



Valutare l'efficacia degli interventi sulla mobilità urbana ai fini del miglioramento della qualità dell'aria e della salute dei cittadini: una revisione della letteratura scientifica

Assessing the effectiveness of local transport policies for improvements in urban air quality and public health: a review of scientific literature

Daniela Nuvolone,¹ Alessandro Barchielli,² Francesco Forastiere³ (per il gruppo collaborativo EPIAIR)*

¹ Osservatorio di epidemiologia, Agenzia regionale di sanità della Toscana, Firenze

² Unità di epidemiologia, ASL 10 Firenze, Presidio Palagi, Firenze

³ Dipartimento di epidemiologia, Azienda sanitaria Roma E, Roma

* Vedi riquadro a fondo articolo

Corrispondenza: Daniela Nuvolone, Osservatorio di epidemiologia, Agenzia regionale di sanità della Toscana, Viale Milton 7, 50100 Firenze, tel 055 6577618, fax 055 6577673; e-mail: daniela.nuvolone@asf.toscana.it

Cosa si sapeva già

- Negli ultimi decenni si è ampiamente consolidata l'evidenza epidemiologica e tossicologica degli effetti negativi dell'inquinamento atmosferico legato al traffico veicolare sulla salute dei cittadini.
- Numerose revisioni di letteratura trattano la valutazione degli effetti delle politiche dei trasporti sull'incidentalità e sulla sicurezza dei cittadini. Viceversa, sono carenti gli studi di valutazione degli effetti degli interventi sull'ambiente e sulla salute.

Cosa si aggiunge di nuovo

- La presente revisione della letteratura scientifica rappresenta il primo tentativo di raccogliere e sintetizzare lo stato delle conoscenze attuali in merito alla valutazione degli impatti delle politiche locali di trasporto e mobilità sulla qualità dell'aria e sulla salute respiratoria e cardiovascolare dei cittadini.
- Sebbene non esistano ancora evidenze nette e conclusive, gli studi disponibili mostrano che anche gli interventi sulla mobilità adottabili a livello locale possono avere un ruolo positivo sulla qualità dell'aria e i rischi per la salute dei cittadini, particolarmente in ambito urbano.

Riassunto

Obiettivo: fornire un quadro sintetico dello stato della conoscenza in materia di valutazione dell'efficacia degli interventi su scala locale nel settore della mobilità urbana, in termini di miglioramento sia della qualità dell'aria sia dello stato di salute dei cittadini.

Disegno e setting: sono stati considerati gli studi pubblicati su riviste nazionali e internazionali che hanno valutato gli effetti delle strategie di intervento adottate sui livelli di emissioni veicolari, sui livelli di concentrazione degli inquinanti in atmosfera e sulla salute dei cittadini. Riguardo a quest'ultimo aspetto, l'interesse è stato focalizzato sulla salute respiratoria e cardiovascolare, in quanto correlati in letteratura agli incrementi nei livelli di inquinamento atmosferico.

Risultati: sono stati selezionati 19 articoli inerenti la valutazione dell'efficacia di diverse tipologie di intervento sul traffico e sulla mobilità urbana. Gli studi esaminati si differenziano per i metodi utilizzati nel monitoraggio degli indicatori am-

bientali e sanitari, soprattutto per quanto riguarda la risoluzione spaziale e temporale adottata nell'analisi degli effetti. Solo alcuni interventi, specie se di carattere locale, sembrano avere una efficacia più certa.

Conclusione: la valutazione dell'efficacia delle politiche di mobilità è un settore ancora problematico in quanto la stima degli effetti risulta complessa a causa del sovrapporsi di interventi adottati a scala locale e interventi di carattere più generale, che interagiscono inoltre con fattori di tipo economico, politico e sociale. Nonostante ciò, gli interventi sui trasporti e sulla mobilità sono decisivi nel determinare la qualità dell'aria e i rischi per la salute dei cittadini a essa correlati, in particolare nei centri urbani. In fase di programmazione e attuazione degli interventi è necessario pertanto prevedere adeguati progetti di valutazione degli impatti, diretti e indiretti, sulla qualità dell'aria e sulla salute della popolazione.

(*Epidemiol Prev* 2009; 33 (3): 79-87)

Parole chiave: valutazioni d'efficacia, trasporti, qualità dell'aria, impatti sanitari.

Abstract

Objective: to provide a synthesis of the state of the art on the effectiveness of local transport policies on improvements in air quality and public health.

Design and setting: we searched published scientific articles

focused on the evaluation of the accountability of local transport policies on emissions levels, on air pollutants concentrations, on air pollution-related health outcomes (respiratory and cardiovascular health).

Results: we selected 19 articles and reviews; authors used dif-

ferent methods to define and to monitor environmental and health indicators and data analyses are conducted on different spatio-temporal scales.

Conclusions: the evaluation of the effects of transport policies on air quality and public health is a complex research field. Different factors may influence the assessment of impacts and there is an overlap of many intervention strategies that limit the interpretation of the findings. The use of advanced instruments for envi-

ronmental monitoring could improve data analyses. Transport policies are a key point for air quality improvements and for the reduction of public health risk; this implies that local interventions planning should have a relevant focus on the assessment of direct and indirect effects on air quality and population health. (*Epidemiol Prev* 2009; 33 (3): 79-87)

Keywords: transport policies, evaluation of effectiveness, air quality, health impact assessment.

Introduzione

Negli ultimi anni l'Unione europea ha assegnato al tema della mobilità sostenibile nelle aree urbane una posizione di centralità nelle proprie strategie, iniziative e programmi di ricerca.¹ Le città, infatti, sebbene rappresentino un punto di concentrazione di rilevanti problemi ambientali, sanitari e sociali, costituiscono «il motore dell'economia europea ed alimentano il dinamismo economico, attraendo investimenti e occupazione».² Considerando le città con più di 10.000 abitanti, si stima che oltre il 60% della popolazione europea viva in ambiente urbano, e poco meno dell'85% del prodotto interno lordo proviene dalle città. Se, quindi, gli sforzi dell'Unione sono rivolti a rafforzare le potenzialità di crescita delle città europee, con parallela creazione di posti di lavoro (Strategia di Lisbona 2000, http://ec.europa.eu/growthandjobs/index_en.htm), risulta necessario accrescere la loro qualità ambientale; in quest'ambito il settore dei trasporti è ancora fortemente dominato dall'uso del mezzo privato e rappresenta uno dei principali punti critici. In Italia, le stime di ISPRA (Istituto superiore per la protezione e la ricerca ambientale, <http://www.sinanet.apat.it/it/sinanet/sstoriche/>) delle emissioni di NO_x e PM10 derivanti dal settore dei trasporti su strada, per l'anno 2006, sono 472.527 Mg (megagrammo) e 46.819 Mg, rispettivamente circa il 44% e il 26% delle emissioni totali.

