

TRAFFICO VEICOLARE E SALUTE: UN'INDAGINE SANITARIA CON USO DI TECNOLOGIA GIS

Roberto DELLA MAGGIORE (*), Daniela NUVOLONE (*), Roberto FRESCO (*),
Roberto RUSSO (**), Fabio CIBELLA (***)

(*) Istituto di Scienza e Tecnologie dell'Informazione "Alessandro Faedo" CNR. Via Moruzzi 1, I56124, Pisa
Tel. 050 3152944, Fax 050 3152040, e-mail Roberto.dellaMaggiore@isti.cnr.it

(**) Viale Eurialo 14/C, I90151, Palermo, Tel.339 4921301, e-mail russorob@tim.it

(***) Istituto di Biomedicina e di Immunologia Molecolare "A. Monroy" CNR. Via La Malfa 153, I90146, Palermo
Tel. 091 6809118, Fax 091 6809122, e-mail cibella@ibim.cnr.it

Riassunto

Il traffico autoveicolare è ritenuto uno dei principali fattori di rischio per le malattie respiratorie. Il CNR ha svolto un progetto per l'analisi degli effetti del traffico su un campione della popolazione scolastica della città di Palermo. Una campagna di indagine epidemiologica è stata svolta in alcune scuole cittadine, con somministrazione di un questionario ai partecipanti. Sono state raccolte informazioni sullo stato di salute, lo stile di vita e la percezione dell'esposizione. Per quantificare il traffico nelle vie cittadine è stato utilizzato un modello di simulazione che ha fornito una stima del numero medio di veicoli in transito sui principali tratti di strada del territorio comunale. La mappatura dei soggetti e delle sedi scolastiche è stata ottenuta mediante GPS ed i punti acquisiti sono stati integrati con la cartografia numerica stradale. Per il calcolo dell'esposizione individuale è stato considerato il traffico autoveicolare all'intorno delle abitazioni e delle sedi scolastiche, attribuendo pesi diversi in relazione al tempo stimato di permanenza casa-scuola. Con riferimento all'esposizione individuale i soggetti sono stati classificati in quattro classi distinte e sono state condotte le analisi statistiche sui principali sintomi e malattie respiratorie; non sono state evidenziate associazioni statisticamente significative con l'esposizione al traffico.

Abstract

Road traffic is assumed to be a major risk factor for respiratory diseases. CNR performed a project to analyse the effects of traffic on a sample of students of Palermo (Italy). An epidemiological survey was conducted in several schools, also by means of a questionnaire. Information on health status, as well as life style and individual perception of exposure, were gathered. A simulation model to assess road traffic was developed and an estimated mean number of vehicles traveling on each road tract was obtained. Mapping of subjects and of schools was performed by GPS; acquired points were integrated in numeric cartography. Estimated road traffic values around subjects' residences and around schools were then used to compute each subject exposure, taking care of the percentage of time spent at home or at school. Finally, subjects were classified into four classes, depending on individual exposure, and statistical analysis was conducted on main respiratory symptoms and diseases. No statistically significant association was found between traffic exposure and respiratory symptoms or diseases.

Introduzione

Negli ultimi decenni, nonostante i significativi miglioramenti tecnologici compiuti nella realizzazione di motori e combustibili, le emissioni da traffico veicolare costituiscono una delle maggiori sorgenti di inquinamento atmosferico, soprattutto nelle aree urbane. Numerosi studi sugli

effetti a lungo termine dell'esposizione agli inquinanti atmosferici suggeriscono elevati rischi di sviluppo di sintomatologia e patologia respiratoria (Pope et al., 2004) e di vari tipi di cancro (Boffetta, 2006). Altre ricerche sugli effetti a breve termine dell'esposizione ad alte concentrazioni di inquinanti hanno riportato associazioni significative con una maggiore prevalenza di bronchiti, asma e altri sintomi (Wong et al., 2002).

In ambiente urbano e soprattutto in quelle aree laddove densità di popolazione e traffico sono elevate, l'esposizione alle sostanze inquinanti può costituire un serio rischio per la salute umana. Ciò è particolarmente vero in prossimità dei maggiori assi stradali urbani interessati da alto volume di flussi di traffico giornalieri dove fattori topografici e microclimatici generano condizioni di scarsa dispersione degli inquinanti. Numerosi studi epidemiologici mostrano prevalenze elevate di sintomi e patologie respiratorie nella popolazione residente nelle vicinanze di strade importanti (Schikowski et al., 2005; Kim et al., 2004).

