68381
89	4.035332	4.171521	0.136189	78875	10741.92549
90	3.707145	3.836455	0.12931	246684*	24272.37**
91	3.394958	3.517745	0.122787		
92	3.121618	3.237927	0.116309		
93	2.86711	2.977187	0.110074		
94	2.630721	2.73482	0.104099		
95	2.41164	2.510039	0.098395		
96	2.20910	2.302076	0.092972		
97	2.02229	2.110123	0.087837		
98	1.850437	1.933431	0.082994		
99	1.692735	1.771179	0.078445		
100	1.69273	1.622606	0.074185		
101	1.54842	1.48693	0.070206		

102	1.41672	1.363388	0.066489	
103	1.188189	1.251179	0.06299	
104	1.089743	1.149355	0.059611	
105	1.00051	1.056615	0.056105	
106	0.91847	0.970273	0.051805	
107	0.83770	0.88257	0.044869	
108	0.735134	0.765541	0.030407	
109	0.5	0.5	0	
				N. di anni di vita attesi persi nel complesso dalla popolazione femminile italiana = 9.685.304,89
			Totale popolazione femminile italiana = 29.644.945	

Fonti: dati demografici Tavole di mortalità e tavole attuariali della popolazione al 1992, ISTAT collana Note e relazioni, anno 1996 n.1, "Popolazione e movimento anagrafico dei comuni. Anno 1998", annuario ISTAT n.11, 2000; coefficiente di variazione della probabilità di morte stimato da Pope (1995)

Nota: i valori contrassegnati da un asterisco (*) sono stati calcolati moltiplicando il numero degli individui di età superiore o uguale a 90 anni per la differenza della speranza di vita riferita alla classe dei 95^{enni}; i valori contrassegnati da due asterischi (**) esprimono il totale della popolazione rispettivamente maschile e femminile di età superiore o uguale a 90 anni.

2. Misurazioni dei livelli di concentrazione locali di PM_{10} e di PST

Fig. – A1 – Localizzazione delle stazioni di rilevamento della qualità dell'aria censite sulla base dei dati 1998 raccolti ed elaborati dal CTN ACE relativi alla Direttiva CE 92/72 del 21/9/92 ed alla Decisione del Consiglio Europeo del 27/1/97.

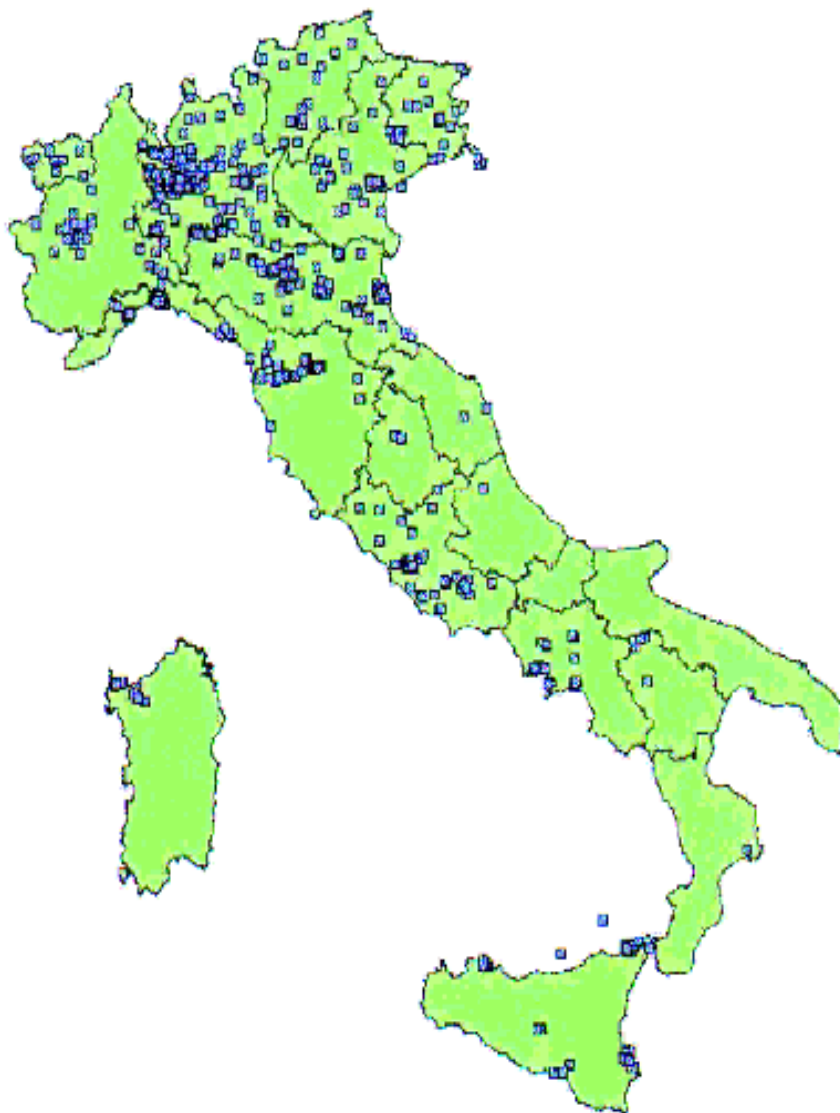
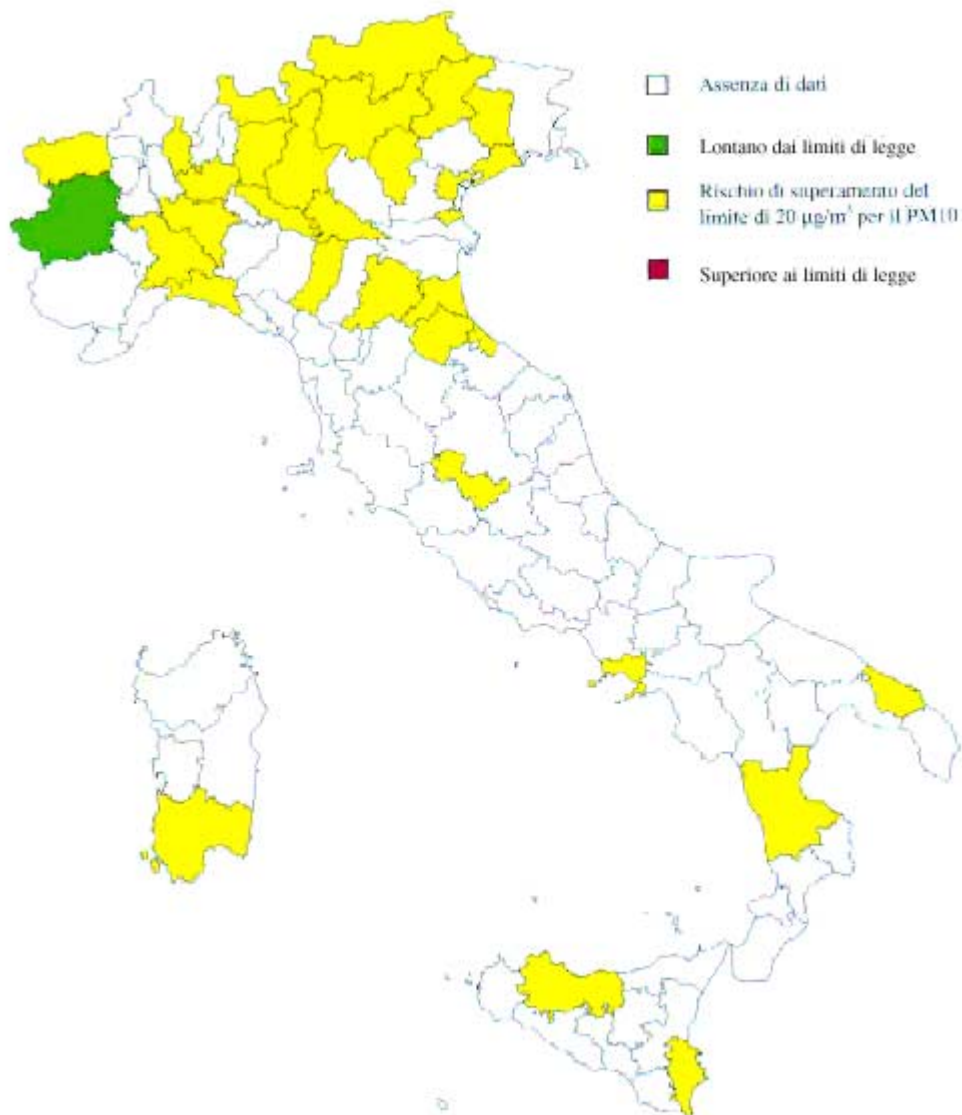