Tra le principali conseguenze del trasporto su strada in ambiente urbano, a causa del prevalente uso del trasporto individuale su gomma, possiamo citare gli elevati livelli di inquinamento atmosferico, di inquinamento acustico e di incidenti stradali, con evidenti danni per la salute dei cittadini a cui si associano costi sociali ed economici. L'evidenza epidemiologica e tossicologica sull'impatto dell'inquinamento dell'aria dovuto al trasporto urbano è aumentata sostanzialmente nelle ultime decadi. E' del 2005 la pubblicazione di un documento curato dall'Organizzazione mondiale della sanità che offre una revisione delle evidenze disponibili e un'analisi approfondita dei rischi per la salute.³

I sempre più frequenti fenomeni di congestione e le criticità esistenti per il rispetto degli standard europei e nazionali di qualità dell'atmosfera delle aree urbane, hanno portato gran parte delle amministrazioni locali a riesaminare i propri sistemi di *mobility management* e a tentare soluzioni alternative. Per ciascuna delle varie tipologie di *policy* le esperienze locali adottate sono innumerevoli: dal potenziamento qualitativo e quanti-

tativo del trasporto pubblico alle misure restrittive del trasporto privato motorizzato (ZTL, aree pedonali, soste a pagamento); dalla promozione della mobilità ciclo-pedonale ai sistemi più innovativi di condivisione dell'auto (*car-sharing*, *car-pooling*). Numerose iniziative europee si sono concentrate sulla necessità di promuovere forme di mobilità sostenibile ai fini di un miglioramento delle condizioni di vita in ambiente urbano: tra le più importanti si citano il programma CAFE (Clean Air for Europe, <http://ec.europa.eu/environment/archives/air/cafegeneral/keydocs.htm>), CIVITAS (CItY-VITAlity-Sustainability, <http://www.civitas-initiative.org/main.phtml?lan=en>), ELTIS (European Local Transport Information Service, <http://www.eu-portal.net/start.phtml?sprache=it>).

Se da un lato l'interesse della comunità scientifica e degli amministratori locali è fortemente focalizzato sull'implementazione e diffusione di buone pratiche di mobilità sostenibile, dall'altro resta ancora molto da fare sul fronte degli *accountability studies*, ovvero gli studi di valutazione dell'effettiva efficacia delle diverse strategie di intervento. Si tratta, infatti, di un settore ancora problematico, in quanto la stima degli effetti, diretti e indiretti, risulta complicata a causa del sovrapporsi di interventi adottati su scala locale e di interventi di carattere più generale. Ulteriori ostacoli per lo studio degli effetti sulla qualità dell'aria in ambiente urbano sono lo scarso utilizzo di strumentazioni innovative e tecnologicamente avanzate che consentano un monitoraggio degli inquinanti ad alta risoluzione spaziale e temporale e la difficoltà nella definizione di indicatori ambientali e sanitari specifici.

Gli sforzi della comunità scientifica internazionale sono rivolti alla definizione di indicatori di esposizione e di salute della popolazione adeguati per la valutazione delle strategie di intervento. L'ambito di ricerca è quello della cosiddetta Health Impact Assessment (HIA),⁴ ossia l'insieme di procedure e metodiche che permettono di valutare gli effetti positivi e negativi, diretti e indiretti, prodotti sullo stato di salute della popolazione da politiche, programmi e progetti in settori anche non sanitari (l'ambiente, l'urbanistica, i trasporti e la viabilità).

Lo scopo di questa revisione è fornire un quadro sintetico dello stato delle conoscenze disponibili in materia di valutazione dell'efficacia degli interventi a livello locale nel settore della mobilità urbana. A differenza di altri aspetti correlati all'utilizzo del sistema di trasporto urbano, quali l'incidentalità, la promozione dell'attività fisica e l'esclusione sociale, che sono stati abbondantemente trattati e dei quali esistono revisioni di

Autori	Descrizione intervento	Risultati principali			
		traffico	emissioni	concentrazioni	effetti sanitari
Tonne et al. 2008	Congestion Charging Scheme di Londra	-26% flusso automobili -7% flusso veicoli pesanti		-0,73 µg/m ³ NO ₂ -0,24 µg/m ³ PM ₁₀	183 anni di vita guadagnati (per 100.000 ab.)
Johansson et al. in stampa	Road pricing a Stoccolma	-15% flusso veicolare	- 8,5% NO _x -13% PM ₁₀		206 anni di vita guadagnati (per 100.000 ab.)
Ruprecht et al. 2009	Road pricing a Milano (Ecopass)			nessuna variazione significativa di PM ₁ PM _{2,5} PM ₁₀	
Hesterberg et al. 2008	Revisione su confronto tra emissioni di veicoli alimentati a diesel e GPL		riduzioni significative per CO, idrocarburi, PM, NO _x , CO ₂ , metano, VOC, PAH		
Khillare et al. 2008	Introduzione di veicoli a GPL nel trasporto pubblico di Delhi: effetti sui livelli di benzene			+60% benzene	
Ravindra et al. 2006	Introduzione di veicoli a GPL nel trasporto pubblico di Delhi: effetti sulla qualità dell'aria			riduzioni CO, SO ₂ e PAH aumento NO _x	
Goncalves et al. 2008	Introduzione di veicoli alimentati a gas naturale a Barcelona e Madrid			riduzioni NO ₂ , PM ₁₀ , e SO ₂	
Carlaw et al. 2002	Introduzione di Zone a Bassa Emissione (LEZ) nella città di Londra			modesta riduzione NO ₂	
Friedman 2001	Variazioni temporanee della circolazione durante i Giochi Olimpici di Atlanta del 1996	-20% flusso veicolare		-28% O ₃ -18% CO -16% PM ₁₀ +22% SO ₂	-42% eventi acuti di asma
Lee et al. 2007	Variazioni temporanee della circolazione durante i Giochi Asiatici di Busan del 2002			riduzioni degli inquinanti tra l'1% e il 25%	RR di ospedalizzazione per asma nei bambini tra periodo di studio e periodo di riferimento è 0,73
Hedley et al. 2002	Restrizione dei contenuti di zolfo nei combustibili nella città di Hong Kong			-44,7% SO ₂	-3,9% tasso di mortalità per cause respiratorie; -2% tasso di mortalità per cause cardiovascolari
Burr et al. 2004	Costruzione di un cavalcavia in un'area altamente congestionata in Galles	-50% flusso veicoli merci		-23% PM ₁₀	
Goyal et al. 2009	Costruzione di un cavalcavia su un asse stradale semaforizzato nella città di Nagpur (India)	-35% flusso veicolare		-32% emissioni totali di CO, HC, NO _x e PM	
O'Donoghue et al. 2007	Costruzione di un cavalcavia nella città di Monasterevin (Irlanda)	-60% flussi veicolari		-62% NO _x ; -35% CO -28% PM ₁₀ -27% etano -46% i-butano -18% benzene -14% propene	
Andrews et al. 2006	Introduzione di un sistema intelligente di regolamentazione dei semafori nella città di Leeds			riduzione CO ₂	
Tate et al. 2000	Strategia di canalizzazione del traffico in alcuni incroci chiave nella città di Leicester	-20% flussi veicolari		riduzione concentrazioni di inquinanti	
Levy et al. 2006	Interventi temporanei sugli schemi del traffico cittadino durante la Convention Democratica di Boston del 2004	riduzione flussi veicolari		riduzione NO ₂	
Owen 2005	Introduzione di zone a velocità ridotta nel Nord dell'Inghilterra			nessuna variazione delle concentrazioni di NO ₂ e benzene	
Yuval et al. 2008	Riduzione forzata degli spostamenti nella città di Haifa durante il conflitto medio-orientale del 2006	-40% flussi veicolari		tra -20 e -55% NO ₂ tra -4 e -8% PM ₁₀ aumenti ozono	

