

*Working paper Cnr-Ceris, N.11/2013*

INQUINAMENTO E COSTI SOCIALI: UNA PRIMA  
STIMA DEI RISPARMI POTENZIALMENTE  
OTTENIBILI CON L'APPLICAZIONE  
DI MATERIALI NANO STRUTTURATI  
IN AMBITO URBANO

Monica Cariola and Alessandro Manello

**Working  
Paper**

**WORKING PAPER CNR – CERIS**

RIVISTA SOGGETTA A REFERAGGIO INTERNO ED ESTERNO

ANNO 15, N° 11 – 2013

Autorizzazione del Tribunale di Torino

N. 2681 del 28 marzo 1977

ISSN (print): 1591-0709

ISSN (on line): 2036-8216

**DIRETTORE RESPONSABILE**

Secondo Rolfo

**DIREZIONE E REDAZIONE***Cnr-Ceris*Via Real Collegio, 30  
10024 Moncalieri (Torino), Italy

Tel. +39 011 6824.911

Fax +39 011 6824.966

[segreteria@ceris.cnr.it](mailto:segreteria@ceris.cnr.it)[www.ceris.cnr.it](http://www.ceris.cnr.it)**SEDE DI ROMA**

Via dei Taurini, 19

00185 Roma, Italy

Tel. +39 06 49937810

Fax +39 06 49937884

**SEDE DI MILANO**

Via Bassini, 15

20121 Milano, Italy

tel. +39 02 23699501

Fax +39 02 23699530

**SEGRETERIA DI REDAZIONE**

Enrico Viarisio

[e.viarisio@ceris.cnr.it](mailto:e.viarisio@ceris.cnr.it)**DISTRIBUZIONE**

On line:

[www.ceris.cnr.it/index.php?option=com\\_content&task=section&id=4&Itemid=64](http://www.ceris.cnr.it/index.php?option=com_content&task=section&id=4&Itemid=64)**FOTOCOMPOSIZIONE E IMPAGINAZIONE**

In proprio

Finito di stampare nel mese di Giugno 2013

**COMITATO SCIENTIFICO**

Secondo Rolfo

Giulio Calabrese

Elena Ragazzi

Maurizio Rocchi

Giampaolo Vitali

Roberto Zoboli

**Copyright © 2013 by Cnr-Ceris**

All rights reserved. Parts of this paper may be reproduced with the permission of the author(s) and quoting the source.

Tutti i diritti riservati. Parti di quest'articolo possono essere riprodotte previa autorizzazione citando la fonte.

# Inquinamento e costi sociali: una prima stima dei risparmi potenzialmente ottenibili con l'applicazione di materiali nano strutturati in ambito urbano.

*[Air pollution and social cost: a first estimate of potential savings from the urban application of nano-structured materials]*

Monica Cariola

*National Research Council of Italy  
CNR-CERIS*

*Institute for Economic Research on Firm and Growth  
Collegio Carlo Alberto - via Real Collegio, n. 30  
10024 Moncalieri (Torino) – ITALY*

Tel.: +39 011 68 24 921;  
fax : +39 011 68 24 966;  
email: [m.cariola@ceris.cnr.it](mailto:m.cariola@ceris.cnr.it)

Alessandro Manello

*National Research Council of Italy  
CNR-CERIS*

*Institute for Economic Research on Firm and Growth  
Collegio Carlo Alberto - via Real Collegio, n. 30  
10024 Moncalieri (Torino) – ITALY*

Tel.: +39 011 68 24 942;  
fax : +39 011 68 24 966;  
email: [a.manello@ceris.cnr.it](mailto:a.manello@ceris.cnr.it)

**ABSTRACT:** Because nowadays more than 200 kind of diseases are to some extent connected to atmospheric pollution, with a very significant impact on the social cost of a community, it can be important to study the effect that plans for using technologies able to treat urban areas atmosphere as a whole (in particular public areas), may have on reducing social and economic costs. The relationship between the increment of air pollutant concentration and morbidity/mortality due to natural, heart, encephalovascular and respiratory causes has been widely documented in national and international scientific literature. A technology based on nano-structured materials (TiO<sub>2</sub> based nanocompounds) which, under ultraviolet radiations, presents photocatalytic effects, can be able to decompose a wide variety of atmospheric pollutants as nitrogen dioxide (NO<sub>2</sub>) and nano-powder (PM<sub>10</sub>). In this paper we study and set up a model for the economic and social impact assessment of a large scale implementation of this technology in the field of urban and building construction. The paper assumes that the estimates of economic-social costs of air pollution, can be used as a starting point for a preliminary determination of the savings, which can be realized by employing photocatalytic pigments and mortars on a wide urban scale. This analysis has been applied to data referred to the town of Turin and has highlighted the possibility of a considerable level of saving in terms of social and economic costs.

**Keywords:** 4-6 nanocompounds, atmospheric pollutants, social costs evaluation, social saving, titanium dioxide.

JEL Codes: Q51, Q53, Q55, Q58, I18

## SUMMARY

1. INTRODUZIONE.....	5
2. I COSTI ECONOMICO-SOCIALI DELL'INQUINAMENTO ATMOSFERICO .....	6
2.1    Esposizione agli inquinanti e salute: i coefficienti dose/risposta RR.....	7
2.2    Inquinamento atmosferico e costi da mortalità anticipata.....	10
2.3    Inquinamento atmosferico e costi da morbilità .....	11
2.4    Inquinamento e casi di mortalità/morbilità attribuibili: un modello di stima.....	13
2.5    Una prima stima dei costi da inquinamento oltre soglia limite nella città di Torino .....	13
3. STIMA DEI POTENZIALI RISPARMI NEI COSTI DA INQUINAMENTO CON L'USO DI TIO <sub>2</sub> NANOMETRICO.....	17
4. CONCLUSIONI.....	22
REFERENCES .....	24

## 1. INTRODUZIONE

Il presente lavoro<sup>1</sup> trae origine da un più ampio progetto di ricerca<sup>2</sup>, nell'ambito del quale il Ceris-CNR ha curato la parte di valutazione economico-sociale, che intendeva sviluppare e analizzare le prestazioni di nuovi materiali nano strutturati i quali, applicati in ambito urbano, grazie alle loro caratteristiche fotocatalitiche, potessero contribuire a ridurre l'inquinamento atmosferico. L'effetto fotocatalitico permette infatti di ridurre la percentuale di NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub> e VOC (Volatile Organic Compounds), i principali prodotti inquinanti causati dal traffico urbano, dalla produzione industriale e dal riscaldamento domestico. La fotocatalisi è definita come l'accelerazione della velocità di una fotoreazione (cioè che avviene sotto esposizione alla luce) per la presenza di un catalizzatore. In particolare il biossido di titanio (TiO<sub>2</sub>) è risultato essere il catalizzatore più efficace, rispetto ad altri impiegati, nella degradazione di molti contaminanti di interesse.

L'effetto fotocatalitico risulta ancora ulteriormente incrementato con la riduzione delle dimensioni delle particelle di biossido di titanio fino a pochi nanometri. Questa caratteristica, tradotta in applicazione pratica, può avere un impatto molto rilevante sulla diminuzione dei costi sociali causati

---

<sup>1</sup> Una versione ampliata ed in inglese è stata pubblicata nei proceedings del convegno internazionale IAMOT (International Association for Management of Technology), Porto Alegre, Brasile 14-18 aprile 2013.

<sup>2</sup> Si tratta del progetto NANOBUILD, finanziato dalla Regione Piemonte su fondi POR-FESR Asse 1 nell'ambito del Polo d'Innovazione sull'Edilizia Sostenibile, di cui il primo autore del presente articolo (Monica Cariola) è stata la responsabile scientifica per il partner Ceris-CNR.

dall'inquinamento atmosferico che, attualmente, è ritenuto responsabile in maniera più o meno diretta di oltre 200 malattie, alcune anche gravemente invalidanti o mortali.

In Giappone, dove la densità dei centri urbani è particolarmente elevata, sono già in fase di realizzazione progetti per il trattamento con TiO<sub>2</sub> nanometrico di intere aree urbane, in particolare aree pubbliche (edifici pubblici, stazioni, piazze, strade...), in stretta collaborazione tra imprese ed in particolare la Tokio University.