Fig. – A2 – Concentrazione in aria di Particolato Sospeso Totale a livello provinciale (dati 1998). Media o 95° percentile delle concentrazioni medie giornaliere rilevate nell’arco dell’anno.



Nella figura A 2 si rappresentano le informazioni più recenti relative al particolato sospeso totale (PST) per il 1998 (dati acquisiti da ANPA/CTN-ACE).

Nella figura si può osservare:

- la presenza di province “bianche” dove non è disponibile l’informazione;
- le provincie ove le concentrazioni sono “superiori” ai limiti di legge (in rosso);
- le provincie in cui, sulla base del valore medio annuo rilevato e in base ai rapporti tra le concentrazioni di PST e PM10, si rischia il superamento del limite di $20 \text{ mg} / \text{m}^3$ per il PM10 (in giallo);
- le provincie lontane dai limiti di legge (in verde).

Su 103 provincie per 30 sono disponibili dati sulle concentrazioni di PST, di queste solo in una (Sondrio) non si rischia di superare il limite di $20 \text{ mg} / \text{m}^3$ per il PM10.

3. La normativa vigente relativamente al particolato

La vigente normativa italiana prevede cinque tipi di vincoli alle concentrazioni di agenti inquinanti in atmosfera²⁵:

- valori limite, per la salvaguardia della salute umana da esposizione ad agenti inquinanti su tutto il territorio nazionale;
- valori guida, finalizzati alla prevenzione a lungo termine in materia di salute e protezione dell'ambiente e a costituire parametri di riferimento per l'istituzione di zone specifiche di protezione ambientale per le quali è necessaria una particolare tutela della qualità dell'aria;
- livelli di attenzione e livelli di allarme, con specifico riferimento alla protezione della salute da effetti acuti in aree urbane;
- obiettivi di qualità, finalizzati alla protezione a lungo termine della salute umana in aree urbane.

Nella seguente tabella sono sinteticamente riportati i diversi vincoli relativi al particolato, agli indici statistici considerati, al tempo di mediazione e al periodo di riferimento. Nella successiva tabella, invece, si riportano i nuovi limiti previsti dalla Direttiva 1999/30/CE del 22/4/99.

Tav. – A8 - Limiti alle concentrazioni di inquinanti dell'aria previsti dalla normativa nazionale

PARTICOLATO (gravimetrico)	anno	150 (media arit.) 300 (95° percentile)	giorno	Valori limite DPR 203/24.5.1988
	giorno	150 (attenzione) ^{1,2} 300 (allarme) ^{1,2}	giorno	Livelli di attenzione e di allarme DM 25.11.1994
PARTICOLATO (fumi neri)	anno (1 apr.-31 mar.)	40-60 (media aritm.)	giorno	Valore guida DPR 203/24.5.1988
	giorno	100-150 (media aritm.)	giorno	Valore guida DPR 203/24.5.1988

Note DPCM 28.3.1983: limiti massimi accettabili degli inquinanti atmosferici con riferimento alle concentrazioni ed all'esposizione; DPR 203/24.5.1998: limiti massimi ammissibili per le concentrazioni e l'esposizione con riferimento all'inquinamento atmosferico e i valori limite e guida per la qualità dell'aria; DM 25 Novembre 1994: aggiornamento delle norme tecniche in materia di limiti di concentrazione e di livelli di attenzione e di allarme per gli inquinamenti atmosferici nelle aree urbane e disposizioni per la misura di alcuni inquinanti di cui al decreto ministeriale 15 aprile 1994; DM 16 Maggio 1996: attivazione di un sistema di sorveglianza di inquinamento da ozono.

(1) I valori delle concentrazioni di particelle sospese totali misurate in modo non automatico con metodo gravimetrico, concorrono alla determinazione degli stati di attenzione e di allarme e ai conseguenti provvedimenti da adottare, compatibilmente con i tempi necessari per il completamento delle operazioni di prelievo e di misurazione.