Tabella 1. Articoli selezionati per la valutazione dell'efficacia di interventi su traffico e mobilità.

Table 1. Selected articles for the evaluation of the effectiveness of transport policies.

letteratura,^{5,6} la valutazione dell'efficacia delle misure di intervento sul traffico, in termini della correlazione tra il contenimento dell'inquinamento atmosferico e il miglioramento dello stato di salute della popolazione, resta un campo ancora poco indagato.

Metodi

Criteria di inclusione

Sono stati presi in considerazione gli studi in cui sono stati valutati gli effetti delle strategie di mobilità sostenibile sui livelli delle emissioni veicolari, sui livelli di concentrazione degli inquinanti in atmosfera e sulla salute dei cittadini. Riguardo a quest'ultimo aspetto, l'interesse è stato focalizzato su indicatori sanitari legati all'inquinamento atmosferico (salute respiratoria e cardiovascolare). Si rimanda ad altre revisioni sistematiche per quanto concerne gli aspetti legati agli incidenti stradali e alla sicurezza dei cittadini, alla salute mentale, all'attività fisica e all'inquinamento acustico.^{5,6,7}

Strategia di ricerca

E' stata effettuata una ricerca su vari database (Medline, Cochrane, Transport), su bibliografie, sui generici motori di ricerca e mediante consultazione di esperti, di revisioni sistematiche e singoli studi che hanno affrontato il tema della valutazione degli effetti delle politiche dei trasporti.

Le domande alla base della revisione della letteratura scientifica sono state:

- quali sono gli effetti, in termini di riduzione delle emissioni veicolari, delle strategie di intervento sul traffico adottate dalle amministrazioni locali?
- quali sono gli effetti, in termini di riduzione delle concentrazioni degli inquinanti in atmosfera, delle strategie di intervento sul traffico adottate dalle amministrazioni locali?
- quali sono gli effetti, in termini di miglioramento delle condizioni di salute respiratoria e cardiovascolare della popolazione derivante da interventi sulla mobilità?

I termini utilizzati per la ricerca sono stati i seguenti: *traffic policy, air quality, respiratory health, traffic congestion, traffic reduction, air pollution*.

Risultati

Sono stati selezionati 19 articoli che affrontano la valutazione dell'efficacia di diverse tipologie di interventi sul traffico e sulla mobilità urbana e i cui risultati sono riassunti nella **tabella 1**. Per maggiore chiarezza e interpretabilità dei risultati, le strategie di intervento sono state raggruppate sulla base della scala spaziale, che ha una diretta influenza sulla forza dell'associazione tra intervento adottato ed effetti riscontrati. Infatti, quando la valutazione è effettuata con un dettaglio a livello di territorio comunale, risulta molto difficile isolare gli effetti dello specifico intervento in esame da quelli causati dal sistema più generale del controllo sul traffico, oltre che gli effetti determinati da altre sorgenti di inquinamento. Al contrario, gli

studi che presentano un dettaglio spaziale più spinto (a livello di una o poche strade) rendono possibile una valutazione più diretta della relazione di causa-effetto.

Valutazione su scala cittadina

Una tipologia di intervento intorno alla quale esiste un forte dibattito è la tariffazione dell'uso delle infrastrutture stradali finalizzata a ridurre la congestione (*road pricing*). La tariffa di ingresso è stata attivata a **Londra** nel febbraio 2003 in un'area delimitata dall'anello più interno della città (21 km², 200.000 abitanti). E' stato osservato che le riduzioni delle concentrazioni all'interno dell'area sono molto contenute e più evidenti per l'NO₂ che per il PM10.⁸ Il monitoraggio del traffico ha evidenziato un calo del 26% per le automobili, del 7% per i veicoli pesanti e un leggero aumento dei flussi veicolari nelle zone circostanti l'area. Utilizzando l'analisi delle tavole di sopravvivenza è stato stimato che gli anni di vita guadagnati (YLG) per 100.000 abitanti sono 183.

Anche nella città di **Stoccolma** sono stati valutati gli effetti derivanti dall'introduzione di una tariffa di accesso alla città, sperimentata dal 3 gennaio al 31 luglio 2006.⁹ In base a dati misurati e modellati, è stato stimato che l'introduzione permanente del sistema di *road pricing* porterebbe a una riduzione del 12% delle concentrazioni di NO_x, soprattutto nelle aree maggiormente trafficate, e del 7% per PM10. Inoltre, utilizzando lo stesso approccio adottato nel caso studio di Londra, è stato stimato che gli anni di vita guadagnati per 100.000 abitanti sarebbero 206.