Lo scopo del presente studio è stato quello di definire una metodologia di valutazione non solo economica, ma anche sociale, dell'uso dei nanomateriali applicati a strutture edilizie per l'abbattimento degli inquinanti atmosferici. Per raggiungere tale obiettivo è stata svolta un'ampia raccolta dati e documentazione relativi a:

- Relazione tra l'incremento di concentrazione delle polveri (PM<sub>10</sub>) e dei gas NO<sub>2</sub> (biossido di azoto) nell'atmosfera e la morbilità e la mortalità per cause naturali, cardiache, cerebrovascolari e respiratorie.
- Stime dei costi economico-sociali dell'inquinamento atmosferico che, utilizzate come punto di partenza, possono fornire una prima quantificazione dei risparmi potenzialmente ottenibili dall'impiego di pigmenti e malte foto catalitiche. Infatti a ciascun evento, decesso o stato morbile, è possibile attribuire un costo utilizzando varie metodologie che la ricerca epidemiologica ed economica insieme hanno contribuito a definire.

I dati e gli studi raccolti su tali argomenti sono stati riorganizzati e quindi correlati tra loro per mettere a punto un modello di costi-benefici che cerca di valutare per ciascun

livello di diminuzione dell'inquinamento atmosferico ottenibile, quale sia la conseguente potenziale diminuzione nel numero di morti/ malattie, e quindi il relativo beneficio economico-sociale in termini di minor spesa sanitaria e di altri fattori correlati (ad es. giornate di assenza dal lavoro, valore attribuito a ciascun anno di vita perso...).

## 2. I COSTI ECONOMICO-SOCIALI DELL'INQUINAMENTO ATMOSFERICO

Ricerche nazionali ed internazionali hanno ampiamente dimostrato che gli inquinanti atmosferici creano disturbi spesso di natura cronica a medio-lungo termine, soprattutto legati a malattie respiratorie quali asma, broncopneumopatia cronica ostruttiva (BPCO), riniti allergiche e non allergiche, rinosinusiti e ipertensione polmonare. Le malattie respiratorie e allergiche sono tra le patologie più diffuse nella popolazione italiana, anche tra giovani e bambini, con un livello notevolissimo di impegno per il sistema della salute pubblica, oltre che a mancata produzione per assenze dal lavoro e quindi con costi ed impatto socio-economico elevatissimi. Tali patologie sono inoltre tra quelle considerate maggiormente prevenibili. Gli studi da noi raccolti dimostrano che i costi sociali causati dall'inquinamento atmosferico sono molto rilevanti in quanto più di 200 malattie, alcune anche gravemente invalidanti, si ritengono legate a fattori ambientali: soltanto le malattie dell'apparato respiratorio non tumorali rappresentano ad oggi la terza causa di morte in Italia, dopo le malattie cardiovascolari e i tumori.

Anche la relazione tra l'incremento di concentrazione delle polveri e dei gas

nell'atmosfera e la mortalità per cause naturali, cardiache, cerebrovascolari e respiratorie è stata largamente documentata da un elevato numero di studi epidemiologici disponibili in letteratura; tale rapporto di causalità si esplicita nell'incremento di tre tipi di fenomeni: morbosità (aumento dell'incidenza di determinate patologie, quali malattie respiratorie e cardio-circolatorie), mortalità naturale e mortalità per causa cardio-vascolare e tumore al polmone.

Nell'ambito di queste tre tipologie possono distinguersi *effetti di breve termine o acuti* e altri di lungo termine o cronici: tra i primi si comprendono gli eventi osservabili a breve distanza dai picchi nella concentrazione di inquinanti, come la mortalità acuta che provoca aumenti di mortalità per tutte le cause o l'insorgere di determinate patologie, in particolare di natura respiratoria o cardiocircolatoria.

Vi sono poi gli *effetti di lungo periodo*, dovuti ad esposizione prolungata a livelli di inquinamento elevati, oggetto di studio solo in un periodo più recente, che si prefiggono di quantificare la relazione tra l'esposizione agli inquinanti e la mortalità dovuta ad eventi tumorali o per cause cardio-respiratorie (ad es. uno studio di Pope et al. del 2002 ha mostrato una correlazione positiva e significativa di questo tipo nel lungo periodo).

A tutti questi eventi, decessi o stati morbili, è possibile attribuire un costo utilizzando varie metodologie che la ricerca epidemiologica ed economica insieme hanno contribuito a definire. A seconda della visione adottata è possibile giungere a differenti stime dei costi totali dell'inquinamento atmosferico che, utilizzati come punto di partenza, possono fornire una quantificazione di massima dei risparmi

ottenibili dall'impiego di pigmenti e malte foto catalitiche a base di  $TiO_2$  nanometrico su larga scala nei centri urbani.

I costi stimati, e quindi i possibili risparmi, possono essere semplicemente quelli diretti, quando si consideri il solo costo sostenuto dal Servizio Sanitario Nazionale per i ricoveri attribuibili all'inquinamento atmosferico, ma nel caso più reale possono giungere fino alla valorizzazione economica dei decessi dovuti alle elevate concentrazioni di inquinanti.

Una stima più onnicomprensiva del costo economico e sociale dell'inquinamento può essere quantificata se si considerano anche i costi diretti ed indiretti che le patologie più comuni possono comportare per la società nel suo complesso.

La ricerca ha inteso in primo luogo individuare i dati e gli elementi più idonei da inserire in un modello di stima del costo economico-sociale dell'inquinamento atmosferico, a tal scopo è stata pertanto organizzata in tre parti:

1. selezione dei dati sulla relazione tra esposizione agli inquinanti ed aumento della probabilità di morte o di contrarre determinate patologie, con individuazione dei coefficienti Dose-Risposta più attendibili per ciascun tipo di inquinante;

2. quantificazione dei costi associabili a ciascun evento, dove per evento si intende decesso (par.2.2) e/o stato morbile (par.2.3), a seconda dello specifico scenario adottato;

3. stima, per il caso della città di Torino, del numero di casi attribuibili all'inquinamento (par.2.4), rispetto a ciascun evento morbile/mortale, e quindi relativi costi risparmiabili a seconda di ciascuna potenziale diminuzione

percentuale del livello di inquinamento ottenibile con l'utilizzo di  $TiO_2$  nanometrico fotocatalitico (par. 2.5). Per far ciò è stata utilizzata la metodologia proposta inizialmente da Künzli et al. (1999) e ripresa da successivamente da WHO (2004).

### 2.1 *Esposizione agli inquinanti e salute: i coefficienti dose/risposta RR*

Gli effetti negativi sulla salute umana di particolari agenti inquinanti, specie il  $PM_{10}$  e gli  $NO_2$ , sono studiati da molti anni e la maggior parte della letteratura epidemiologica concorda su alcuni effetti di carattere acuto ed altri di carattere cronico, conseguenti ad una esposizione di medio/lungo termine.

I numerosi studi condotti su popolazioni esposte e su campioni di controllo convergono verso l'individuazione dei cosiddetti *coefficienti di rischio relativo (RR)*, detti anche *coefficienti dose-risposta o Beta ( $\beta$ )*, che misurano il maggior rischio di ammalarsi subito dalle popolazioni esposte a determinati livelli di inquinamento.

Questi coefficienti RR vengono normalmente riferiti in letteratura a variazioni nelle concentrazioni di inquinanti atmosferici pari a  $10 \mu g/m^3$ , ossia 10 microgrammi per metro cubo.

I coefficienti RR vengono stati stimati per ciascun inquinante specifico e variano nel tempo e nello spazio; è pertanto fondamentale disporre di stime il più aggiornate possibili e prossime dal punto di vista geografico al luogo per il quale si intende effettuare la stima. A livello internazionale i numerosi studi disponibili riportano coefficienti molto diversi da stima a stima, (si veda Lattarullo e Plechero, 2005).

Tab. 1: Coefficienti di rischio relativo (RR) per la Mortalità anticipata

Evento (Mortalità Anticipata)	PM <sub>10</sub>		NO <sub>2</sub>		Fonte
	Coeff. RR	Int. di conf. 95%	Coeff. RR	Int. di conf. 95%	
Mortalità naturale	1,0069	1,0040; 1,0098	1,0099	1,0024; 1,0174	<i>EpiAir: Strafoggia et al. (2009)</i>
Mortalità cardio-circolatoria	1,0106	1,0030; 1,0183	1,0263	1,0153; 1,0375	<i>EpiAir: Strafoggia et al.(2009)</i>
Mortalità respiratoria	1,0308	1,0159; 1,0459	1,0287	1,009; 1,0572	<i>EpiAir: Strafoggia et al.(2009)</i>
Mortalità tumore vie respiratorie	1,13	1,04; 1,22	1,13*	1,04*; 1,22*	<i>Lattarullo e Plechero (2005)</i>

\*valori ipotizzati uguali per PM<sub>10</sub> e NO<sub>2</sub> (ipotesi conservativa rispetto all'evidenza EpiAir, 2009)

Per l'Italia lo studio di riferimento è frutto del progetto EpiAir, che ha monitorato l'inquinamento atmosferico in 10 città italiane per il periodo 2001-2005; i risultati, pubblicati nel 2009, mostrano un effetto significativo sia sulla mortalità generale detta "naturale", sia su alcune cause specifiche di mortalità (cardio-circolatoria, respiratoria, per tumore) in conseguenza ad incrementi nella concentrazione di inquinanti nell'aria; tra questi spiccano effetti più gravi sulla mortalità naturale e cardio-circolatoria nel caso dell'NO<sub>2</sub> (Tab.1).