I progressi compiuti nel settore dei Sistemi Informativi Geografici e la maggiore disponibilità di dati geospaziali forniscono agli epidemiologi ambientali nuove opportunità per lo studio degli effetti dell'esposizione agli inquinanti ambientali e della distribuzione spaziale delle malattie. Le funzionalità GIS (*address matching, buffer e overlay analysis, spatial query*) costituiscono un valido strumento di studio nel campo dell'epidemiologia ambientale.

Negli ultimi anni sono stati sviluppati numerosi metodi per la valutazione dell'esposizione individuale agli inquinanti atmosferici. Si va dai metodi più semplici basati su dati di traffico derivanti dall'autopercezione o misurati, oppure su dati di prossimità della residenza alle strade, anch'essi riportati dagli intervistati o misurati (Heinrich et al., 2004; Venn et al., 2000). In altri studi sono stati utilizzati entrambi i set di informazioni, distanza dalla strada e volumi di traffico (Nicolai et al., 2003; Carr et al., 2002). A livello più avanzato sono stati sviluppati modelli di dispersione degli inquinanti o modelli di regressione per la stima delle concentrazioni ma solo raramente sono stati applicati nel campo dell'epidemiologia (Briggs et al., 2000).

Il presente lavoro utilizza un approccio GIS per la valutazione dell'esposizione individuale alle emissioni da traffico veicolare di un campione della popolazione scolastica della città di Palermo, basato sull'uso combinato di dati di traffico medio giornaliero e distanza delle abitazioni dalle strade.

Materiali e metodi

I dati utilizzati nel presente lavoro sono stati prodotti nell'ambito di un progetto svolto dal CNR nella città di Palermo, che ha avuto inizio nel 2005. L'obiettivo è di identificare i fattori di rischio per le malattie respiratorie, asma bronchiale in particolare, derivanti da esposizione ambientale e abitudini di vita degli studenti delle scuole medie inferiori. Allo scopo è stata svolta una campagna di indagine epidemiologica in alcune scuole cittadine (23 diverse sedi scolastiche), con somministrazione di un questionario ai partecipanti (2.176 soggetti). Sono state così raccolte informazioni sullo stato di salute, lo stile di vita e la percezione