E' stato recentemente pubblicato uno studio di valutazione degli effetti sulla qualità dell'aria dell'introduzione del sistema di *road pricing* nella città di **Milano** (Ecopass). Gli autori hanno evidenziato una scarsa efficacia dell'intervento sui livelli di PM1, PM2,5 e PM10. E' bene però sottolineare che si tratta di risultati preliminari derivanti da un monitoraggio ancora limitato.¹⁰

Altrettanta attenzione da parte degli amministratori si è concentrata sul miglioramento delle emissioni del parco circolante. Nel 2008 è stata pubblicata una revisione di letteratura sul confronto delle emissioni tra veicoli alimentati a diesel e GPL.¹¹ I risultati di 25 studi hanno mostrato evidenti effetti positivi in seguito all'implementazione di tecnologia per il controllo delle emissioni, al di là del tipo di alimentazione. Ciò è particolarmente vero per il confronto tra diesel tradizionale e i motori diesel di ultima generazione (filtri antiparticolato, eccetera). Nonostante l'incompletezza dei dati, il confronto tra veicoli diesel e GPL (distinti tra bus, camion della nettezza urbana, automobili private e scuolabus) equipaggiati con le migliori tecnologie disponibili, mostra che i veicoli a diesel, soprattutto bus, presentano emissioni maggiori per NO_x e minori per idrocarburi e metano. Le emissioni di CO₂ e PM risultano equiparabili tra le due tipologie di alimentazione. Nell'aprile 1998 la Corte suprema dell'India ha imposto al sistema di trasporto pubblico della città di **Delhi** l'introduzione

ne di veicoli alimentati a GPL. Gli autori hanno condotto un'analisi comparativa dei livelli di benzene nel periodo precedente l'intervento (2001-2002) e cinque anni dopo.¹² I risultati dello studio hanno mostrato un aumento del 60% delle concentrazioni di benzene; la causa di tale trend negativo è da imputare all'aumento indiscriminato del numero di veicoli circolanti (+42% tra 2001 e 2007) e al fatto che buona parte del parco cittadino è costituita da veicoli a due ruote alimentati a benzina. Altri autori hanno analizzato gli effetti sulle concentrazioni di altri inquinanti (CO, PM10, SO₂, PAH) a seguito dell'introduzione di veicoli alimentati a GPL.¹³ Per CO, SO₂ e PAH (idrocarburi policiclici aromatici) sono state riscontrate evidenti riduzioni, mentre per NO_x c'è stato un aumento essenzialmente legato all'aumento dei veicoli in circolazione. Le concentrazioni di PTS (Particolato totale sospeso) e PM10 non hanno mostrato variazioni significative.

In uno studio condotto a **Barcellona** e **Madrid**, mediante l'applicazione di modelli di simulazione, sono stati stimati gli impatti sulla qualità dell'aria derivanti dall'introduzione di veicoli alimentati a gas naturale (NGV, *natural gas vehicles*), in base a diversi scenari di sostituzione rispetto alla composizione del parco veicolare nel 2004.¹⁴ I modelli hanno stimato riduzioni per NO₂, PM10, e SO₂ rispettivamente del 6,1%, 1,5% e 6,6% a Barcellona e del 20,6%, 8,7% e 14,9% a Madrid. Riguardo alle riduzioni di PM10 e SO₂ gli scenari più efficaci risultano quelli che prevedono una sostituzione del 50% dei veicoli commerciali leggeri per Barcellona e la sostituzione con NGV del 10% del parco macchine private per Madrid. Al contrario per l'O₃ è stato stimato un aumento dell'1,3% a Barcellona e del 2,5% a Madrid.

Meno incoraggianti sono i risultati di uno studio condotto a **Londra** sugli ipotetici effetti derivanti dall'introduzione di zone a bassa emissione (LEZ, *low emission zones*), concepite sia come riduzioni dei flussi veicolari, sia come restrizione dell'accesso per i veicoli maggiormente inquinanti.¹⁵ Mediante l'applicazione di modelli di previsione empirici e secondo diversi scenari di gestione del traffico e sostituzione ecologica dei veicoli, sono state stimate le concentrazioni di NO_x e di NO₂ nelle immediate vicinanze di alcune principali strade del centro città. Le stime mostrano che anche gli scenari più ambiziosi portano a modeste variazioni della concentrazione di NO₂ a causa dei complessi fenomeni chimici e meteorologici coinvolti.

Al fine di ridurre i fenomeni di congestione e di picchi di inquinamento, soprattutto con riferimento all'ozono, durante i giochi olimpici di **Atlanta** del 1996 sono stati introdotti diversi cambiamenti alla circolazione (chiusura di strade, canalizzazione del traffico) dal 19 luglio al 4 agosto.¹⁶ Il monitoraggio del traffico ha evidenziato una riduzione del 20% dei flussi veicolari (riferiti all'ora di punta mattutina); le concentrazioni di ozono (valore massimo orario) si sono ridotte del 28%. Sono state riscontrate riduzioni significative del 18% per CO, del 16% per PM10 e riduzioni non significative del 7% per NO₂ e un aumento del 22% di SO₂. Gli eventi acu-

ti di asma hanno mostrato riduzioni del 42%, del 44%, dell'11% e del 19% nei quattro database sanitari studiati.

In occasione dei Giochi asiatici del 2002, nella città di **Busan** (Corea del Sud), dal 29 settembre al 14 ottobre sono stati introdotti provvedimenti di limitazione alla circolazione, tra cui il sistema a targhe alterne.¹⁷ Il monitoraggio in otto stazioni ha mostrato riduzioni per tutti gli inquinanti comprese tra l'1% e il 25%. Nel periodo di restrizione si è osservata una riduzione, anche se non statisticamente significativa, dell'ospedalizzazione per asma nei bambini di età inferiore ai 15 anni (RR=0,73 IC 95% 0,49-1,11); la stessa analisi ripetuta l'anno successivo ha confermato i benefici legati all'intervento. Nella città di **Hong Kong** dal luglio 1990 è stata introdotta una restrizione del contenuto di zolfo nei combustibili, sia per l'alimentazione dei veicoli sia per le industrie. L'effetto più evidente è stato la riduzione delle concentrazioni di SO₂ del 44,7% nei 5 anni.¹⁸ I livelli di ozono hanno invece subito degli aumenti, mentre le concentrazioni di NO₂ e PM10 hanno mostrato modeste variazioni. Sono state osservate, inoltre, riduzioni significative del 2,1% del tasso di mortalità medio annuale per tutte le cause, del 3,9% per le cause respiratorie e del 2% per quelle cardiovascolari.