I diversi contributi in tabella 1 tratti dallo studio EpiAir (Strafoggia *et al.*, 2009) riportano i risultati metanalitici per le 10 città<sup>3</sup> in studio, relativi all'associazione tra mortalità e inquinamento atmosferico, per causa del decesso, inquinante e l'arco temporale, significativo rispetto a ciascun evento, di esposizione a variazioni di 10 µg/m<sup>3</sup> nella concentrazione dell'inquinante.

Per quanto riguarda la mortalità naturale, che rappresenta la mortalità anticipata dovuta

<sup>3</sup> Le dieci città in oggetto sono: Bologna, Cagliari, Firenze, Mestre, Milano, Palermo, Pisa, Roma, Taranto e Torino.

ad esposizione di *breve termine* alla sostanza, si è fatto riferimento al coefficiente RR relativo ad un anno di esposizione all'inquinante. Al contrario per la mortalità cardiocircolatoria, respiratoria e tumorale, legate ad una esposizione di *lungo termine*, ci si è riferiti al coefficiente relativo ad un arco di 5 anni.

La tabella 1 riporta, oltre alle stime centrali del coefficiente RR (nella forma 1 + incremento di rischio per ciascun aumento di 10 µg/m<sup>3</sup> nella concentrazione dell'inquinante) anche gli intervalli di confidenza al 95%<sup>4</sup> corrispondenti.

Nel caso del tumore alle vie respiratorie, a causa della mancanza di una stima specifica in EpiAir, si è fatto riferimento al coefficiente RR riportato nello studio, sempre relativo al caso italiano ed in particolare alla Toscana, di Lattarullo e Plechero (2005).

<sup>4</sup> Il valore inferiore e superiore dell'intervallo rappresentano un range all'interno del quale si trova il valore vero del parametro con una probabilità di errore del 5%. Costituiscono una misura della variabilità delle stime in quanto alla loro definizione concorre la varianza campionaria.

Tab. 2: Coefficienti di rischio relativo (RR) per ricoveri ospedalieri e stati morbili minori

	PM <sub>10</sub>		NO <sub>2</sub>		Fonte
	Coeff.RR	Int. di conf. 95%	Coeff. RR	Int. di conf. 95%	
Ricoveri per malattie cardio vascolari (età >25)	1,0069	1,0035; 1,0103	1,0069	1,002; 1,0119	EpiAir: Colais et al. (2009)
Ricoveri per malattie respiratorie (età >25)	1,0078	1,0040; 1,0116	1,0071	1,0014; 1,0128	EpiAir: Colais et al. (2009)
Insorgere bronchiti acute	1,306	1,13; 1,502	1,306*	1,13*; 1,502*	Lattarullo e Plechero (2005)
Attacchi d'asma bambini (età <15)	1,051	1,047; 1,055	1,051*	1,047*; 1,055*	Lattarullo e Plechero (2005)
Attacchi d'asma adulti (età >15)	1,004	1,00; 1,008	1,004*	1,00*; 1,008*	Lattarullo e Plechero (2005)
Insorgere sintomi respiratori	1,07	1,02; 1,11	1,07*	1,02*; 1,11*	Lattarullo e Plechero (2005)
Giorni di attività limitata (età >25)	1,094	1,079; 1,109	1,094*	1,079*; 1,109*	Lattarullo e Plechero (2005)

\*valori ipotizzati uguali per PM<sub>10</sub> e NO<sub>2</sub> per mancanza di questi ultimi

I coefficienti RR dose/risposta sono stati stimati dalla letteratura epidemiologica anche per ciascuna *patologia aggravata o causata* con probabilità maggiore in caso di aria inquinata. Anche in questo caso gli studi qui selezionati confrontano delle popolazioni esposte rispetto a campioni di controllo che vivono in zone caratterizzate da concentrazioni inferiori delle sostanze considerate. La tabella 2 riporta, per ciascuna patologia considerata, il coefficiente RR corrispondente, poi adottato per la stima dei costi economico-sociali dell'inquinamento nella città di Torino condotta nell'ultimo paragrafo del presente lavoro. Nella fattispecie tale tabella riassume i risultati metanalitici per le 10 città in studio del rapporto EpiAir (Colais *et al.*, 2009), ossia i coefficienti RR relativi all'associazione tra ricoveri e inquinamento atmosferico, per patologia di ricovero e tipo di inquinante, in un periodo di esposizione prolungato (2001-2005). Le stime centrali degli incrementi percentuali di rischio relativo e gli intervalli di confidenza al 95% fanno sempre riferimento a variazioni di 10 µg/m<sup>3</sup> dell'inquinante.

Per completezza sono stati anche riportati altri dati per noi utili alla stima finale dei costi, anche se provenienti da fonti diverse (Lattarullo e Plechero, 2005).

Nel caso di assenza di stime dei rischi relativi specifici per l'NO<sub>2</sub>, sono stati utilizzati coefficienti RR relativi agli effetti del PM<sub>10</sub>, rispetto al quale si trovano in letteratura molte più informazioni. L'estendere i coefficienti stimati per il PM<sub>10</sub> anche all'NO<sub>2</sub> rappresenta un'approssimazione, ma si tratta di un compromesso indispensabile al fine di giungere ad una stima accettabile del costo sociale totale. Il confronto con altri studi diversi da EpiAir evidenzia soprattutto come siano piuttosto scarsi i lavori che considerano singolarmente l'effetto degli NO<sub>2</sub> rispetto a quelli sul PM<sub>10</sub>, ciò motiva ulteriormente l'uso dei coefficienti RR relativi a quest'ultimo anche per gli effetti degli NO<sub>2</sub>. È però necessario notare che i dati EpiAir, quando disponibili per entrambi gli inquinanti rispetto alla morbilità, mostrano un effetto peggiore degli NO<sub>2</sub> rispetto al solo PM<sub>10</sub>. L'utilizzo dei medesimi coefficienti RR, oltre ad essere una scelta obbligata in carenza di dati, appare

pertanto accettabile in quanto conservativa: se fosse confermata l'evidenza dei dati EpiAir anche per quelle patologie prive di stime puntuali dei coefficienti RR, gli effetti dell'NO<sub>2</sub> sarebbero in realtà sottostimati nella presente analisi. Di fondamentale importanza sono i due coefficienti RR relativi ai ricoveri ospedalieri (Tab.2) in quanto gli unici rilevanti ai fini delle quantificazioni più prudentiali e dirette dei costi solo sanitari.

## 2.2 *Inquinamento atmosferico e costi da mortalità anticipata*

Esistono diversi metodi in statistica o in campo assicurativo, sia per stimare il valore della vita umana, sia per determinare i costi relativi a particolari stati morbili; quantificazioni monetarie di eventi così tragici non intendono attribuire un valore reale ad un evento il cui effetto negativo è in realtà indeterminato.

Questo approccio risulta però utile nelle scelte pubbliche per consentire di prendere decisioni, avendo come riferimento dei valori confrontabili che possano dare un peso alla centralità della vita umana e della salute. Tra i diversi metodi proposti per stimare il valore economico della vita umana, quello più comunemente accettato è basato su una valutazione della vita residua attraverso la disponibilità a pagare dei soggetti "Willingness To Pay" (WPT) per vedersi ridurre il loro rischio di morte.

Nel presente studio viene adottato invece un approccio più conservativo, basato sul valore degli anni di vita persi, che ricalca la metodologia proposta da Externe (1999), uno degli studi alla base di questo approccio.

Partendo dal presupposto che i morti osservati in un determinato anno non possono essere attribuiti in toto a questa o quella causa,

ciò che si osserva a causa dell'inquinamento è una mortalità anticipata per taluni soggetti.