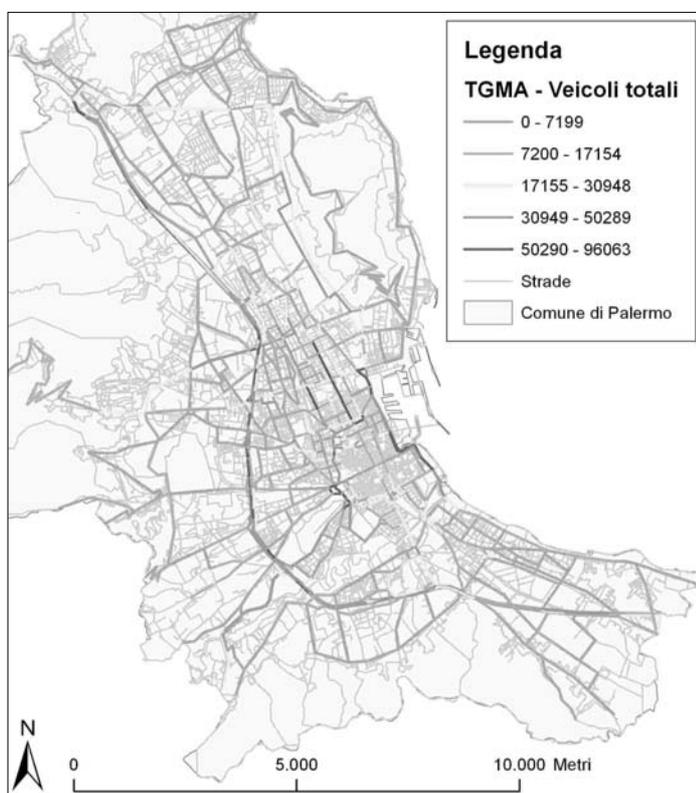


Figura 1 - Traffico Giornaliero Medio Annuo nelle principali vie di Palermo

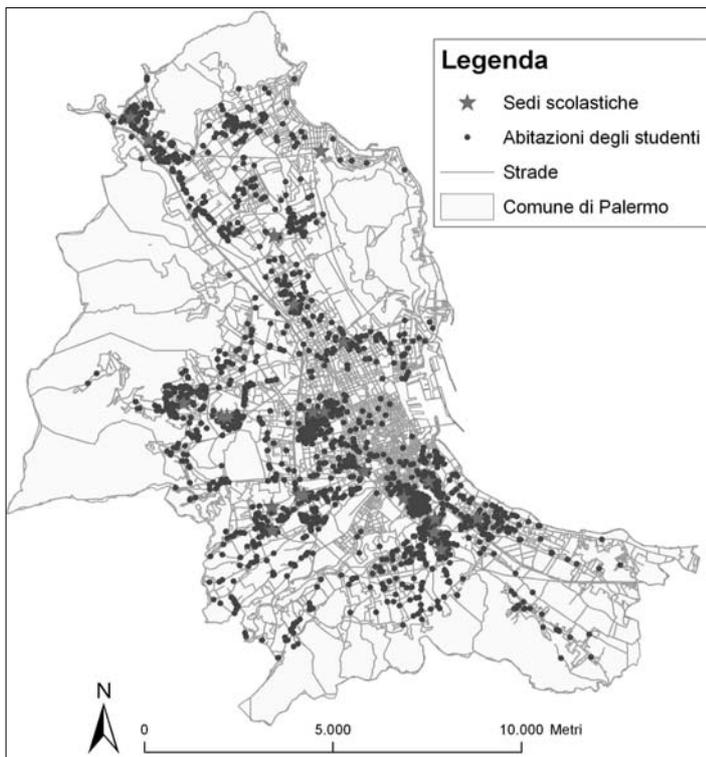


Figura 2 - Localizzazione dei soggetti partecipanti all'indagine e delle sedi scolastiche

Per la stima dell'esposizione dei soggetti sono state considerate sia le abitazioni che le sedi scolastiche. I punti corrispondenti all'ubicazione di sedi ed abitazioni sono stati acquisiti tramite GPS e quindi integrati nella cartografia numerica del Comune di Palermo. La Figura 2 mostra l'ubicazione così ottenuta di abitazioni e sedi scolastiche.

Il livello di esposizione al traffico stradale di un qualsiasi punto di interesse è stato determinato in funzione del carico di traffico stimato nelle strade adiacenti al punto, con il seguente procedimento:

1. facendo uso di tecnologia GIS è stato costruito un *buffer* circolare, con raggio di 150 m, attorno ad ogni punto;
2. mediante l'intersezione dei *buffer* con la cartografia stradale si sono ottenuti per ogni punto i tratti di strada distanti da esso meno di 150 m;
3. ad ogni punto è stato assegnato come valore di esposizione la somma dei TGMA dei tratti ricadenti nell'intorno, ciascuno moltiplicato per la lunghezza del tratto stesso.

La Figura 3 esemplifica il modello applicato per il calcolo dell'esposizione al traffico in un punto: in azzurro è riportato il *buffer* a 150 m costruito attorno all'abitazione; i segmenti di strada che intersecano tale *buffer* sono rappresentati con tratti più spessi e colorati secondo la classificazione di cui alla Figura 1, mentre sopra a ciascun tratto è riportato il valore esatto di flusso di traffico (TGMA) ad esso relativo.

Una volta calcolati i valori caratteristici dei punti di interesse come sopra descritto è stata fatta la stima dell'esposizione al traffico per ogni soggetto partecipante all'indagine valutando il tempo di permanenza casa-scuola, secondo il modello seguente:

$$E_a = 185 \times E_c + 180 \times (2/3 E_c + 1/3 E_s)$$

dove E_a rappresenta l'esposizione totale annua di ogni soggetto, mentre E_c ed E_s sono i contributi di esposizione portati rispettivamente dalla casa di abitazione e dalla scuola.