Valutazioni a elevata risoluzione spaziale (singole strade)

Sono di seguito presentati gli studi che, basandosi su sistemi di monitoraggio *ad hoc* e in alcuni casi altamente innovativi e avanzati, hanno condotto una valutazione degli effetti con una risoluzione spaziale di elevato dettaglio.

Nel Nord del **Galles** è stata condotta un'indagine epidemiologica al fine di analizzare gli effetti della costruzione di un cavalcavia in un'area altamente congestionata, valutando gli impatti sul traffico, sui livelli di PM10 e PM2,5 e sulla salute dei residenti (questionario epidemiologico e registrazione del PEFR, *peak expiratory flow rate*).¹⁹ È stato osservato che l'apertura del cavalcavia ha determinato una riduzione del 50% dei volumi di flusso dei veicoli per il trasporto merci, una riduzione del 23% per il PM10 e PM2,5 nelle aree più congestionate e del 29% nelle aree meno trafficate. Nonostante il basso tasso di partecipazione all'indagine, è stato notato un miglioramento dei sintomi di rinite e rinocongiuntivite nelle aree più congestionate, mentre non sono stati riscontrati effetti benefici per altri sintomi, quali sibili, tosse e presenza di espettorato.

Nella città di **Nagpur** (India) sono stati valutati gli effetti della costruzione di un cavalcavia su un asse stradale di circa 2 km, caratterizzato dalla presenza di 4 semafori, in un'area commerciale.²⁰ I risultati indicano che in seguito all'intervento il 35% del traffico è stato deviato sul cavalcavia, con una riduzione del 32% delle emissioni. Utilizzare il cavalcavia ha comportato un guadagno massimo del 60-70% in termini di tempo di viaggio; è stata stimata anche una riduzione dell'uso di combustibile, dovuta essenzialmente all'eliminazione dei tempi di attesa ai semafori con motore acceso, pari a circa 22.000 dollari annui.

Nella città di **Monasterevin** (Irlanda) sono stati valutati gli effetti sulla qualità dell'aria conseguenti l'apertura di un cavalcavia, costruito per evitare le congestioni lungo la vecchia strada di collegamento tra Dublino e Cork che attraversa la cittadina.²¹ Sono state registrate lungo tale strada riduzioni dei flussi veicolari del 60% nel periodo di punta (8.00-10.00) e riduzioni per tutti gli inquinanti, a eccezione di etano e propano, nella misura del 67% per NO, 62% per NO_x, 35% per CO e 28% per PM10.

Al fine di ridurre i fenomeni di congestione e le emissioni dei veicoli la città di **Leeds** ha introdotto nel 2005 un sistema intelligente di regolamentazione dei semafori lungo l'anello interno che circonda la città. Mediante l'uso di un sistema di monitoraggio tecnologicamente avanzato installato a bordo di un veicolo sono stati confrontati i livelli di emissione precedenti e successivi alla implementazione della strategia di intervento.²² I risultati della sperimentazione mostrano che la regolamentazione dei semafori diminuisce i tempi di viaggio e le emissioni di CO₂, con risparmio di combustibile.

Nella città di **Leicester** (Inghilterra) è stata sperimentata una strategia di canalizzazione del traffico in alcuni incroci chiave della città, in maniera tale da spostare i fenomeni di congestione da zone densamente popolate e con caratteristiche di *street canyon* a zone più aperte nelle quali i processi di diffusione sono agevolati (parco cittadino) e nelle quali la presenza di attività è minore.²³ È stato riscontrato un aumento della frequenza dei fenomeni di congestione nelle strade desiderate, con conseguente diminuzione, anche del 20%, dei flussi di traffico nelle strade maggiormente a rischio. I dati mostrano, inoltre, un aumento delle emissioni stimate e delle concentrazioni misurate in corrispondenza dei siti presso i quali il traffico è stato spostato, con un aumento delle concentrazioni più modesto in corrispondenza del parco, a conferma della maggiore capacità di dispersione.

La Convention democratica del 2004 (26-29 luglio) a **Boston** ha rappresentato un'opportunità per valutare gli impatti sulla qualità dell'aria di interventi, seppur temporanei, sugli schemi del traffico cittadino.²⁴ Durante la Convention è stata osservata una riduzione netta del traffico nell'area della città dove è avvenuta la chiusura delle strade; al contrario, ci sono state modeste variazioni dei flussi di traffico nelle altre aree. I 40 siti di monitoraggio sull'intera area metropolitana hanno mostrato una forte eterogeneità nei valori di NO₂, dovuta essenzialmente al piano di chiusura delle strade. Il rapporto delle mediane delle concentrazioni di NO₂ durante la Convention e nel periodo di controllo (una settimana prima e una settimana dopo la manifestazione) è risultato di 0,58 nei siti in cui è stata ipotizzata una riduzione, 0,88 nei siti in cui non sono stati ipotizzati cambiamenti e 1,15 nei siti in cui è stato ipotizzato un aumento.

In un'area nel Nord Ovest dell'**Inghilterra** sono stati valutati i benefici ambientali derivanti dall'introduzione di sei zone con obbligo di circolare a velocità ridotta (20 mph). Visto il

dettaglio spaziale dello studio, gli inquinanti sono stati misurati mediante un sistema di campionatori passivi a basso costo, posizionati nelle immediate vicinanze (a meno di 5 m) delle strade interessate.²⁵ I risultati mostrano che l'introduzione delle zone a velocità ridotta non ha influenzato i livelli di concentrazione di NO₂ e benzene. I dati di traffico mostrano però una generale diminuzione della velocità e del numero dei veicoli all'interno delle zone.

Viene, infine, descritto uno studio condotto nella città di **Haiifa** (Israele) in cui vengono valutati gli effetti prodotti dalla riduzione forzata dei volumi di traffico a causa del conflitto esploso nell'estate del 2006.²⁶ I dati di monitoraggio nel periodo 2003-2006 delle 15 centraline gestite dall'Agenzia di protezione dell'ambiente della baia di Haiifa (HBEPA) hanno mostrato una riduzione delle concentrazioni di NO₂ di circa il 20-55%; nelle ore diurne (8.00-20.00) le riduzioni di NO₂ si attestano tra il 25% e il 65%. Durante il conflitto si è osservata una consistente riduzione delle concentrazioni medie di benzene e m+p-xilene, ma anche degli aumenti per l'ozono. Le concentrazioni di PM10 hanno mostrato delle riduzioni tra il 4% e l'8% e in sei stazioni su nove le diminuzioni hanno raggiunto il 13%.