Determinato l'accorciamento medio della vita in base alla struttura per età della popolazione, occorre stimare il valore attribuito, ovvero la disponibilità a pagare, di ciascun soggetto per un anno di vita aggiuntivo (in particolare con il metodo della valutazione contingente); moltiplicando quindi tale valore per gli anni di vita persi in media dalla popolazione per classe d'età a causa dell'inquinamento è possibile giungere ad una stima economica del valore dell'accorciamento della speranza di vita dovuta all'inquinamento atmosferico.

La stima con questo metodo prodotta da Lattarullo e Plechero (2005) per il caso della Toscana mostra come in media l'accorciamento della vita media a causa dell'inquinamento si aggiri intorno al valore di 4,5 anni, un lasso di tempo che abbiamo considerato essere accettabile anche per il Piemonte, visti i livelli di concentrazione di PM<sub>10</sub> e NO<sub>x</sub> che abbiamo verificato essere simili tra le due regioni.

Partendo dalle stime prodotte dal progetto da Externe (1999) attualizzate al 2002 sempre da Lattarullo e Plechero (2005), il valore attribuito a ciascun anno di vita è di circa 123.000 euro (per cui circa 550.000 euro per i 4,5 anni stimati di accorciamento della vita media).

La tabella 3 mostra le stime in termini monetari, qui attualizzati al 2010 applicando l'IPC (Indice ISTAT dei Prezzi al Consumo), di ciascun evento mortale di breve o lungo termine, considerandolo come caso di mortalità anticipata che si verifica in conseguenza all'inquinamento, valorizzato quindi esclusivamente con il valore attribuibile all'anticipo del decesso.

Tab. 3: Costi sociali stimati per i casi di mortalità anticipata (4,5 anni) dovuta ad inquinamento atmosferico, per causa di decesso e per ciascun soggetto

	Costi unitari sociali stimati € prezzi 2002	Costi unitari sociali stimati € prezzi 2010
Mortalità naturale anticipata per esposizione <u>a breve</u> termine	550.000	640.750
Mortalità anticipata Cardiovascolare per esposizione <u>a lungo</u> termine	550.000	640.750
Mortalità anticipata tumore vie respiratorie per esposizione <u>a lungo</u> termine	550.000	640.750

Elaborazione dati da Externe (1999) e Lattarullo e Plechero (2005)

### 2.3 Inquinamento atmosferico e costi da morbilità

Anche l'insorgere o l'acutizzarsi di una malattia crea una serie di effetti economici che possono ricondursi a: costi diretti (sostanzialmente spese ospedaliere e farmaceutiche a carico della collettività o del singolo individuo), nonché costi indiretti e costi intangibili connessi solo in seconda battuta all'evento morbile.

In particolare tra gli indiretti sono comprese la minore produzione presente e futura causata dall' inabilità temporanea o permanente dovuta alla malattia, mentre tra quelli intangibili si conteggiano anche il dolore dei familiari, il minor godimento della vita, lo stato d'ansia e la sofferenza dovuti al proprio stato di salute.

In letteratura sono individuabili due metodi di stima dei costi connessi alla contrazione di patologie, il metodo COI (Cost of Illness) e il metodo il WTP (Willingness To Pay).

Il *metodo COI* è volto a valutare i costi sanitari e delle prestazioni farmaceutiche per la cura delle diverse patologie, tenendo conto inoltre della perdita di produzione causata dall'assenza di lavoro per malattia. Tale metodo richiede la conoscenza delle spese

private e sociali correlate alla cura delle diverse sintomatologie ed è quindi di difficile applicazione pratica, nonché meno utilizzato nei lavori recenti. Il *metodo WTP*, al contrario, risulta essere quello più comunemente accettato (Bickel, Friedrich, 2001b) in quanto permette di stimare anche i costi che non hanno un diretto riscontro sul mercato attraverso una valutazione della disponibilità a pagare dei singoli individui per una riduzione del rischio di contrarre la malattia, come per il caso di morte prima descritto.

Tale stima può quindi comprendere la quantificazione dei costi intangibili (es. pena, sofferenza, il desiderio di non essere ammalato) che riflettono la perdita di utilità per l'individuo conseguente allo stato di malessere, e dei costi per l'impiego di risorse in usi alternativi, ad esempio a causa di una diminuita capacità di svolgere le proprie attività quotidiane (es. quantificazione monetaria dell'impossibilità di svolgere attività extralavorative, del tempo e delle risorse perse per attività di prevenzione).

Anche per gli eventi patologici in qualche modo correlati ad inquinamento esistono diversi studi che propongono una quantificazione dei costi associati. Nel presente lavoro (tab.4), nel procedere nella

Tab. 4: Costi stimati per sintomatologia, per ciascun ricovero o evento morbile, attualizzati con IPC Italia dell' Istat

<i>Evento morbile</i>	<i>Costo per evento prezzi in Euro al 2002</i>	<i>Costo per evento prezzi in Euro al 2010</i>
Ricoveri cardio vascolari (costi sanitari diretti DRG)		3.227,75
Ricoveri respiratori (costi sanitari diretti DRG)		4.756,08
Ricoveri per tumore al polmone (costi sanitari diretti DRG)		4.756,08
Ricoveri cardio-vascolari (costi sociali)	9.918	11.554
Ricoveri respiratori (costi sociali+costi sanitari)	9.918	11.554
Bronchiti acute (costi sociali+costi sanitari)	146,0	170,1
Asma bambini (costi sociali)	34,5	40,2
Asma adulti (costi sociali)	34,5	40,2
Giorni di attività limitata (RAD- Reduced Activity Days) (costi sociali)	118,0	137,5
Insorgere di sintomi respiratori (costi sociali)	8,5	9,9

Elaborazione dati Rapporto Annuale sull'Attività di Ricovero (2011) per i costi sanitari, mentre per i costi sociali Lattarullo e Plechero (2005).

raccolta degli elementi utili alla costruzione del nostro modello, per i costi sanitari diretti vengono elaborati i dati tratti dai *Rapporto Annuale sull'Attività di Ricovero* (2011), mentre, per i costi sociali vengono riprese alcune stime, raccolte e sistematizzate da Lattarullo e Plechero (2005), ottenute mediante il metodo WTP ma relative ad anni passati, in particolare al 2002, quindi qui attualizzate al 2010 attraverso l'indice dei prezzi al consumo forniti dall'Istat.

Per quanto riguarda i costi relativi al ricovero per cause respiratorie o cardiovascolari, sono stati adottati i valori relativi al rimborso ricevuto dalle aziende

ospedaliere e dalle ASL, relativamente a ciascun ricovero per patologia specifica<sup>5</sup>.

I costi stimati per le altre sintomatologie sono stati ottenuti usando invece come dati di partenza quelli già attualizzati al 2002 pubblicati in Lattarullo e Plechero (2005), ulteriormente aggiornati al 2010 con l'indice dei prezzi Istat, ottenendo un valore in euro per ciascun evento. I costi sociali sono quelli ottenuti col metodo WTP prima descritto.

<sup>5</sup> Tali rimborsi sono determinati su base nazionale attraverso il metodo dei Raggruppamenti Omogenei di Diagnosi (in inglese Diagnosis-related group ovvero DRG) attribuiti all'atto della dimissione e tratti dal Rapporto Annuale sull'Attività di Ricovero (2011) e pertanto relativi al 2010.

#### 2.4 *Inquinamento e casi di mortalità/morbilità attribuibili: un modello di stima*

Come prima descritto i casi di mortalità o di morbosità osservati nella realtà contengono al loro interno anche i casi direttamente attribuibili all'inquinamento atmosferico; per procedere nella stima qui proposta è quindi stato necessario applicare un algoritmo specifico in grado di separare questi casi particolari e poterne così quantificare il costo sulla base dei valori monetari di ciascun evento (mortalità anticipata o insorgere di una patologia specifica) che sono stati presentati nelle sezioni precedenti. L'algoritmo prescelto è stato formulato da Künzli et al. (1999), al quale si rimanda per una spiegazione più dettagliata.

Attraverso l'applicazione dei coefficienti dose/risposta specifici per ciascun inquinante (individuati nelle Tab.1-2), conoscendo la concentrazione di inquinanti presente in un dato momento e la popolazione ad essi esposta, è possibile stimare il numero di casi di mortalità anticipata e morbosità attribuibili al dato livello di inquinamento attraverso la formula seguente:

$$E = A * B * (C/10) * P \quad (\text{eq.1})$$

Dove i singoli termini assumono i seguenti significati:

$A = [(RR-1)/RR]$  rappresenta la quota di effetti sanitari attribuibili a ogni unità di concentrazione di inquinante rispetto all'intero insieme di effetti sanitari sulla popolazione totale;  $RR$  rappresenta il coefficiente di rischio relativo tratto dalla letteratura epidemiologica ed in particolare alle tabelle 1-2.