(2) Questi valori corrispondono ai valori fissati come standards di qualità nel DPCM 28/3/83.

²⁵ Le seguenti informazioni nonché le Tav. e le Fig 1 e 2 sono tratte da Brini, S., Desiato, F., Fortuna, F., Gaudioso, D., Liburdi, R., Scalambretti, R., Bonanni, P., De Lauretis, R., Fornasier, F., Ricci, G. E Romano D. (1999) *Emissioni in atmosfera e qualità dell'aria in Italia* Serie stato dell'ambiente 6/1999, ANPA, Roma.

Tav. – A9 - Limiti alle concentrazioni di inquinanti dell'aria indicati dalla Direttiva 1999/30/CE

PM10 (fase 1)	valore limite per la protezione della salute umana	50 (da non superare più di 35 volte l'anno)	media nelle 24 ore	50% all'entrata in vigore della presente normativa, con una riduzione lineare il 1° gennaio 2001 ed ogni dodici mesi successivi, per raggiungere lo 0% il 1° gennaio 2005	1° gennaio 2005
	valore limite per la protezione della salute umana	40	media anno	20% all'entrata in vigore della presente normativa, con una riduzione lineare il 1° gennaio 2001 ed ogni dodici mesi successivi, per raggiungere lo 0% il 1° gennaio 2005	1° gennaio 2005
PM10 (fase 2)	valore limite per la protezione della salute umana	50 (da non superare più di 7 volte l'anno)	media nelle 24 ore	(in base ai dati; deve essere equivalente al valore limite della fase 1)	1° gennaio 2010
	valore limite per la protezione della salute umana	20	media anno	50% al 1° gennaio 2005 con riduzione ogni dodici mesi successivi, per raggiungere lo 0% entro il 1° gennaio 2010	1° gennaio 2010

4. Tavole di conversione dei dati di misurazione del PM₁₀ in PST e del PST in PM₁₀

Tav. – A10 - Conversione dei dati di misurazione del livello medio di PM₁₀ per classe dimensionale del comune di residenza in dati PST

Classi aggregate	Concentrazione PM ₁₀ media ponderata per classe dimensionale	Concentrazione TSP derivata dalla PM ₁₀ (coeff. conversione = 0,55)	Pop. residente nazionale	Pop. residente campionaria	Rappresentatività campione (residenti)	Numero di decessi Nazionali	Numero di decessi campionaria	Rappresentatività del campione (decessi)
fino a 10000	41	74,55	18.963.751	2.185	0%	201.829	20	0%
10001-50000	44,30	80,54	18.373.734	115.809	1%	166.644	973	1%
50001-100000			6.733.381			63.615		
100001-250000			4.092.749			43.063		
250001-500000	48,87	88,85	2.236.982	758.766	34%	25.151	10.082	40%
oltre 500000	49,87	90,66	7.212.018	7.212.018	100%	76.609	76.609	100%

Fonte dati demografici "Popolazione e movimento anagrafico dei comuni. Anno 1998", annuario ISTAT n.11, 2000

Fonte dati sulle concentrazioni sito internet regione lombardia D.G. Tutela Ambiente; L'inquinamento atmosferico in 8 città italiane, a cura di OMS, ANPA ed in collaborazione con ITARIA, rapporto pubblicato il 20 Giugno 2000 a Roma (V seminario Incontri di sanità pubblica)

Tav. – A11 - Conversione dei dati di misurazione del livello medio di PST per classe dimensionale del comune di residenza in dati PM₁₀

<i>Classi aggregate</i>	<i>Concentrazione TSP ponderata per classe dimensionale</i>	<i>Concentrazione PM-10 derivata dalla TSP (coeff. conversione e = 0,55)</i>	<i>Pop. residente nazionale</i>	<i>Pop. residente campionaria</i>	<i>Rappresentatività del campione (residenti)</i>	<i>Numero di decessi Nazionale</i>	<i>Numero di decessi campionaria</i>	<i>Rappresentatività del campione (decessi)</i>
fino a 10000	49,824	27,40	18.963.751	103.069	1%	201.829	1.084	1%
10001-50000	47,388	26,06	18.373.734	783.990	4%	166.644	8.376	5%
50001-100000	56,701	31,19	6.733.381	1.012.957	15%	63.615	11.098	17%
100001-250000	59,301	32,62	4.092.749	1.581.502	39%	43.063	17.167	40%
250001-500000			2.236.982			25.151		
oltre 500000			7.212.018			76.609		

Fonte dati demografici "Popolazione e movimento anagrafico dei comuni. Anno 1998", annuario ISTAT n.11, 2000

Fonte stime concentrazione: (*) stime 1999 da siti ARPA in rete; (**) stime 1996-97 da ISTAT (1998) Le stazioni di monitoraggio della qualità dell'aria Anno 1996, Collana Informazioni 79; (°) stime 1998 dati da sito regione lombardia D:G: Tutela Ambiente

PARTE II - RUMORE

Il costo del rumore *

Nonostante in passato siano stati fatti dei tentativi di stima del costo del rumore in Italia, finora tali indagini sono sempre state condotte applicando la tecnica della volontà a pagare (per una descrizione più dettagliata della stessa e delle relative modalità applicative nel caso del rumore si rimanda ai precedenti capitoli). La maggior parte degli studi che hanno cercato di pervenire ad una valutazione del costo del rumore in ambito europeo, infatti, ha sfruttato i coefficienti di costo marginale stimati da Hansson e Markham (1992) relative alla Svezia e stimate nel 1985. Il desiderio di verificare da un lato la verosimiglianza dei risultati cui sinora si è pervenuti, dall'altro la percorribilità di altre strade, ci ha spinto ad adottare una metodologia alternativa. Abbiamo infatti scelto di stimare il costo del rumore attraverso il metodo dei prezzi edonici (descritti in maniera approfondita nel capitolo metodologico). Si tratta del primo tentativo di applicazione di questa metodologia nell'ambito del contesto italiano di cui siamo a conoscenza.

La seconda parte di questo capitolo si suddivide in tre sezioni. Nella prima descriviamo come abbiamo ottenuto la stima del costo del rumore generato dal trasporto stradale in Italia. In particolare descriviamo come abbiamo raccolto la base dati necessaria per condurre le stime e come abbiamo utilizzato tali dati per ottenere i risultati voluti. Nella seconda sezione proponiamo un'analisi di sensitività delle stime così ottenute per verificare se ed in che modo alcuni dei parametri impiegati nel processo di stima influenzino il valore delle stime ottenute. Infine nella terza sezione confrontiamo le nostre stime con quelle ottenute dagli altri studi esistenti per l'Italia.