Discussione

La revisione presentata offre diversi spunti di riflessione sul tema dell'efficacia degli interventi locali sul traffico e sulla mobilità ai fini del contenimento dell'inquinamento atmosferico in ambito urbano. Emerge in modo chiaro che, a fronte di un grande interesse a livello internazionale, europeo e nazionale sui temi della mobilità sostenibile, sono ancora troppo pochi gli studi scientifici di valutazione accurata e affidabile degli effetti degli interventi sui trasporti attuati a livello locale. Se si considera la valutazione degli effetti sugli indicatori sanitari, il numero di valutazioni risulta essere ancora più scarso. Tale situazione trova alcune motivazioni nelle numerose difficoltà che si incontrano nella conduzione di studi di questo tipo.

L'efficacia di una strategia di intervento si fonda su un'analisi approfondita e integrata della situazione di *baseline*: ogni realtà locale presenta le proprie specificità (territoriali, meteorologiche, demografiche, infrastrutturali) e solo la piena conoscenza di queste consente sia di identificare le migliori soluzioni possibili per il raggiungimento di obiettivi altrettanto specifici, sia di valutare in maniera adeguata i risultati ottenuti. Non è pertanto appropriato trasferire una strategia di intervento da una realtà locale a un'altra senza considerare alcuni fattori chiave capaci di influenzare la reale efficacia: conoscenza dei livelli di background degli inquinanti, dei relativi processi di formazione degli inquinanti e meccanismi di trasporto, e dei fattori culturali ed economici che influenzano i comportamenti con riferimento alla mobilità. L'analisi della situazione di partenza viene invece spesso scarsamente considerata nella programmazione locale, così come la mancanza di integrazione tra le varie politiche settoriali (trasporti, ambiente, energia)

rende spesso difficoltosi i processi di innovazione e di miglioramento delle condizioni di vita in ambiente urbano.

Aspetti metodologici

Oltre a questi aspetti prettamente legati alla programmatoria, appare altrettanto importante il ruolo svolto dagli strumenti utilizzati per la valutazione ambientale. Il monitoraggio della qualità dell'aria è attualmente affidato a centraline progettate allo scopo di monitorare con elevata accuratezza le condizioni di background e i picchi di inquinamento. Gli elevati costi di realizzazione e manutenzione ne limitano fortemente l'impiego e la numerosità, impedendo così un monitoraggio a elevato dettaglio spaziale. Come evidenziato da alcuni studi riportati nella presente revisione,^{16,17} la scarsa diffusione dei siti di monitoraggio esistenti, se da una parte risulta sufficiente per valutare gli andamenti generali degli inquinanti su scala cittadina, dall'altra rende difficile individuare gli effetti diretti di un singolo intervento a carattere più localizzato. Altri studi,^{20,25} al contrario, mostrano come il ricorso a tecnologie di monitoraggio alternative, tecnologicamente avanzate e a basso costo, oppure il ricorso a modelli di dispersione degli inquinanti,⁸ permettano di superare gli ostacoli sopracitati e consentano un'analisi spaziale altamente dettagliata e in grado di studiare al meglio le relazioni di causa-effetto. Qualora al monitoraggio degli inquinanti si affianchi anche il monitoraggio del flusso veicolare, la comprensione dei fenomeni diventa sicuramente più accurata e attendibile.^{24,25}

Altro punto chiave per valutare l'efficacia degli interventi riguarda le tipologie di inquinanti prese in considerazione dallo studio: è importante infatti sottolineare come alcuni interventi abbiano su alcuni inquinanti un effetto positivo diretto, mentre su altri un effetto nullo o addirittura negativo. Gli inquinanti cui si fa maggiormente riferimento in questo tipo di analisi sono NO_x , PM e O_3 . Riguardo a quest'ultimo, i livelli di concentrazione atmosferica più elevati si verificano nei mesi estivi e, a causa di meccanismi di reazione chimica piuttosto complessi, i picchi possono durare molti giorni e svilupparsi anche a distanza molto elevata rispetto alla sorgente originaria dei precursori. Pertanto, gli interventi su scala locale possono risultare scarsamente efficaci ai fini del contenimento dei fenomeni di picco. Stessa considerazione vale per il particolato atmosferico che si origina da diverse sorgenti, sia naturali sia antropiche. Tra queste ultime, il traffico veicolare rappresenta una quota variabile nelle diverse realtà urbane. Sembra inoltre più efficace contrastare i livelli di concentrazione dell' NO_2 in ambiente urbano mediante l'implementazione di interventi a livello locale sul traffico.²⁴

Effetti sulle emissioni e sulla qualità dell'aria

Nonostante queste difficoltà metodologiche, la revisione della letteratura scientifica mostra come alcune misure di intervento abbiano avuto un impatto positivo sul miglioramento della qualità dell'aria. Alcuni studi considerano gli effetti be-

nefici derivanti dall'innovazione tecnologica dei motori e dall'uso di tipologie di alimentazione maggiormente ecocompatibili (veicoli elettrici, alimentazione a metano o GPL).^{11,12,14,18} E' possibile affermare che questa categoria di interventi è la più efficace in termini di riduzione delle emissioni, come confermato dalle innumerevoli iniziative di incentivazione alla riconversione che hanno interessato tutti gli stati negli ultimi anni, spesso in conseguenza dell'applicazione di normative europee. A riguardo, è però doveroso mettere in evidenza alcuni aspetti: le politiche di incentivi all'innovazione tecnologica non risolvono i problemi di congestione del traffico e occupazione degli spazi. Inoltre, l'impatto positivo legato alla riconversione ecologica dei veicoli, che è stato giustamente evidenziato in questi ultimi anni, è inevitabilmente destinato a raggiungere una soglia difficilmente modificabile in conseguenza dell'avvenuto rinnovo e miglioramento del parco veicolare. E' però possibile che ulteriori benefici derivino dalla ricerca di soluzioni tecnologiche per la produzione di vetture a minor impatto ambientale implementata nell'attuale fase di crisi mondiale del mercato dell'auto.