$B = B_0 / [1+(RR-1)*(C/10)]$  quantifica l'incidenza stimata di decessi, ricoveri, eventi sanitari sulla popolazione esposta, al netto dell'effetto del livello di inquinamento prefissato.

$B_0$  rappresenta l'incidenza osservata nella realtà di decessi, ricoveri, eventi sanitari sulla popolazione e comprende quindi anche l'effetto degli inquinanti.

$C$  rappresenta la variazione di concentrazione in termini assoluti di inquinante ( $PM_{10}$  o  $NO_2$ ).

$P$  rappresenta invece la popolazione totale di riferimento rispetto agli effetti sanitari considerati (es. popolazione complessiva per classe di età rilevante per l'effetto sanitario considerato).

Il risultato che si ottiene, denominato  $E$  nell'equazione 1, rappresenta il numero di casi che sono, annualmente, direttamente attribuibili all'inquinamento atmosferico ed è direttamente riferibile a ciascun evento morbile o di mortalità anticipata. Di conseguenza l'applicazione della formula deve essere ripetuta per ciascun evento preso in considerazione, dai ricoveri per cause cardio-vascolari a quelli per cause respiratorie, dalla mortalità anticipata per tutte le cause a quella cronica per tumore al polmone, fino a considerare i casi per patologie più lievi direttamente ascrivibili ad elevate concentrazioni di  $PM_{10}$  o  $NO_x$ .

#### 2.5 *Una prima stima dei costi da inquinamento oltre soglia limite nella città di Torino*

Per giungere ad una stima dei costi totali legati all'inquinamento e di conseguenza poter quantificare il risparmio potenziale nel caso in cui la concentrazione di  $PM_{10}$  o  $NO_2$

Tab. 5: Concentrazione media di inquinanti, rilevate dalle stazioni  
ARPA di Torino, 2010

Posizione	NO <sub>2</sub> µg/m <sup>3</sup>	PM <sub>10</sub> µg/m <sup>3</sup>
Stazione rilevamento Lingotto	65	43
Stazione rilevamento Consolata	42	65
Stazione rilevamento Rebaudengo	74	--
Media Città di Torino	60,3	54

Fonte: Banca Dati Brace, ISPRA 2012

venga ridotta da un fattore esogeno, come l'utilizzo di TiO<sub>2</sub> nanometrico su strade ed edifici, è stato necessario partire dai dati osservati rispetto a popolazione esposta, struttura per età, mortalità e morbilità per causa, in un determinato territorio.

Esistono delle soglie, comunemente accettate e proposte a livello internazionale dall'Organizzazione Mondiale per la Sanità (OMS) al di sotto delle quali i rischi per la salute umana sono molto ridotti. Per determinare quali dei casi di mortalità e morbilità osservati siano attribuibili all'inquinamento è stato necessario considerare tali soglie, oltre che determinare con precisione la concentrazione di inquinanti presente nell'aria ad una determinata data.

Nella città di Torino esistono diverse stazioni di rilevamento degli agenti inquinanti, gestite localmente dall'Arpa, che trasmettono i dati raccolti all'ISPRA (Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale) che a sua volta le organizza nella Banca Dati BRACE. Per completezza sono stati qui riportati in tabella 5, i dati medi annuali di concentrazione relativi alle tre stazioni di rilevamento attive a Torino, riassunti poi in un dato medio cittadino, valido per l'anno 2010 (ultimo anno disponibile).

Per la tutela della salute umana il valore limite della media annuale delle concentrazioni di NO<sub>2</sub> non deve superare i 40 µg/m<sup>3</sup> (recependo la direttiva 99/30/CE), mentre per il PM<sub>10</sub> il valore limite risulta pari a 20 µg/m<sup>3</sup>, come suggerito dalla OMS (WHO, 2006). Di conseguenza tutti i calcoli proposti nelle sezioni successive sono stati effettuati sul differenziale tra le concentrazioni rilevate rispetto a tali soglie, mantenendo anche in questo caso un approccio precauzionale.

Molti studi epidemiologici dimostrano come le concentrazioni di PM<sub>10</sub> ed NO<sub>2</sub> risultino fortemente correlate, e questo rende difficile separare gli effetti dovuti ad uno o all'altro inquinante, nel senso che entrambi concorrono al deterioramento della salute umana probabilmente in modo non additivo: sommare casi di patologie o morte calcolati per l'NO<sub>2</sub> con quelli rilevati per il PM<sub>10</sub> sarebbe pertanto una stima troppo pessimistica dell'effetto dell'inquinamento atmosferico cittadino. E' necessario inoltre sottolineare come la reazione di fotocatalisi propria del biossido di titanio nanometrico appare di più facile determinazione nel caso del biossido di azoto NO<sub>2</sub>, che quindi sarà l'inquinante preso come riferimento dalle

Tab. 6: Popolazione residente per classe d'età, città di Torino

Età	N. individui	%
<15	113.767	13%
15-25	76.719	8%
>25	717.777	79%
Totale	908.263	100%

Fonte: Istat, dati riferiti al 2008

stime successive dei casi attribuibili e dei costi totali.

La stessa procedura può essere ripetuta per il PM<sub>10</sub>, ottenendo risultati simili, ma caratterizzati da un numero inferiore di casi attribuibili pressoché per tutte le patologie e cause di morte, come è confermato anche in letteratura.

Il sistema sanitario di monitoraggio delle cause di morti e l'incidenza di determinate patologie, organizzato nello strumento "Health for All" messo a disposizione dall'Istat, ha consentito di fotografare, anche se per il 2008, la popolazione esposta a ciascuna patologia o fonte di esposizione agli inquinanti.

Occorre inoltre disporre della composizione per età della popolazione residente (nella tab.6 è riportata quella relativa al comune di

Torino), per poter determinare quella esposta a ciascun evento e quindi il numero di casi attualmente attribuibili all'inquinamento rispetto a ciascun evento di morte o patologie registrate; le classi più rilevanti ai fini di quantificare gli effetti dell'inquinamento sono i bambini (età inferiore a 15 anni) e gli adulti (età superiore a 25 anni).

Sempre per arrivare a determinare il numero di casi attualmente attribuibili all'inquinamento, la tabella 7 riporta l'incidenza, ogni 10 mila abitanti, delle cause di morte e delle patologie di maggior gravità rilevanti ai nostri fini; si tratta dei dati relativi alla città di Torino per l'ultima osservazione disponibile, cioè il 2008; vengono inoltre riportate le classi di popolazione esposte a ciascun tipo di fenomeno (decesso o evento morbile).

Tab. 7: Casi di mortalità e dimissione ospedaliera specifici per la provincia di Torino.

Evento mortale o ospedaliero	Incidenza su 10.000 ab.(N°)	Pop. Esposta
Decessi per tumori maligni dell'apparato respiratorio	6,63	Pop. Età > 25
Decessi per malattie del sistema circolatorio (Popolazione)	38,13	Pop. Età > 25
Decessi per malattie del sistema respiratorio (Popolazione)	6,96	Pop. Età > 25
Mortalità totale (Popolazione)	100,77	Pop. tutte età
Dimissioni malattie apparato respiratorio	101,06	Pop. tutte età
Dimissioni malattie sistema circolatorio	218,51	Pop. tutte età

Fonte: Istat, Health for All, dati 2008

All'interno di questi casi osservati nella realtà sono compresi, naturalmente, anche quelli di nostro interesse, ovvero direttamente attribuibili a concentrazioni di PM<sub>10</sub> ed NO<sub>2</sub> superiori ai limiti considerati non pericolosi per la salute umana, e che pertanto andranno scorporati.

L'inquinamento cittadino influenza poi la probabilità di contrarre altre patologie di minore entità che colpiscono con elevata frequenza la popolazione di tutte le classi di età: bronchiti infantili, attacchi di asma o l'insorgere di lievi sintomi respiratori, per le quali non esistono statistiche ufficiali ed è quindi necessario stimare il numero di casi in base a parametri forniti da altri studi di carattere epidemiologico, non specificamente focalizzati sull'inquinamento. Lo studio WTO (2002) prende in analisi i casi registrati di diverse patologie verificatisi in 8 città italiane nel 1998, la tabella 8 riporta l'incidenza registrata a Torino, che verrà qui applicata alla popolazione 2008 per giungere a determinare i casi totali per ciascuna patologia relativi alla popolazione attuale.