1 Il costo del rumore in Italia

Riportiamo di seguito la formula per la stima del costo esterno del rumore (CER) attraverso la WTP ricavata dagli studi di prezzi edonici applicati al valore delle abitazioni già presentata nei capitoli precedenti.

* La redazione di questa sezione è stata curata da Romeo Danielis

$$CER = \sum_i (L_{i,o} - L_{i,b}) \cdot A_i \cdot P_i \cdot PE_i$$

in cui si indica con i un'area esposta ad un livello di rumore omogeneo, A_i rappresenta il numero delle abitazioni, P_i il loro valore annualizzato, PE_i il prezzo edonico che indicata la perdita percentuale di valore dell'abitazione per unità di decibel di rumore, ed $(L_{i,o} - L_{i,b})$ l'eccesso di rumore rispetto alla soglia base a cui è esposta l'area i .

Il prodotto del valore annualizzato delle abitazioni dell'area moltiplicato, per l'eccesso di rumore e per il decremento percentuale del prezzo dovuto al rumore, fornisce una stima della perdita di valore (e quindi costo esterno) causato dal rumore. La sommatoria del valore così ottenuto per ciascuna delle aree i rappresenta il costo esterno totale da rumore per l'insieme delle aree considerate.

L'applicazione di questa metodologia all'Italia è fortemente condizionata dalla limitata disponibilità dei dati necessari. Invece di stimare l'ampiezza delle aree esposte ad un eccesso di rumore sulla base di un modello teorico (cfr. Delucchi e Hsu, 1996), abbiamo ricavato la consistenza delle abitazioni A_i dal censimento delle abitazioni del 1991 (Istat, 1991, tav 6.13, p. 510). La tavola dell'Istat censisce le abitazioni distinguendo fra quelle occupate e non e riportandone sia il numero che la rispettiva superficie (mq). I dati sono inoltre suddivise per classe di ampiezza demografica dei comuni e per tipo di località (centri abitati, nuclei abitati e case sparse). Per la nostra stima abbiamo scelto di utilizzare il dato relativo alle abitazioni occupate (superficie) dei soli centri abitati. Il dato è riportato nella prima colonna della tav. 1. Nella seconda colonna è riportato il numero delle persone (componenti delle famiglie) che abitano in quella tipologia di abitazioni: esso ammonta a 50,9 milioni di persone sul totale della popolazione che è pari a 56,2 milioni, rappresenta, quindi, circa il 90% della popolazione.

Tav. 1 – Il valore delle abitazioni in Italia.

Dimensione dei comuni	Abitazioni occupate: superficie in mqx1000 (centri abitati)	Abitanti	Milioni al mq.	Numero di osservazioni	Valore totale delle abitazioni (miliardi)	Valore annualizzato dell'abitazione (miliardi)
3000	218182	4.745.769	1,73	62	378.283	23.575
3000-5000	161860	3.808.947	2,21	38	357.172	22.259
5000-10000	255767	6.868.395	2,00	95	512.170	31.919
10000-20000	262016	7.044.615	1,82	156	477.392	29.751
20000-30000	124712	3.610.275	2,04	105	253.868	15.821
30000-40000	108582	3.307.327	1,59	79	172.216	10.733
40000-50000	60484	1.879.751	1,84	101	111.022	6.919
50000-65000	83718	2.578.822	2,07	102	173.261	10.798
65000-100000	100645	3.048.458	1,56	74	156.883	9.777
100000-250000	162049	4.634.454	2,44	222	395.273	24.634
250000 e più	298532	9.421.225	3,01	416	898.450	55.992
Totale	1836547	50.948.038		1450	3.885.989	242.176

*Fattore di attualizzazione pari a 0,0623 ($i=5,5\%$, $t=40$)

Abbiamo quindi stimato il valore annualizzato delle abitazioni considerate. Ciò è avvenuto attraverso i seguenti passaggi:

1. In primo luogo abbiamo calcolato il valore di mercato di queste abitazioni. Ciò richiederebbe a rigore informazioni dettagliate sull'epoca di costruzione²⁶, sul grado di manutenzione, sulla localizzazione, sulle caratteristiche del luogo e sui prezzi medi di ciascuna delle categorie individuate. In assenza di dati così dettagliati abbiamo moltiplicato il numero di abitazioni (misurate in mq), suddiviso per dimensione del comune, per il prezzo al mq (colonna 3 della Tav. 1) che abbiamo ricavato dalle banche dati immobiliari e dai siti internet di due importanti agenzie immobiliari (Tecnocasa e Gabetti Immobiliare). Sono state utilizzate 1.450 osservazioni suddivise per dimensione del comune di riferimento, come riportato in colonna 4 della tav. 1.
2. E' stato quindi necessario ipotizzare un fattore di annualizzazione, ove il valore annualizzato di un'abitazione P_i è pari a:

$$P_i = FA \cdot VT_i$$

$$FA = \frac{r}{1 - (1 + r)^{-t}}$$

in cui VT_i è il valore totale e FA il fattore di attualizzazione. Con r abbiamo indicato il tasso di interesse e con t il periodo di vita dell'investimento in anni. Seguendo Delucchi ed Hsu (1996), abbiamo ipotizzato $r=5,5\%$ ed $t=40$, ottenendo un FA pari a 0.0623 ²⁷.

3. Infine, moltiplicando il numero delle abitazioni (in mq.) per il loro prezzo di mercato (al mq.) e per il fattore di attualizzazione, abbiamo ottenuto stima del prezzo annualizzato per classe di ampiezza del comune riportato nella sesta colonna della tav. 1.