Per quanto di specifica competenza delle autorità locali, hanno mostrato risultati positivi gli interventi permanenti di limitazione veicolare, in particolare il *road pricing*.^{8,9} Tali effetti positivi sono confermati dai risultati di energici interventi di limitazione del traffico adottati per brevi periodi in occasione di manifestazioni quali per esempio i giochi olimpici.^{16,17,24,26} E' importante sottolineare quanto sia decisivo mirare a un'applicazione rigorosa, con poche incertezze sulle regole e il minor numero di eccezioni possibili. Infine, si sono dimostrati efficaci gli interventi mirati a risolvere specifiche situazioni con carattere puntuale in aree altamente congestionate, come per esempio la costruzione di cavalcavia o gli interventi su incroci chiave.^{19-21,23}

D'altra parte, non sorprende il fatto che durante alcune esperienze locali le singole misure di intervento si siano rilevate di scarsa o nulla efficacia,^{12,15,25} per i problemi di specificità locale in precedenza citati e per la necessità di mettere in atto, su scala urbana, cambiamenti strutturali dei modelli di mobilità vigenti. La constatazione che un impatto positivo finale possa derivare soltanto dall'implementazione di una serie di interventi integrata e di carattere permanente ha determinato negli ultimi anni un allontanamento dalle misure emergenziali (i classici blocchi del traffico). Queste rappresentano, infatti, interventi transitori e isolati con benefici scarsi o nulli, o comunque temporanei, sui livelli di inquinamento atmosferico. E' inoltre da rilevare come nella revisione della letteratura scientifica effettuata non esistano valutazioni degli effetti ottenuti con l'attivazione di nuovi sistemi di trasporto collettivo (per esempio introduzione/ampliamento delle linee di metropolitana). È bene comunque precisare come, al di là della limitatezza di valutazioni scientifiche accurate, numerose esperienze adottate dalle amministrazioni locali abbiano determinato impatti ambientali positivi. In Italia, alcune strategie di

intervento attuate a livello nazionale, quali l'introduzione delle Zone a traffico limitato (ZTL), i provvedimenti di restrizione alla circolazione (targhe alterne e blocchi dei veicoli non catalizzati) e alla sosta e le varie iniziative di incentivazione al trasporto pubblico mediante tariffe agevolate/integrate, rappresentano una parte consolidata dei piani del traffico di numerose realtà urbane.

Effetti sulla salute

Pochi studi hanno preso in esame anche gli effetti delle misure di contenimento dell'inquinamento atmosferico sulla salute, mostrando un effetto positivo sugli esiti analizzati: mortalità per cause respiratorie e cardiovascolari,¹⁸ ospedalizzazione/eventi acuti di asma,^{16,17} stima degli anni di vita guadagnati.^{8,9} La valutazione di tali parametri è resa complessa dal fatto che questi non sono unicamente associati all'inquinamento da traffico veicolare, ma sono influenzati anche da altri fattori ambientali e comportamentali. La possibilità di valutare tali esiti sanitari è inoltre influenzata dalla latenza che intercorre tra l'implementazione dell'intervento e il manifestarsi degli effetti stessi. Pertanto, sono più facilmente e accuratamente valutabili gli eventi acuti che si manifestano con una breve latenza rispetto alle variazioni delle condizioni ambientali. La valutazione dell'impatto di interventi ambientali sulla salute pubblica è un tema che negli ultimi anni sta riscuotendo un grande interesse nella comunità scientifica. In particolare, la valutazione degli effetti delle misure di contenimento dell'inquinamento da traffico sulla salute dei cittadini, data anche la mancanza di dati certi, rappresenta un campo di ricerca estremamente avvincente e complesso. Per quanto riguarda la metodologia, i punti cruciali sono rappresentati dalla selezione degli esiti sanitari e dalla valutazione dell'esposizione della popolazione. Per quanto riguarda il primo aspetto, gli esiti che meglio si prestano a valutare effetti a breve termine delle variazioni dei livelli di esposizione sono i conteggi giornalieri delle morti e dei ricoveri ospedalieri, l'uso di alcune categorie di farmaci e alcuni parametri clinici, quale per esempio la variazione della funzione polmonare. Per quanto riguarda il secondo aspetto, possono essere utilizzate diverse strategie per valutare l'esposizione: per esempio, questa può essere approssimata utilizzando dati medi di area e, in particolare, la disponibilità di misurazioni periodiche può documentare i trend di lungo termine di esposizione della popolazione. Il monitoraggio personale è in grado di fornire misure più precise dell'esposizione, ma è difficilmente attuabile e praticamente impossibile su larga scala a causa dei costi elevati. Una possibilità alternativa consiste nell'effettuare studi su sottogruppi di popolazione per valutare gli esiti sanitari prima e dopo l'intervento.¹⁹

Conclusioni

In conclusione, sebbene l'incertezza e la complessità legate alla valutazione dell'efficacia degli interventi nel settore dei tra-

sporti implicino una mancanza di evidenze nette e conclusive, gli studi disponibili mostrano che anche gli interventi sulla mobilità adottabili a livello locale possono rivestire un ruolo positivo sulla qualità dell'aria e i rischi per la salute dei cittadini, particolarmente in ambito urbano. Pertanto, è auspicabile che nella progettazione degli interventi su scala locale venga posta adeguata attenzione agli aspetti di valutazione degli effetti che questi hanno su emissioni in atmosfera, livelli di inquinamento ed effetti sulla salute. A tale scopo è necessaria una stretta collaborazione tra comunità scientifica, amministratori e collettività.

Conflitti di interesse: nessuno.

Ringraziamenti: si ringraziano Ennio Cadum e Giovanna Berti per i suggerimenti utili alla stesura del testo.

Note: la presente ricerca è stata svolta nell'ambito del Progetto «EpiAir - Inquinamento atmosferico e salute: Sorveglianza Epidemiologica e Interventi di Prevenzione», finanziato dal Ministero della salute, Centro nazionale per la prevenzione ed il controllo delle malattie.