Applicando la procedura algebrica riportata

nell'equaz.1 prima descritta ( $E = A * B * (C/10) * P$ ) e sostituendo all'interno della formula i dati relativi a popolazione esposta (tab.6), casi di mortalità/morbilità registrati (che contengono quelli causati dall'inquinamento, tab.7-8), coefficienti dose/risposta specifici per l'NO<sub>2</sub> (tab. 1-2) ed infine concentrazione registrata di NO<sub>2</sub> oltre la soglia di sicurezza (tab.5), è così possibile fornire una prima quantificazione (anche se approssimativa, in quanto sottoposta a diverse ipotesi) dei casi di morte o di maggior incidenza delle patologie causate dall'inquinamento nella città di Torino (tab.9); i risultati mostrano un'incidenza significativa sia per mortalità sia per le altre patologie, almeno come ordine di grandezza.

Infatti, secondo le stime qui calcolate, livelli di NO<sub>2</sub> oltre i limiti di tutela della salute previsti dalle soglie, determinano attualmente ogni anno a Torino circa il 4,7% delle morti per cause cardiovascolari e circa il 10% dei decessi per tumore al polmone, mostrando pertanto risultati comparabili a quelli stimati per i centri urbani toscani prodotti da Lattarullo e Plechero (2005).

Tab. 8: Tassi d'incidenza sul totale della popolazione di alcune patologie minori – Torino

Patologia minore	Popolazione di riferimento	Incidenza per abitante
Bronchiti acute bambino	Pop. Età < 15	0,106
Attacchi d'asma bambino	Pop. Età < 15	0,33
Attacchi d'asma adulto	Pop. Età > 15	0,21
Giorni di attività limitata (RAD) over 25	Pop. Età > 25	2,91
Insorgere di sintomi respiratori	Popolazione	11,4

Fonte: WTO (2002)

Tab. 9: Casi per anno attribuibili all'inquinamento da ossidi di azoto (NO<sub>2</sub>) nel caso attuale e scenario ipotetico di riduzione dell'8% degli NO<sub>2</sub> – Città di Torino

Casi attribuibili	Scenario Attuale NO <sub>2</sub> 60,3 µg/m <sup>3</sup>	Scenario Ipotetico NO <sub>2</sub> 55 µg/m <sup>3</sup> (riduz. 8%)	N° Riduzione casi attribuibili
Mortalità breve termine	145	108	37
Mortalità cronica Cardiovascolare	243	185	58
Mortalità cronica tumorale	68	52	16
Ricoveri cardio-vascolari	305	226	79
Ricoveri respiratori	158	117	41
Bronchiti acute bambini	2.016	1.580	436
Asma bambini	2,828	2,134	694
Asma adulti	1,318	976	342
Giorni di attività limitata (RAD)	234.627	179.064	55.564
Insorgere di lievi sintomi respiratori	972.557	737.888	234.669

La tab.9 accanto allo scenario attuale, ipotizza il caso di una diminuzione dell'8% degli NO<sub>2</sub> presenti nell'aria grazie all'applicazione di TiO<sub>2</sub> fotocatalitico su strade ed edifici della città, e calcola pertanto la potenziale diminuzione dei casi di mortalità/morbilità conseguente a un tale intervento<sup>6</sup>.

### 3. STIMA DEI POTENZIALI RISPARMI NEI COSTI DA INQUINAMENTO CON L'USO DI TIO<sub>2</sub> NANOMETRICO

Gli aspetti epidemiologici fin qui presentati sono strumentali per comprendere i possibili risparmi di costo derivanti dall'applicazione su strade ed edifici di prodotti che contengano biossido di titanio nanometrico infatti, a

<sup>6</sup> Una potenziale diminuzione dell'NO<sub>2</sub> dell'8% è stata stimata dallo "Studio di materiali fotocatalitici per la pavimentazione stradale" commissionato da Regione Piemonte e Comune di Torino al Dipartimento di Chimica dell'Università di Torino nel 2007-2008.

partire dalle stime effettuate nella tab.4, sono stati calcolati nel dettaglio i costi per ciascuna patologia, a seconda dello scenario di inquinamento considerato e dell'approccio preferito nella quantificazione dei costi (tab.10). In particolare i valori riportati nella tabella 10 sono stati ottenuti moltiplicando i costi (sociali o sanitari) correlati a ciascuna patologia (tab.4), per il numero di casi che sono direttamente attribuibili al fattore inquinamento, ottenuti mediante l'applicazione dell'algoritmo (eq. 1) e riportati, suddivisi per patologia, nella tabella 9.

Come emerge chiaramente dai dati, i costi totali legati alle morti premature connesse all'inquinamento rappresentano una quota importante dei costi totali; se invece l'attenzione viene limitata ai soli eventi morbili, la quota maggiore dei costi è attribuibile ai giorni di attività limitata e all'insorgere di lievi sintomi respiratori. Questi due casi, infatti, nonostante

Tab. 10: Costi monetari in Euro relativi ai casi attribuibili nel caso attuale e nello scenario ipotetico di riduzione dell'8% degli NO<sub>2</sub>, conseguenti risparmi – città di Torino

	Scenario Attuale 60,3 µg/m <sup>3</sup> NO <sub>2</sub>			Scenario Ipotetico 55 µg/m <sup>3</sup> NO <sub>2</sub>			Risparmi % sui Costi totali sociali
	Costi sanitari	Costi totali della morbilità	Costi sociali totali	Costi sanitari	Costi totali della morbilità	Costi sociali totali	
Mortalità breve termine			92.894.568			68.982.869	25,7%
Mortalità Cardiovascolare			155.966.831			118.639.794	23,9%
Mortalità Tumorale			43.307.450			33.286.199	23,1%
Ricoveri cardio-vascolari	984.572	3.524.502	3.524.502	730.471	2.614.889	2.614.889	25,8%
Ricoveri respiratori	749.783	1.821.531	1.821.531	556.545	1.352.076	1.352.076	25,8%
Bronchiti acute bambini		342.898	342.898		268.689	268.689	21,6%
Attacchi Asma bambini		113.681	113.681		85.774	85.774	24,5%
Attacchi Asma adulti		52.958	52.958		39.212	39.212	26,0%
RAD – Giorni attività limitata		32.254.203	32.254.203		24.615.863	24.615.863	23,7%
Lievi sintomi respiratori		9.630.743	9.630.743		7.306.937	7.306.937	24,1%

presentino un costo unitario limitato, si manifestano con frequenza relativamente alta e, inoltre, su di una popolazione esposta elevata.

Nell'ultima colonna della tabella 10 viene calcolata la riduzione percentuale dei costi totali che si potrebbe osservare nel caso in cui, mediante l'applicazione di prodotti foto catalitici a base di TiO<sub>2</sub>, si ottenesse una riduzione della concentrazione di NO<sub>2</sub> intorno all'8%: il risparmio sui costi sociali totali varierebbe in tal caso tra il 21 ed il 28%, a seconda della casistica e della patologia.

Sommando tali costi per tipologia, nella tab.11 appare evidente che, con uno scenario di riduzione degli NO<sub>2</sub> dell'8%, i risparmi di costo si aggirerebbero intorno al mezzo milione di euro all'anno, se si considerasse anche il solo sistema sanitario nazionale ed in particolare i soli costi diretti, attribuibili esclusivamente all'attività di ricovero, stimati attraverso il sistema di rimborso delle prestazioni (DRG *Diagnosis-related group*, cioè l'equivalente in italiano dei *Raggruppamenti Omogenei di Diagnosi*, basati sulle schede di dimissione ospedaliera),

TAB. 11: Risparmi di costi (valori aggregati) con uno scenario di riduzione degli NO<sub>2</sub> dell' 8%  
- Città di Torino

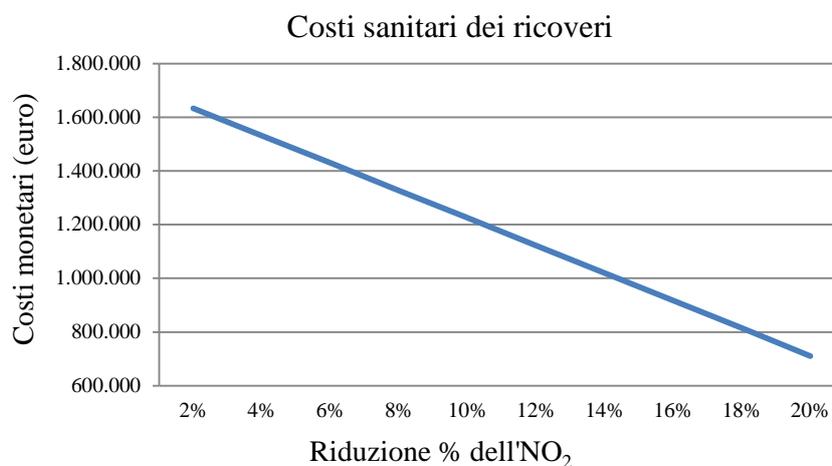
	Scenario Attuale 60,3 µg/m <sup>3</sup> NO <sub>2</sub>	Scenario Ipotetico 55 µg/m <sup>3</sup> NO <sub>2</sub>	Risparmi di costo (euro)
Costi sanitari dei ricoveri	1.734.355	1.287.016	447.339
Costi sociali morbilità	47.740.515	36.283.439	11.457.075
Costi sociali totali (morbilità + mortalità)	339.909.363	257.192.302	82.717.062

relativo al 2010. Se invece venissero considerati anche i costi sociali della morbilità, dati dalla somma dei costi pubblici e privati sostenuti a cui si aggiungono i costi per la mancata produzione, i risparmi potenziali salgono in maniera ancora più considerevole a circa 11,5 mio/euro all'anno.