A questo punto sarebbe necessario disporre di adeguate informazioni sul livello di rumorosità medio a cui sono esposte le abitazioni delle classi comunali identificate. Non esistono, a nostra conoscenza, informazioni ufficiali al riguardo. La legislazione nazionale (legge 26 ottobre 1995, n. 447) ha imposto alle principali città la zonizzazione dell'inquinamento acustico a cui alcune città si sono adeguate. Esistono per alcune città dati puntuali molto articolati, ma, ripetiamo, per i nostri calcoli sarebbe necessario disporre di valori medi suddivisi per classe dimensionale delle aree. L'informazione ufficiale più vicina ai nostri scopi è rappresentata nella seguente tavola pubblicata dal Ministero dell'Ambiente (1997)

Tav. - 2 - Esposizione media della popolazione residente nei principali capoluoghi di provincia

<i>Classi di ampiezza demografica dei comuni</i>	<i>Popolazione totale</i>	<i>Leq dB(A) diurno</i>	<i>Leq dB(A) notturno</i>
Da 10 a 70 mila abitanti	24.932.239	68	61
Da 70 a 100 mila abitanti	1.667.693	69	67
Da 100 a 500 mila abitanti	6.217.001	73	68
Oltre 500 mila abitanti	7.551.680	78	74

Fonte: Ministero dell'Ambiente (1997)

Usando queste informazioni, adattate alle nostre classi dimensionali, abbiamo ottenuto i valori sull'eccesso di rumore riportati nella colonna 2 della tav. 3 sulla base di tre assunzioni:

1. il livello di rumore nelle città con meno di 10.000 abitanti è pari a 65 db(A) il giorno e 56 db(A) la notte²⁸.

²⁶ L'informazione sull'epoca di costruzione è, in realtà, disponibile dal Censimento, ma non abbiamo potuto usarla nelle stime per la mancanza di informazioni sui prezzi distinti per epoca di costruzione.

²⁷ Si noti che con t superiore a 30 il FA tende a coincidere con il tasso di interesse.

2. l'eccesso di rumore è dato dalla somma pesata del valore diurno e notturno, con pesi rispettivamente pari a 2/3 e 1/3, così da considerare anche il tempo di esposizione, in quanto il valore diurno è misurato tra le 6 e le 22 e quello notturno tra le 22 e le 6;
3. la soglia base è posta pari a 55 dB(A) seguendo una parte della letteratura internazionale. Tale soglia, indicata dall'OCSE come soglia limite per le ore notturne, è qui assunta come soglia di non disturbo²⁹.

Tav. - 3 – Il costo del rumore in Italia

	<i>DB(A) diurni</i>	<i>DB(A) notturni</i>	<i>Decibel in eccesso</i>	<i>Costo del rumore (Miliardi)</i>
3000	65	56	7,0	1.073
3000-5000	65	56	7,0	1.013
5000-10000	65	56	7,0	1.452
10000-20000	68	61	10,7	2.063
20000-30000	68	61	10,7	1.097
30000-40000	68	61	10,7	744
40000-50000	68	61	10,7	480
50000-65000	68	61	10,7	749
65000-100000	69	67	13,3	847
100000-250000	75,5	71	19,0	3.042
250000 e più	75,5	71	19,0	6.915
				19.474

* Il prezzo edonico fissato a 0,65%.

Infine abbiamo scelto il prezzo edonico (PE) da applicare alla realtà italiana. Gli studi di valutazione con la metodologia dei prezzi del rumore hanno portato ai risultati riportati nella tavola 4.

Tav. - 4 - Il valore del prezzo edonico del rumore

<i>Sorgente</i>	<i>Autore</i>	<i>Perdita di valore</i>
Washington DC, USA, 1978 ^b	Nelson	0,88%
Chicago, 1978 ^b	Vaughan et al.	0,65%
Towson, USA, 1977 ^b	Anderson et al.	0,54%
Kingsgate, USA, 1980 ^b	Palmquist	0,48%
N Springfiles, USA, 1977 ^b	Bailey	0,38%
N Virginia, USA, 1980 ^b	Allen	0,15%
Toronto, 1977 ^b	Hall et al.	1,05
aereo ^a - Norvegia	Hoffman (1984)	1%
strada - Basilea	Pommerehene (1987)	1,29%
strada ^a - Basilea	Pommerehene (1986)	1% dell'affitto
Strada - Zurigo	Iten (1990)	0,90%
Strada - Neuchâtel	Sougel (1994)	0,91%
Strada - Parigi	Furlan (1998)	0,41% dell'affitto

^a citato in Externe (1997, p. 460)

^b citato in Maddison et al. (19XX, p. 93)

L'intervallo dei prezzi edonico per gli studi relativi alle città europee varia da 0,41% e 1,29%. Il valore base da noi scelto è un valore intermedio pari a 0,65%, simile a quello scelto da Maddison et

²⁸ Secondo informazioni giornalistiche, questi valori sono relativi a Livorno, che risulta essere la città meno rumorosa d'Italia (Repubblica, 17 luglio 2000), purtroppo non disponiamo di ulteriori informazioni per le altre città con un numero di abitanti inferiore a 10.000.

²⁹ L'OECD (19986) sostiene che non esiste un'unica soglia valida per ogni luogo e per ogni tipo di popolazione. In uno studio tedesco è stata addirittura scelta la soglia di 30 dB(A), giudicata da molti commentatori troppo bassa. Delucchi e Hsu (1996, p. 13) riporta uno studio di Vainio (1995) che sottopone a test diverse specificazioni e trova che la soglia di 55 dB(A) è supportata dai dati. Certamente i risultati ottenuti sono molto sensibili alla soglia prescelta.

al. per il Regno Unito (0.67%) ed inferiore a quello scelto da Delucchi e Hsu (1996) per gli USA (0,85)

Nell'applicare del prezzo edonico è necessario effettuare una serie di ipotesi:

1. si deve assumere che il valore scelto corrisponda alla valutazione data al rumore da tutta la popolazione residente, quando in realtà gli studi ci forniscono la valutazione solo di coloro che acquistano le abitazioni (case o appartamenti);
2. non avendo a disposizione una stima della funzione di costo per tutti i livelli di rumore, assumiamo che il costo marginale del rumore sia costante, mentre la funzione è probabilmente non lineare (la WTP marginale aumenta all'aumentare del livello di rumore, perché più elevato è il rumore, meno tollerabile è). Questa assunzione è necessaria perché gran parte degli studi hanno usato per la stima dei PE funzioni di costo lineari. Hall e Welland (1987) e Feitelson et al. (1996) hanno tentato specificazioni non lineari, ma sono giunti alla conclusione che queste non sono migliori di quelle lineari;
3. similmente, per assenza di evidenze empiriche alternative, si applica lo stesso prezzo PE indipendentemente dal valore dell'abitazione e quindi del probabile reddito dell'occupante;
4. non si tiene conto dell'effetto dei possibili interventi di riduzione del rumore percepito (es. doppi vetri, interventi sul manto stradale o barriere antirumore). In alcuni casi il costo di questi interventi è inglobato nel prezzo dell'abitazione (ad. riduzione del prezzo per la necessità di installare i doppi vetri), per cui non c'è distorsione;
5. si assume, in assenza di dati analitici, che il prezzo edonico sia il prezzo edonico medio rappresentativo del disturbo causato rispetto a tutti i tipi di attività svolte nell'abitazione.