È stata infatti stimata in 180 giorni l'effettiva frequenza della scuola, avendo escluso festività, domeniche e pausa estiva; la stima di un terzo del periodo giornaliero tiene conto non solo

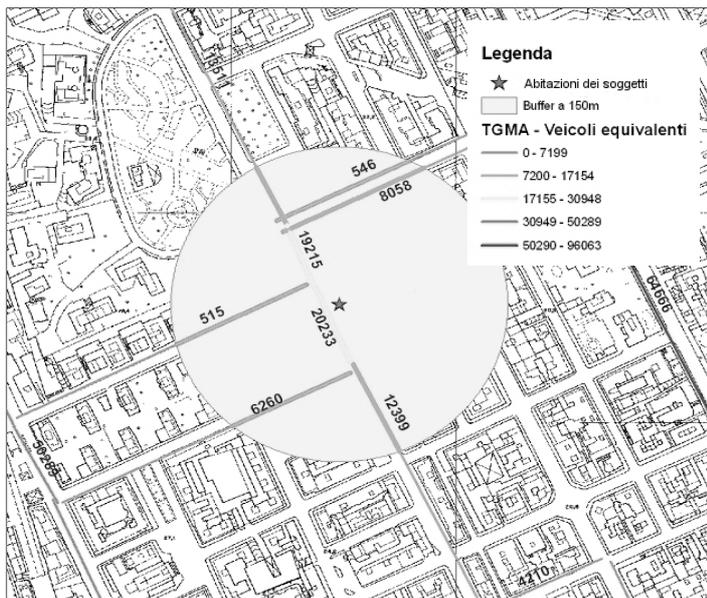


Figura 3 - Individuazione dei tratti di strada per il calcolo dell'esposizione in un punto

dell'orario scolastico ma anche di una eventuale e probabile permanenza dei ragazzi nei dintorni della scuola e del tempo di trasferimento casa-scuola.

In funzione dei dati così ottenuti gli studenti partecipanti all'indagine sono stati classificati in quattro classi di appartenenza (esposizione bassissima, bassa, media, alta) e sono state applicate le analisi statistiche classiche (test del chi-quadro, regressione logistica multipla) per la ricerca di associazioni significative fra il livello di esposizione e malattie e sintomi respiratori.

Stima del traffico

Come sopra accennato non sono disponibili dati completi riguardo al carico di traffico nella città di Palermo, tuttavia la presenza di rilevamenti di diversa

origine, per diversi periodi e per zone diverse della città ci ha consentito di ottenere una stima del traffico giornaliero medio annuo (TGMA), distinto per categorie veicolari, distribuito nei tratti viari appartenenti alla viabilità principale. La metodologia applicata per la stima dei volumi di traffico è stata basata su:

- l'utilizzo delle informazioni disponibili presso il Comune ottenute dai rilevamenti di traffico effettuati a partire dalla redazione del Piano Urbano del Traffico (1996) fino alla raccolta di dati sui flussi veicolari rilevati in continuo dal "Sistema di telecomando e telecontrollo degli impianti semaforici" (anni 2003-2005);
- l'analisi della rete del trasporto pubblico su gomma;
- l'impiego dei modelli matematici dei sistemi di trasporto per la simulazione del traffico urbano e la stima delle emissioni atmosferiche.

I dati di traffico ottenuti dai rilievi volumetrici 1996/2005 si riferiscono a specifici tratti viari ed alle principali intersezioni semaforizzate. Integrando tali dati con vari studi sul settore della mobilità urbana, sono state definite le ripartizioni veicolari percentuali delle diverse aree urbane. I dati di traffico rilevati dai sensori posizionati nelle intersezioni semaforizzate sono stati utilizzati per ottenere la ricostruzione delle matrici degli spostamenti origine-destinazione (metodo dei *Minimi Quadrati Generalizzati* – GLS; Cascetta, 1998), relative alle fasce orarie di punta del mattino e del pomeriggio. Le nuove matrici sono state stimate in termini di autovetture-equivalenti per tener conto delle diverse categorie di veicoli: (a) autovetture e veicoli commerciali leggeri, (b) veicoli commerciali pesanti, (c) ciclomotori e motocicli. Le matrici degli spostamenti così calcolate sono state utilizzate per ottenere le assegnazioni di equilibrio deterministico (*Deterministic User Equilibrium*; Sheffi, 1985; Wardrop, 1952) dei volumi di traffico sul grafo di offerta del trasporto privato. Il modello di assegnazione di equilibrio fornisce il numero medio di veicoli che attraversa ciascun arco (tratto viario) della rete di trasporto nell'intervallo orario di riferimento, così come gli indicatori di prestazione: livello di criticità (flusso/capacità dell'arco), velocità commerciali, tempi medi di percorrenza e densità. Per ottenere la stima del traffico giornaliero medio è stata calcolata la distribuzione oraria dei volumi di traffico urbani utilizzando i dati rilevati in continuo alle intersezioni semaforizzate nel biennio 2003-2005. La componente di traffico determinata dal trasporto collettivo è stata valutata a partire dalla conoscenza dei percorsi di linea e dall'analisi degli intertempi e del numero di corse giornaliere (feriali/festive) per ciascuna linea degli autobus

urbani. Riguardo ai veicoli commerciali è stata individuata la viabilità consentita al transito dei mezzi commerciali pesanti.