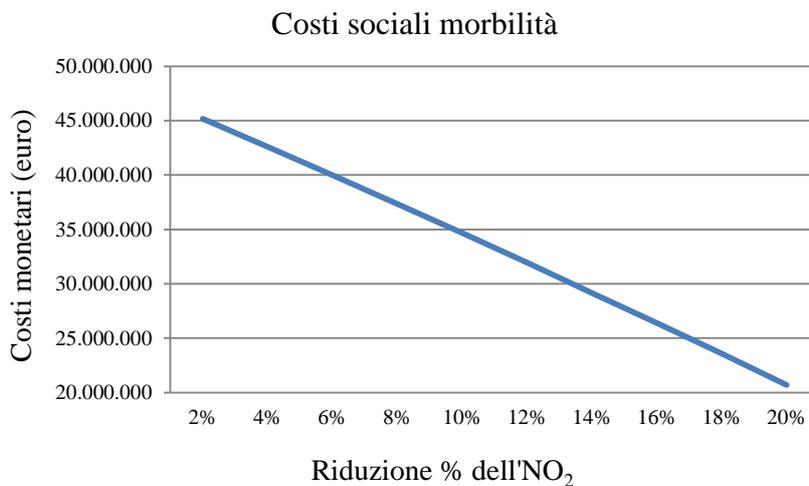
Se infine si aggiungono anche i costi sociali della mortalità anticipata (con la valorizzazione economica degli anni di vita persi), i risparmi potenziali salirebbero vertiginosamente alla cifra astronomica di quasi 83 milioni di euro all'anno. I grafici che seguono, a partire dai dati di costo delle tabelle precedenti, rappresentano visivamente i potenziali risparmi ottenibili annualmente per ciascun possibile livello di riduzione

dell'NO<sub>2</sub> (riportato sull'asse delle ascisse in un range tra il 2 ed il 20% di diminuzione), sempre con riferimento a dati relativi alla città di Torino.

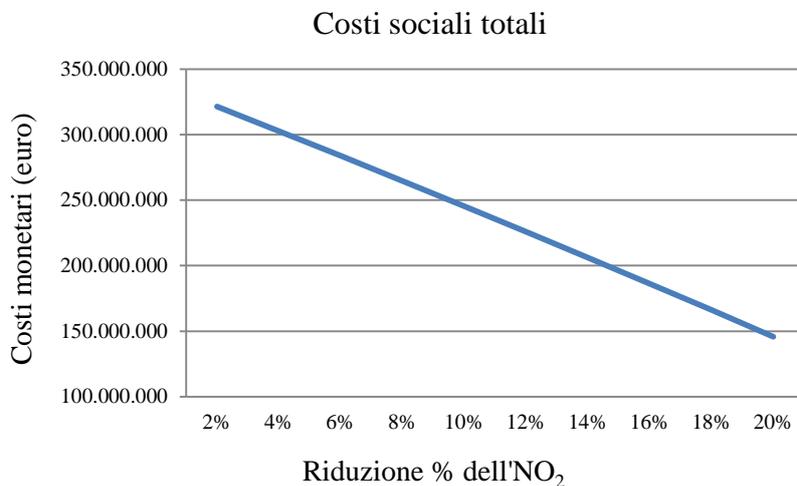
Come presumibile, al diminuire della % di NO<sub>2</sub> presente nell'atmosfera, tutti gli indicatori individuati nei Grafici dall'1 al 5 (le varie tipologie di costi, mortalità e morbilità attribuibile) scendono in modo progressivo raggiungendo risparmi sempre più rilevanti man mano che si approssima un abbattimento del 20% dell'NO<sub>2</sub>, confermando la necessità di politiche sanitarie che prevedano sempre più azioni di prevenzione sull'inquinamento, tra le quali l'utilizzo di TiO<sub>2</sub> fotocatalitico su strade ed edifici potrebbe di fatto rientrare a pieno titolo.



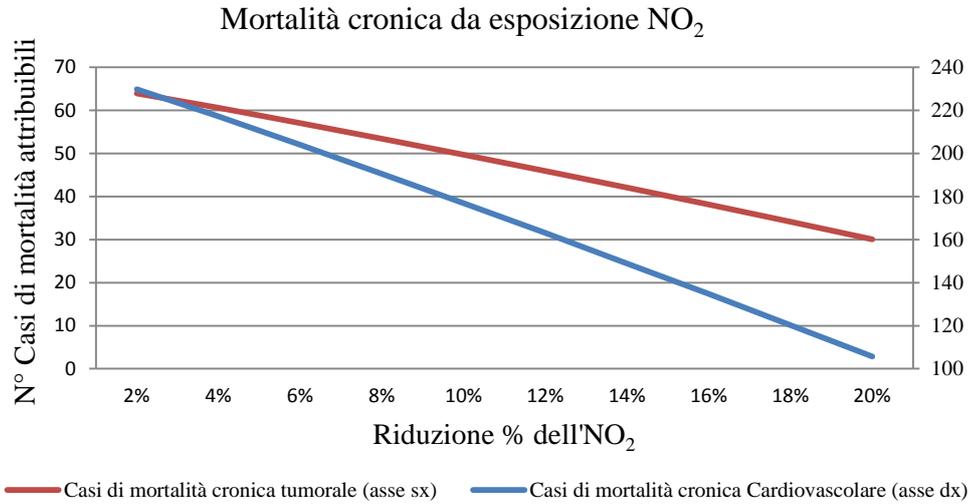
Graf.1: Andamento dei costi annuali sanitari dei ricoveri (in euro) al ridursi della % di NO<sub>2</sub> presente nell'atmosfera - Città di Torino



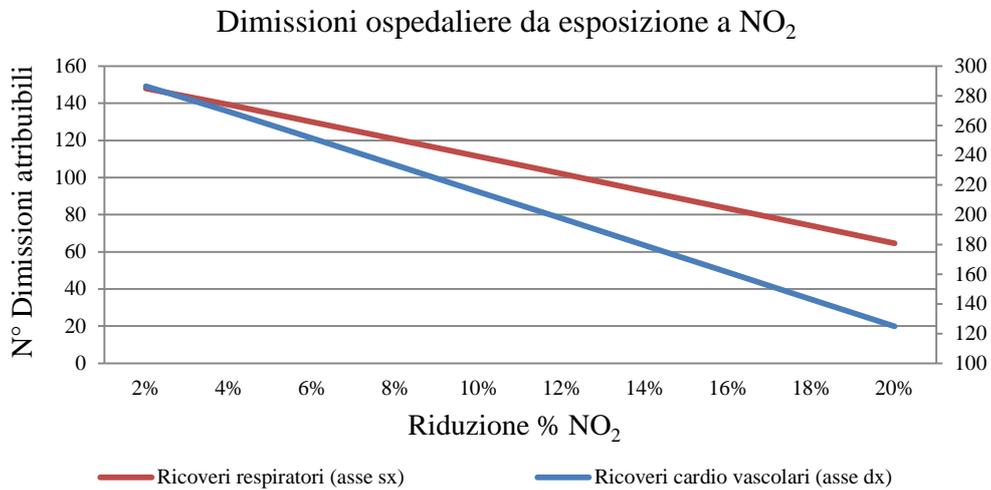
*Graf.2: Andamento dei costi annuali sociali (in euro) della morbilità al ridursi della % di NO<sub>2</sub> presente nell'atmosfera - Città di Torino*



*Graf.3: Andamento dei costi annuali sociali totali (in euro) al ridursi della % di NO<sub>2</sub> presente nell'atmosfera - Città di Torino*