* Gruppo collaborativo EpiAir

Milano: L. Bisanti, G. Randi e M. Rognoni (ASL Città di Milano);
Mestre-Venezia: L. Simonato (Università di Padova) e R. Tessari (ULSS 12);
Torino: G. Berti, E. Cadum, M. Chiusolo, M. Groso, C. Ivaldi, R. Pelosini e S. Poncino (Arpa Piemonte) e C. Galassi (CPO Piemonte);
Bologna: B. Pacelli, P. Pandolfi e C. Scarnato (AUSL Bologna), R. Miglio (Università di Bologna), N. Caranci (Agenzia Sanitaria e Sociale Regionale Emilia-Romagna), G. Pace e G. Zanini (ENEA Bologna);
Firenze: D. Grechi (Arpa Toscana), E. Chellini, S. Mallone, G. Manneschi e G. Accetta (ISPO), A. Barchielli e D. Nuvolone (Azienda Sanitaria di Firenze), M. Baccini e A. Biggeri (Università di Firenze);
Pisa: S. Baldacci, G. Viegi (CNR) e M.A. Vigotti (Università di Pisa);
Roma: P. Colais, A. Faustini, F. Forastiere, C.A. Perucci, e M. Stafoggia (ASL Roma E);
Taranto: M.A. Vigotti (IFC-CNR, Pisa), S. Minerba (ASL di Taranto) e M. Serinelli (IFC-CNR Lecce);
Cagliari: P. Dessi (ASL 8 Cagliari);
Palermo: A. Cernigliaro e S. Scodotto (OER).

Bibliografia

1. COM (2005) 718. *Thematic Strategy on the Urban Environment*. Brussels 11.1.2006.
2. COM (2007) 551. *Green Paper Towards a new culture for urban mobility*. Brussels 25.09.2007.
3. WHO 2005. *Health effects of transport-related air pollution*. Edited by Michal Krzyzanowski et al. ISBN 92-890-1373-7.
4. Kemm JR. *Health impact assessment: concepts, theory, techniques, and applications*. Oxford University Press 2004 ISBN: 0198526296.
5. Thomson H, Jepson R, Hurley F, Douglas M. Assessing the unintended health impacts of road transport policies and interventions: translating research evidence for use in policy and practice. *BMC Public Health* 2008; 8: 339.
6. Morrison DS, Petticrew M, Thomson H. What are the most effective ways of improving population health through transport interventions? Evidence from systematic reviews. *J Epidemiol Community Health* 2003; 57: 327-33.
7. Bauman AE. Updating the evidence that physical activity is good for health: an epidemiological review 2000-2003. *J Sci Med Sport* 2004; 7(I suppl): 6-19.

8. Tonne C, Beevers S, Armstrong B, Kelly F, Wilkinson P. Air pollution and mortality benefits of the London Congestion Charge: spatial and socioeconomic inequalities. *Occup Environ Med* 2008; 65(9): 620-27.
9. Johansson C, Burman L, Forsberg B. The effects of congestions tax on air quality and health. *Atmos Environ*. In stampa.
10. Ruprecht AA, Invernizzi G. L'effetto del provvedimento di restrizione del traffico nel centro di Milano (Ecopass) sull'inquinamento urbano da polveri: I risultati di uno studio pilota. *Epidemiol Prev* 2009; 33(1-2): 21-26.
11. Hesterberg TW, Lapin CA, Bunn WB. A comparison of emissions from Vehicle fuelled with diesel or compressed natural gas. *Environ Sci Technol* 2008; 42(17): 6437-45.
12. Khillare PS, Hoque RR, Shridhar V, Agarwal T, Balachandran S. Temporal variability of benzene concentration in the ambient air of Delhi: a comparative assessment of pre- and post-CNG periods. *J Hazard Mater* 2008; 154(1-3): 1013-18.
13. Ravindra K, Wauters E, Tyagi SK, Mor S, Van Grieken R. Assessment of air quality after the implementation of compressed natural gas (CNG) as fuel in public transport in Delhi, India. *Environ Monit Assess* 2006; 115(1-3): 405-17.
14. Gonçalves M, Jiménez-Guerrero P, Baldasano JM. High resolution modeling of the effects of alternative fuels use on urban air quality: introduction of natural gas vehicles in Barcelona and Madrid Greater Areas (Spain). *Sci Total Environ* 2009; 407(2): 776-790.
15. Carlaw DC, Beevers SD. The efficacy of low emission zones in central London as a means of reducing nitrogen dioxide concentrations. *Transportation Research Part D: Transport and Environment* 2002; 7: 49-64.
16. Friedman MS, Powell KE, Hutwagner L, Graham LM, Teague WG. Impact of changes in transportation and commuting behaviors during the 1996 Summer Olympic Games in Atlanta on air quality and childhood asthma. *JAMA* 2001; 285(7): 897-905.
17. Lee JT, Son JY, Cho YS. Benefits of mitigated ambient air quality due to transportation control on childhood asthma hospitalization during the 2002 summer Asian games in Busan, Korea. *J Air Waste Manag Assoc* 2007; 57(8): 968-73.
18. Hedley AJ, Wong CM, Thach TQ, Ma S, Lam TH, Anderson HR. Cardiorespiratory and all-cause mortality after restrictions on sulphur content of fuel in Hong Kong: an intervention study. *The Lancet* 2002; 360(9346): 1646-52.
19. Burr ML, Karani G, Davies B, Holmes BA, Williams KL. Effects on respiratory health of a reduction in air pollution from vehicle exhaust emissions. *Occup Environ Med* 2004; 61(3): 212-18.
20. Goyal SK, Goel S, Tamhane SM. Assessment of environmental benefits of flyover construction over signalized junctions: a case study. *Environ Monit Assess* 2009; 148(1-4): 397-408.
21. O'Donoghue RT, Broderick BM, Delaney K. Assessing the impacts of infrastructural road changes on air quality: a case study. *Transportation Research. Part D: Transport and Environment* 2007; 12: 529-36.
22. Andrews GA, Bell MC, Daham B, Li H, Ropkins K, Tate JF. *Evaluation of a wide area traffic management strategy in the city of Leeds (UK) using a probe vehicle equipped with on-board emission monitoring instrumentation*. Proceedings of 15th Transport and Air Pollution Conference, Reims 2006: 143-150.
23. Tate JF, Bell MC. *Evaluation of a traffic demand management strategy to improve air quality in urban areas*. Proceedings of Tenth International Conference on Road Transport Information and Control. London 2000. ISBN: 0-85296-725-X; 158-162.
24. Levy JI, Baxter LK, Clougherty JE. The air quality impacts of road closures associated with the 2004 Democratic National Convention in Boston. *Environ Health* 2006; 26: 5-16.
25. Owen B. Air quality impacts of speed-restriction zones for road traffic. *Sci Total Environ* 2005; 340(1-3): 13-22.
26. Yuval, Flicstein B, Broday DM. The impact of a forced reduction in traffic volumes on urban air pollution. *Atmos Environ* 2008; 42: 428-40.



**EPIDEMIOLOGIA
& PREVENZIONE**

abbonamenti@inferenze.it
tel. 02-48702283

2009

ABBONARSI E' UTILE