Infine la stima delle emissioni inquinanti atmosferiche relative ai TGMA è stata ottenuta usando i modelli proposti dalla metodologia CORINAIR-COPERT ed ulteriormente aggiornati, secondo lo stato dell'arte, per tener conto delle più recenti direttive comunitarie in tema di emissioni nocive (TRL, 1999; COST, 1999; NETCEN, 2003). Gli inquinanti considerati nelle stime sono: CO, CO₂, HC, NO_x e PM.

Tutti i dati del sistema di trasporto così ottenuti sono stati integrati nel GIS del progetto.

Risultati

Le analisi statistiche condotte non hanno evidenziato associazioni significative fra la salute respiratoria dei soggetti partecipanti all'indagine e la quantità di traffico stimata nelle vie della città di Palermo. Le analisi sono state ripetute variando la classificazione dei soggetti (inizialmente i soggetti sono stati suddivisi per quartili, poi variando le soglie di classificazione sia dietro analisi dell'istogramma, sia con riferimento al numero di soggetti per classe), ma non è emerso alcun risultato di rilievo. Altre prove sono state fatte variando la dimensione del *buffer* attorno ad abitazioni e scuole (50, 100 e 300 m) ed è stato anche sperimentato un modello con distanze miste, cioè 50 m per il *buffer* delle scuole e 150 m per il *buffer* delle case, ma in nessun caso si sono avute associazioni statisticamente significative. Per completezza sono state fatte analisi anche in base a valori delle strade diversi dal TGMA, utilizzando cioè le stime di emissione ottenute dalla simulazione, ma i risultati sono cambiati di poco, sebbene le emissioni non siano strettamente correlate con i valori di TGMA.

Discussione

Il risultato più appariscente dello studio svolto è che non sono state evidenziate relazioni significative fra lo stato di salute dei soggetti partecipanti all'indagine ed il traffico veicolare. Al riguardo si può commentare che in precedenti studi simili condotti dal nostro *team* (per i quali sono state evidenziate alcune associazioni significative) non avevamo disponibili dati di traffico di elevato dettaglio quali invece abbiamo potuto utilizzare per il presente studio, per quanto stimati; di conseguenza il modello utilizzato per la stima dell'esposizione individuale era ben diverso e si fondava principalmente su una stima qualitativa dell'inquinamento atmosferico prodotto dal traffico stradale, stima fondata sulla conoscenza diretta dei luoghi di indagine. D'altra parte va anche osservato che in questi studi il segnale rilevato non è mai stato nettissimo ed univoco.

Per quanto riguarda invece altri studi reperibili in letteratura che hanno utilizzato dati di traffico discretamente dettagliati e quantificati per tratto di strada si riportano i risultati di uno studio di Nicolai (Nicolai et al., 2003) che usa un *buffer* di 50 m e somma i valori di TGMA dei segmenti stradali intersecanti. È stato riscontrato un rischio maggiore per alcuni sintomi e patologie respiratorie, quali tosse, asma corrente e sibili per i ragazzi esposti ad alti volumi di traffico rispetto a quelli residenti in strade poco trafficate. In un altro studio di Gordian (Gordian et al., 2006) è risultato un rischio per diagnosi di asma 2.8 maggiore per i soggetti classificati ad alta esposizione rispetto a quelli a bassa esposizione. In questo caso il *buffer* utilizzato è di 100 m e i valori di TGMA sono stati moltiplicati per la lunghezza del segmento di strada intersecato e sommati.

Dal punto di vista tecnologico si osserva come il ricorso allo strumento GIS costituisca un mezzo potente per migliorare l'indagine scientifica. È infatti grazie al GIS che è stato possibile sia preparare i dati di base del progetto (georeferenziazione dei soggetti, simulazione del traffico), sia impostare il modello di esposizione individuale con precisi riferimenti al territorio ed alla realtà al suolo, sia infine ripetere più volte lo studio in maniera speditiva variando le dimensioni dei *buffer*.