Accettando le ipotesi suddette, la stima di base del costo esterno del rumore è un valore per il 1999 pari a 19.474 Mil di Lire. Nel prossimo paragrafo sottoporremo tale valore ad una analisi di sensitività rispetto ai parametri del modello per individuare l'intervallo di variazione della stima.

Finora abbiamo assunto che i db(A) indicati nella tavola 4 siano completamente attribuibili al traffico stradale. Nella realtà però osserviamo che, se è vero che i trasporti stradali costituiscono la principale fonte di rumore, è altrettanto vero che nelle aree abitate esistono anche altre fonti di rumore, ad esempio quelle costituite dai lavori di costruzione o di rimozione delle immondizie, dalle altre modalità di trasporto³⁰ o semplicemente dal rumore causato dall'uomo. In presenza di una pluralità di fonti di rumore, non censite e quindi non stimabili, la stima dei costi attribuibili al solo trasporto stradale si complica in quanto il danno da rumore dipende dalla interazione tra il rumore causato dalle differenti fonti.

Per finalità di efficienza allocativa è importante stimare non il costo totale del rumore ma il costo marginale, cioè valutare il contributo di danno aggiuntivo arrecato da un nuovo veicolo che percorre una strada. Per effettuare questa stima è però necessario disporre di un modello che stimi la relazione tra rumore e traffico tenendo conto delle diverse caratteristiche dei veicoli, delle strade, della velocità di percorrenza e del posizionamento delle abitazioni rispetto alle strade. Tale modello, seppur sviluppato in forma teorica (Delucchi e Hsu, 1996), non è stato ancora stimato per l'Italia. In assenza di studi specifici, non possiamo che rifarci alle letterature internazionale. Lamure (1990) suggerisce una semplice regola 3:2:1, rispettivamente, per veicoli pesanti, autobus e motocicli, ed automobili. Delucchi e Hsu (1996) invece ottiene i risultati illustrati nella seguente tabella, che ci mostrano come il contributo dei diversi veicoli sia molto più differenziato di quanto sostenga la regola di Lamure.

³⁰ Cotana e Marcucci (2000) valutando il costo del rumore per la regione Umbria stimano i trasporti stradali come responsabili del 97,5% del totale dei costi esterni del rumore da trasporto, di cui 66,7% attribuibili al trasporto passeggeri e 30,8% al trasporto merci. Il restante 2,5% è attribuito al trasporto ferroviario di cui 1,2% ai passeggeri e 1,3% alle merci.

Tav. - 5 - Costo marginale per una riduzione del 10% delle percorrenze in aree urbanizzate per tipo di veicolo e tipo di strada negli Stati Uniti

	<i>Intestate</i>	<i>Other freeways</i>	<i>Principal arterials</i>	<i>Minor arterials</i>	<i>collectors</i>	<i>Local roads</i>
Automobili	2,96	4,25	1,18	0,57	0,07	0
Autocarri leggeri	8,50	13,20	7,02	5,37	1,05	0
Autocarri pesanti	16,69	30,80	20,07	29,93	4,93	0
Autobus	6,36	9,77	7,18	6,42	1,22	0
Motocicli	17,15	27,03	8,71	4,67	0,56	0

Fonte: Delucchi e Hsu (1996, p. 58)

2 Analisi di sensitività

I valori che abbiamo ottenuto sono relativi ai parametri base del modello, vale a dire al valore dei parametri che sulla base delle informazioni disponibili, riteniamo più probabili. Alcuni parametri sono però molto incerti, per cui è utile effettuare un'analisi di sensitività, cioè ristimare il modello per capire come variano i risultati finali in funzione del valore del parametro prescelto. La tav 6 illustra i risultati ottenuti

Tav. - 6 - Analisi di sensitività

Parametro	<i>Valore base</i>	<i>Valore basso</i>	<i>Valore alto</i>	<i>Var. % del costo del rumore con valore basso</i>	<i>Var. % del costo del rumore con valore basso</i>
Valore delle abitazioni al mq.	Riportato nella tav. X	+10%	-10%	+10	-10
Tasso di interesse	5,5	4,5	6,5	-12,8	+13,4
Anni	40	30	50	-10,4	+5,2
Prezzo edonico	0,065	0,041	0,09	-36,9	+38,5
Soglia rumore	55	60-55	55-50	-26,9	+13,5
Livello di rumore medio per le città con più di 100.000 ab.	75,5-71	70-64		-16,1	

Il risultato della prima riga è ovvio. Siccome il valore delle abitazioni entra nella funzione in modo proporzionale, variando del 10% il loro valore varia corrispondentemente del 10% la stima del costo del rumore.

Ipotizzando un tasso di interesse del 4,5 o 6,5 per cento (invece del 5,5 del modello base) il costo del rumore varia di circa il 13%. Se il periodo di ammortamento dell'immobile è di 30 o 50 anni, invece dei 40 assunti, il costo del rumore diminuisce del 10,4% o aumenta del 5,2%. In questo caso la variabile non entra in modo lineare.

Il prezzo edonico gioca un ruolo molto rilevante. Abbiamo osservato che le stime per l'Europa variano, a seconda dei paesi considerati, nell'intervallo 0,41-1,29%. Nella nostra simulazione, abbiamo fatto variare il valore nell'intervallo 0,41-0,9% (escludendo il valore di 1,29% che sembra eccessivo anche rispetto agli studi statunitensi. Il risultato è una variazione del costo tra il 37 e 38%. Questo è quindi il margine di incertezza connesso alle misurazioni statistiche del prezzo edonico.