Graf.4: Andamento dei casi di mortalità cronica sociali totali attribuibili all'inquinamento da NO<sub>2</sub>, al ridursi della % di NO<sub>2</sub> presente nell'atmosfera - Città di Torino



Graf.5: Andamento del numero di dimissioni ospedaliere (indicatore del n° di casi morbili) attribuibili all'inquinamento da NO<sub>2</sub>, al ridursi della % di NO<sub>2</sub> presente nell'atmosfera - Città di Torino

#### 4. CONCLUSIONI

La sostenibilità ambientale prende sempre più forma come strumento in grado di favorire lo sviluppo economico. In Europa è la Germania ad aver colto per prima e meglio le opportunità legate al settore investendo nello sviluppo delle energie rinnovabili. Come altre nazioni europee anche l'Italia, pur in ritardo, ha intrapreso lo stesso percorso. In particolare, il nuovo sviluppo sta avvenendo secondo due direttrici. Da un lato, attraverso la creazione di nuovi settori innovativi, legati in particolare allo sviluppo delle energie alternative, dall'altro attraverso una riconversione in chiave ecosostenibile dei comparti tradizionali legati al settore manifatturiero, in cui l'eco-compatibilità dei processi di produzione e dei prodotti stessi immessi sul mercato diventano elementi vincenti di competitività; la tecnologia di cui si esamina l'impatto nel presente lavoro, ossia nuovi materiali nano strutturati fotocatalitici che possono contribuire a ridurre l'inquinamento atmosferico, rientra in questo secondo filone. Questa tecnologia presenta inoltre il vantaggio che la sua applicazione in ambito urbano ha effetti misurabili sul miglioramento della salute pubblica e, conseguentemente, sul piano economico, in quanto è possibile stimare i corrispondenti risparmi ottenibili in termini di spesa pubblica e privata, stima che si è qui tentata con riferimento al caso della città di Torino (tra le più inquinate d'Europa), ma che potrebbe essere estesa ad una scala maggiore (provincia, regione, ecc.).

Infatti lo scopo del presente studio è stato quello di definire una metodologia di valutazione non solo economica, ma anche sociale, dell'uso dei nanomateriali applicati a strutture edilizie per l'abbattimento degli

inquinanti atmosferici. Per far ciò è stata prima eseguita un'ampia raccolta di dati e studi epidemiologici relativi alla relazione intercorrente tra l'incremento di concentrazione delle polveri (PM<sub>10</sub>) e dei gas (biossido di azoto, NO<sub>2</sub>) nell'atmosfera e la morbilità e la mortalità per cause naturali, cardiache, cerebrovascolari e respiratorie; quindi, sulla base dei risultati di questa prima fase, si sono stimati i costi economico-sociali dell'inquinamento giungendo così ad una prima quantificazione dei risparmi potenzialmente ottenibili dall'impiego di pigmenti e malte foto catalitiche nei centri urbani, nella fattispecie nella città di Torino, dove maggiore è la concentrazione di inquinanti atmosferici. In particolare a ciascun evento, decesso o stato morbile, è stato attribuito un costo utilizzando varie metodologie che la ricerca epidemiologica ed economica insieme hanno contribuito a definire, fino alla messa a punto di un modello che cerca di valutare, per ciascun livello di diminuzione dell'inquinamento atmosferico ottenibile, quale sia la conseguente potenziale diminuzione nel numero di morti/ malattie, e quindi il relativo beneficio economico-sociale in termini di minor spesa sanitaria e di altri fattori correlati (ad es. giornate di assenza dal lavoro, valore attribuito a ciascun anno di vita perso...).

I risultati ottenuti da questa prima stima sono molto incoraggianti e mostrano chiaramente come al diminuire della % di gas e polveri nell'atmosfera potenzialmente ottenibile con l'applicazione dei nanomateriali per l'edilizia considerati, tutti gli indicatori individuati dallo studio (costi sanitari dei ricoveri, costi sociali della morbilità, costi sociali totali, numero di casi di mortalità cronica, numero di casi di dimissioni

ospedaliere) per la quota attribuibile all'inquinamento, scendono in modo progressivo raggiungendo risparmi sempre più rilevanti man mano che si approccia un abbattimento del 20% dell'inquinamento. Con la tecnologia allo stato attuale sono stati finora testati abbattimenti fino all'8%, confermando la necessità di continuare nella ricerca per migliorare ancora la performance di questa tipologia di prodotti e, parimenti, confermando però anche l'urgenza di implementare politiche pubbliche e sanitarie che prevedano sempre più azioni di prevenzione sull'inquinamento, tra le quali l'utilizzo di  $\text{TiO}_2$  fotocatalitico su strade ed edifici potrebbe di fatto inquadarsi.

REFERENCES

- Bickel P., Friedrich R. (eds.) (2001) *Environmental External Costs of Transport*. Berlin: Springer-Verlag.
- Bickel P., Friedrich R. (2001) “Estimating Environmental Costs using the Impact Pathway Approach”, *Technical Report*, Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung, Universität Stuttgart, Germany.
- Biggeri A. et al. (2002) “Stima degli effetti a breve termine degli inquinanti atmosferici in Italia” *Epidemiologia & Prevenzione*, 26(4), 202-205.
- Cadum E., Berti G., Biggeri A., Bisanti L., Faustini A. and Forastiere F. (2009) “I risultati di EpiAir e la letteratura nazionale e internazionale”, *Epidemiologia & Prevenzione*, 33(6), suppl. 1, 113-119.
- Colais P., Serinelli M., Faustini A., Stafoggia M., Randi G., Tessari R., Chiusolo M., Pacelli B., Mallone S., Vigotti M.A., Cernigliaro A., Galassi C., Berti G. and Forastiere F. (2009) “Inquinamento atmosferico e ricoveri ospedalieri urgenti in nove città italiane. Risultati del Progetto EpiAir”, *Epidemiologia & Prevenzione*, 33(6), suppl. 1, 77-92.
- Ec Externe (1999) “DG II, Externalities of Energy. Fuel Cycles for Emerging and End-Use Technologies”, *Transport & Waste*, vol. 9.
- ISPRA (2012) *Brace Data base*.
- Istat (2011) *Health for All Database*, Istat, Roma.
- Künzli N. et al. (1999) “Health Costs due to Road Traffic-related Air Pollution. An Impact Assessment Project of Austria, France and Switzerland. Air Pollution Attributable Cases”, *Technical Report*, WHO.
- Lattarullo P., Plechero M. (2005) *Traffico e inquinamento: I danni per la salute dell’uomo e costi social*, in “Interventi, note e rassegne IRPET”, *Istituto regionale programmazione economica Toscana*, n. 28.
- Ministero della Salute (2011) “Rapporto Annuale sull’Attività di Ricovero Ospedaliero”, *Dir. Gen. della Programmazione sanitaria*, Roma.
- Pope C.A., Burnett R.T., Thun M.J., Calle E.E., Kewsky D., Ito K. and Thurston G.D. (2002) “Lung Cancer, Cardiopulmonary Mortality, and Long-Term Exposure to Fine Particulate Air Pollution”, *Journal of American Medical Association*, 287(9).
- Stafoggia M., Faustini A., Rognoni M., Tessari R., Cadum E., Pacelli B., Pandolfi P., Miglio R., Mallone S., Vigotti M.A., Serinelli M., Accetta G., Dessì M.P., Cernigliaro A., Galassi C., Berti G. and Forastiere F. (2009) “Inquinamento atmosferico e mortalità in dieci città italiane. Risultati del Progetto EpiAir”, *Epidemiologia & Prevenzione*, 33(6), suppl. 1, 65-76.
- WHO (2004) *Assessing the Health Impact and Social Costs of Mopeds: Feasibility Study in Rome*. London: WHO.
- WHO (2006). *Air quality guidelines. Global update 2005* Copenhagen: WHO.

*Download*

[www.ceris.cnr.it/index.php?option=com\\_content&task=section&id=4&Itemid=64](http://www.ceris.cnr.it/index.php?option=com_content&task=section&id=4&Itemid=64)

Hard copies are available on request,  
**please, write to:**

Cnr-Ceris  
Via Real Collegio, n. 30  
10024 Moncalieri (Torino), Italy  
Tel. +39 011 6824.911 Fax +39 011 6824.966  
[segreteria@ceris.cnr.it](mailto:segreteria@ceris.cnr.it) [www.ceris.cnr.it](http://www.ceris.cnr.it)

**Copyright © 2013 by Cnr-Ceris**

All rights reserved. Parts of this paper may be reproduced with the permission of the author(s) and quoting the source.