A questo proposito un altro aspetto che ci preme sottolineare è il fatto di aver dovuto far ricorso al GPS per la georeferenziazione dei soggetti: se è vero che questo ha consentito lo svolgimento del progetto, è anche vero che ha anche comportato un impegno non indifferente in termini economici e di tempo per la raccolta, la validazione e la messa a punto dei dati. L'operazione ha prodotto un

ritardo nel tempo di esecuzione del progetto ed un maggior impegno del personale dedicato. Da qui la constatazione di quanto sia ormai importante, ed ineludibile, per applicazioni disciplinarmente anche molto diverse, poter contare su dati pubblici del territorio ben dettagliati e di buona qualità e da qui l'esortazione alla Pubblica Amministrazione a predisporre banche dati SIT capillari, complete ed affidabili.

Riferimenti bibliografici

- Boffetta P. (2006), "Human cancer from environmental pollutants: the epidemiological evidence", *Mutat Res*, 28:157-62
- Briggs D.J., de Hoogh C., Gulliver J., Wills J., Elliott P., Kingham S., Smallbone K. (2000), "A regression-based method for mapping traffic-related air pollution: application and testing in four contrasting urban environments", *Sci Total Environ*, 253:151-167
- Carr D., von Ehrenstein O., Weiland S., Wagner C., Wellie O., Nicolai T. and von Mutius E. (2002), "Modeling annual benzene, toluene, NO₂, and soot concentrations on the basis of road traffic characteristic", *Environ Res*, 90:111-118
- Cascetta E., (1998), *Teoria e Metodi dell'Ingegneria dei Sistemi di Trasporto*, UTET
- COST 319 Final Report, (1999) *Methods of estimation of atmospheric emissions from transport: European scientist network and scientific state-of-the-art*
- Gordian M.E., Haneuse S. and Wakefield J. (2006), "An investigation of the association between traffic exposure and the diagnosis of asthma in children", *Journal of Exposure Science and Environmental Epidemiology*, 16:49-55
- Heinrich J., Topp R., Gehring U. and Thefeld W. (2004), "Traffic at residential address, respiratory health and atopy in adults: the National German Health Survey 1998", *Environmental Research*, 98:240-249
- Kim J.J., Smorodinsky S., Lipsett M., Singer B.C., Hodgson A.T. and Ostro B. (2004), "Traffic-related Air Pollution near Busy Roads The East Bay Children's Respiratory Health Study", *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, 170:520-526
- NETCEN, (2003), *Vehicle Emission Factor Database, v02.8*
- Nicolai T., Carr D., Weiland S.K., Duhme H., von Ehrenstein O., Wagner C. and von Mutius E. (2003), "Urban traffic and pollutant exposure related to respiratory outcomes and atopy in a large sample of children", *Eur Respir J*, 21:956-963
- Palermo, (1996), "Indagine di Mobilità" e "Sistema di modelli per la simulazione del traffico e dei trasporti di Palermo", *Piano Generale del Traffico della Città di Palermo (Del. G.M. n. 2186 del 23.08.1995)*
- Pope C.A., Burnett R.T., Thurston G.D., Thun M.J., Calle E.E., Krewski D. and Godleski J.J. (2004), "Cardiovascular mortality and long-term exposure to particulate air pollution: epidemiological evidence of general pathophysiological pathways of disease", *Circulation*, 109:71-77
- Schikowski T., Sugiri D., Ranft U., Gehring U., Heinrich J., Wichmann H.E. and Krämer U. (2005), "Long-term air pollution exposure and living close to busy roads are associated with COPD in women", *Respir Res.*, 6:152
- Sheffi Y., (1985), *Urban Transportation Networks: Equilibrium Analysis with Mathematical Programming Method*, Prentice-Hall
- TRL (Transport Research Laboratory), (1999), *Methodology for calculating transport emissions and energy consumption*
- Venn A., Lewis S., Cooper M., Hubbard R., Hill I., Boddy R., Bell M. and Britton J. (2000), "Local road traffic activity and the prevalence, severity, and persistence of wheeze in school children: combined cross sectional and longitudinal study", *Occup Environ Med*, 57:152-158
- Wardrop J.G., (1952), "Some theoretical aspects of road traffic research", *Proc. Inst. Civ. Eng.* 1 Part II:325-378
- Wong C.M., Atkinson R.W., Anderson H.R., Hedley A.J., Ma S., Chau P.Y. and Lam T.H. (2002), "A tale of two cities: effects of air pollution on hospital admissions in Hong Kong and London compared", *Environ Health Perspect*, 110:67-77