Inoltre, abbiamo valutato l'effetto delle assunzioni sulla soglia di base che non produce disturbo. Rispetto alla soglia di 55 dB(A) assunta nel caso base, abbiamo valutato l'effetto di ipotizzare la coppia 60 dB(A)/55 dB(A) per il rumore diurno/notturno e la coppia 55 dB(A)/50 dB(A). Il risultato è una diminuzione od un aumento dei costi del 27% e del 13,5%.

Infine, data l'enorme incertezza sui livelli di rumore medi nelle città italiane abbiamo valutato l'effetto di ipotizzare che il livello di rumore nelle città con più di 100.000 abitanti sia pari a 70

dB(A)/64 dB(A) diurni/notturni contro i 75,5 dB(A)/71 dB(A) della tabella del Ministero dell'Ambiente (1997). I nuovi valori sono i valori medi così come pubblicati in recenti fonti giornalistiche citando fonti del OMS (Repubblica, 17 luglio 2000). Il risultato è una diminuzione dei costi del 16%.

3 Conclusioni

Sebbene dal punto di vista teorico il costo del rumore sia più facile da stimare rispetto al costo dell'inquinamento atmosferico, come abbiamo evidenziato nel Cap. X, la carenza di dati e di studi in materia non ne consente una soddisfacente valutazione, almeno per quanto riguarda l'Italia. Sulla base di ipotesi che noi riteniamo attendibili, e tendenzialmente pessimistiche, il costo del rumore attribuibile ai trasporti in Italia è risultato pari a 19.474 Mld Lire (0,92% del PIL). E' necessario però sottolineare che le incertezze connesse a questa stima sono talmente elevate che l'intervallo di variazione è molto ampio e di difficile determinazione.

E interessante notare che il valore base da noi ottenuto per il 1999 con il metodo dei prezzi edonici è molto simile al valore stimato dagli Amici della Terra per il 1997 (20.720 Mld) utilizzando invece il metodo della valutazione contingente.

Riferimenti bibliografici

- Abbey, D., Nishino, N., McDonnell, W., Burchette, R., Knutsen, S., Beeson, W., Yang, J. (1999) "Long-Term inhalable particles and other air pollutants related to mortality in nonsmokers", *American Journal Respiratory Crit Care Med*, 159, 373-382.
- Brini, S., Desiato, F., Fortuna, F., Gaudio, D., Liburdi, R., Scalambretti, R., Bonanni, P., De Lauretis, R., Fornasier, F., Ricci, G. E Romano D. (1999) *Emissioni in atmosfera e qualità dell'aria in Italia Primo rapporto ANPA sugli indicatori di pressione e di stato dell'ambiente atmosferico Serie stato dell'ambiente 6/1999*, ANPA Dipartimento Stato dell'Ambiente, Roma.
- Brunekreef, B. (1996) "Air pollution and life expectancy: is there a relation?", *Occupational and Environmental Medicine*, 54, 781-784.
- Cattani, S., Melegari, C., Galassi, C., Forastiere, F., Bertollini, R., Dora, C., Faberi, M., Magherini, L., Martuzzi, M. (1999), *Inquinamento atmosferico: applicazione di modelli per la descrizione della qualità dell'aria e valutazione dell'impatto sulla salute delle diverse situazioni a rischio. Rapporto primo stato di avanzamento.*, Progetto PR24, ITARIA, ARPA Emilia Romagna, ENEA Dip. Ambiente, WHO-ECEH.
- Cotana, F. e Marcucci, E. (2000) "Evaluating external transport costs of noise in an Italian region: the case of Umbria", in
- Danielis, R e Chiabai, A. (1998) "Estimating the cost of air pollution from road transport in Italy", *Transportation Research D*, 4, 249-58.
- Delucchi, M.A e Hsu, S. (1996) The external damage cost of direct noise from motor vehicles, Rapporto n° 14 nella serie "The annualized social cost of motorh-vehicle use in the United States, base on 1990-91 data, Institute of Transportation Studies, University of California, Davis.
- Department of Health UK, Committee On the Medical Effects of Air Pollutants – COMEAP - (1998) *The Quantification of the Effects of Air Pollution on Health in the United Kingdom*, HSMO.
- Douglas, W., Dockery, D., Pope III, A., Xu, X., Spengler, J., Ware, J., Fay, M., Ferris, B. e Speizer, F. (1993), "An association between air pollution anf mortality in six U.S. cities", *The New England Journal of Medicine*, 24, Vol. 329, 1753-1759.

- European Commission, DGXII, Science, Research and Development (1999), *Externalities of Energy*, Vol. 7, Methodology 1998 update, Brussels.
- Evans, J., Tosteson, T., Kinney, P. (1984) "Cross-sectional mortality studies and air pollution risk assessment", *Environment International*, 10, 55-83.
- Feitelson, E.I., Hurd, R.E. e Mudge, R.R. (1996) "the impact of airport noise on willingness to pay for residences" *Transportation Research-D* 1 (1) 1-14.
- Fillinger, P., Puybonnieux-Texier, V. e Schneider, J. (1999) *Health Costs due to Road Traffic-related Air Pollution. PM₁₀ Population Exposure*. Report prepared for the WHO Ministerial Conference for Environment and Health London June 1999, Federal Department of Environment, Transport, Energy and Communications, Bureau for Transport Studies, Bern, Switzerland.
- Furlan, S. (1998) "External costs in urban areas: the case of noise", presentato alla conferenza "Externalities in the urban transport: assessing and reducing the impacts, Milano, 27-29 ottobre, 1998.
- Hall, F.L e Welland, J.D. (1987) "The effect of noise barriers on the market value of adjacent residential properties" *Transportation Research Record* 1143, 1-11.
- Harrison, R., Brimblecombe, P., Derwent, R., Dollard, G., Eggleston, S., Hamilton, R., Hickman, A., Holman, C., Laxen, D. e Moorcroft S. (1996) *Airborne Particulate Matter in the United Kingdom*, Third report of the Quality of Urban Air Review Group, Department of Environment, University of Birmingham, UK.
- Hartley, N., Ayres, J., Burney, P., Buxton, M., Jones, A., Jones-Lee, M., Maddison, D., Markyanda, A., Pidgeon, N., Postle, M., Powlatt, P., Hurley, F. (1999) *Economic appraisal of the health effects of air pollution*, U.K. Department of Health, The Stationery Office, Norwich.
- Hoffman (1984), citato in Navrud, s. (1991) Summary of Norwegian valuation studies relevant for economic valuation of external effects of fuel cycles.
- Istat (1991) *Popolazione e abitazioni*, Fascicolo Nazionale, Italia, 13° Censimento generale della popolazione e delle abitazioni, Roma.
- ISTAT (1996) *Tavole di mortalità e tavole attuariali della popolazione al 1992*, ISTAT collana Note e relazioni, anno 1996 n.1, Roma.
- ISTAT (1998) *Le stazioni di monitoraggio della qualità dell'aria Anno 1996*, Collana Informazioni 79, Roma.
- ISTAT (1998), *Statistiche ambientali Anno 1997*, Collana Annuario 5, Roma.
- ISTAT (1999), *Indicatori e conti ambientali: verso un sistema informativo integrato economico e ambientale*, Collana Annali di statistica – serie X – vol. 18, Roma.
- ISTAT (2000) *Popolazione e movimento anagrafico dei comuni. Anno 1998*, annuario statistico ISTAT n.11, Roma.
- Iten, R. (1990), *Die mikroökonomische Bewertung von Veränderungen der Umweltqualität*, Schellenberg, Winterthur.
- Katsouyanni, K., Touloumi, G., Spix, C., Schwartz, J., Balducci F., Medina, S., Rossi, G., Wojtyniak, B., Sunyer, J., Bacharova, L., Schouten, J., Ponka, A. e Anderson, H. (1997) "Short term effects of ambient sulphur dioxide and particulate matter on mortality in 12 European cities: results from time series data from the APHEA project", *BMJ*, 314, 1658-1663.
- Kunzli, N., Kaiser, R., Medina, S., Studnicka, M., Oberfeld, G. E Horak, F (1999) *Health Costs due to Road Traffic-related Air Pollution. Air Pollution Attributable Cases. Technical Report on Epidemiology*. Report prepared for the WHO Ministerial Conference for Environment and Health London June 1999, Federal Department of Environment, Transport, Energy and Communications, Bureau for Transport Studies, Bern, Switzerland.
- Lipfert, F. e Wyzga, R. (1995) "Air pollution and mortality: issues and uncertainties", *Air & Waste Management Association*, 45, 949-66.

- Maddison, D. (1998) "Valuing changes in life expectancy in England and Wales caused by ambient concentrations of particulate matter", Paper presented at the International Symposium Externalities in the Urban Transport. Assessing and reducing the Impact, Milan, 27-29 October.
- McCubbin, D. e Delucchi, M. (1996) "The Social Cost of the Health Effects of Motor-Vehicle Air Pollution", Report UCD-ITS-RR-96-3 (11), Institute of Transportation Studies University of California, Davis.
- McCubbin, D. e Delucchi, M. (1999) "The Health Costs of Motor-Vehicle-Related Air Pollution", *Journal of Transport Economics and Policy*, 33 (3), 253-86.
- Michelozzi, P., Forastiere, F., Fusco, D., Perucci, C.A., Ostro, B., Ancona, C., Pallotti, G. (1998) "Air pollution and daily mortality in Rome, Italy", *Occupational Environment Medicine*, 55, 605-610.
- Navrud, S (1998) "Valuing health impacts from air pollution in Europe. New empirical evidence on morbidity", accepted paper for the World Congress of Environmental and Resource Economists, June 25-27 1998, Venice, Italy.
- OMS, ANPA ed ITARIA (2000) *L'inquinamento atmosferico in 8 città italiane*, rapporto pubblicato il 20 Giugno 2000 a Roma (V seminario Incontri di Sanità Pubblica).
- Ostro, B., Sanchez, J., Aranda, C., Eskeland, G. (1994) "Air pollution and Mortality: Results from Santiago, Chile", Working Paper 1453, Policy Research Department, World Bank, Washington, DC.
- Pearce, D e Crowards, T. (1996) "Particulate matter and human health in the United Kingdom", *Energy Policy*, 24, 609-619.
- Pommerehne, W. (1986) "Der Monetäre Wert Einer Flug und Strassenlärmreduktion: Eine Empirische Analyse auf der Grundlage Individueller Präferenzen" , Kosten der Umweltverschmutzung, Umweltbundesamt, Berichte 7/86.
- Pope III, C.A., Thun, M., Namboordi, M., Dockery, D., Evans, J., Speizer, F., Health Jr., C. (1995) "Particulate air pollution as a predictor of mortality in a prospective study of U.S. adults", *American Journal Respiratory and Critical Care Medicine*, 151, 669-74.
- Rabl, A. (1997) "Quantifying the Benefits of Air Pollution Control: the Interpretation of Exposure-Response Functions for Mortality", Working Paper, Ecole des Mines, Paris.
- Renna, E. *La rilevazione delle particelle aerodisperse nell'aria urbana: assicurazione dei dati in relazione all'impiego di metodi manuali e automatici.*
- Seethaler, R. (1999) *Health Costs due to Road Traffic-related Air Pollution. Synthesis Report.* Report prepared for the WHO Ministerial Conference for Environment and Health London June 1999, Federal Department of Environment, Transport, Energy and Communications, Bureau for Transport Studies, Bern, Switzerland.
- Small, K. e Kazimi, C. (1995) "On the cost of air pollution from motor vehicles", Working Paper University of California Transportation Center UCTC No. 237.
- Sommer, H., Seethaler, R., Chanel, O., Herry, M., Masson, S. e Vergnaud, J. (1999) *Health Costs due to Road Traffic-related Air Pollution. Economic Evaluation. Technical Report on Economy.* Report prepared for the WHO Ministerial Conference for Environment and Health London June 1999, Federal Department of Environment, Transport, Energy and Communications, Bureau for Transport Studies, Bern, Switzerland.
- Soguel, N. (1994) Evaluation monétaire des atteintes à l'environnement: une étude Hédoniste et contingente sur l'impact des transports, Edes, Neuchâtel.
- Souguel, N. (1996) "Contingent valuation of traffic noise reduction benefits", *Swiss Journal of Economics and Statistics*, 132 (1), 109-123.
- Vigotti, M., Rossi, G., Bisanti, L., Zanobetti, A., Schwartz, J. (1996) "Short term effects of urban air pollution on respiratory health in Milan, Italy, 1980-89", *Journal of Epidemiology ad Community Health*, 50, (Suppl 1), S71-S75.