Il ruolo dei GIS nell'epidemiologia ambientale: analisi della relazione tra esposizione a inquinamento da traffico autoveicolare e salute respiratoria della popolazione

Daniela NUVOLONE (*), Sandra BALDACCI (**), Roberto della MAGGIORE (*), Roberto FRESCO (*), Sara MAIO (**), Giovanni VIEGI (**)

(*) Istituto di Scienza e Tecnologie dell'Informazione "Alessandro Faedo" CNR. Via Moruzzi 1, I56124, Pisa
Tel. 050 3152944, Fax 050 3138092, e-mail Daniela.Nuvolone@isti.cnr.it
(**) Unità di Epidemiologia Ambientale Polmonare Istituto di Fisiologia Clinica CNR. Via Trieste 41, I56126, Pisa
Tel. 050 502031, Fax 050 503596, e-mail saramaio@ifc.cnr.it

Riassunto

Negli ultimi anni il binomio GIS & Health è diventato una keyword di riferimento in numerosi studi internazionali rivolti alle problematiche inerenti la salute pubblica nelle sue accezioni più ampie. Il presente studio è un esempio di applicazione dei GIS per l'analisi di dati epidemiologici. Lo studio fa uso dei dati raccolti nel corso dell'indagine svolta dall'Istituto di Fisiologia Clinica (CNR, Pisa) nella zona di Pisa-Cascina nel 1991-93. L'indagine aveva come obiettivo la valutazione degli effetti sullo stato di salute respiratoria della popolazione dell'inquinamento atmosferico prodotto da una strada a traffico elevato (strada statale Tosco-Romagnola). Il supporto della tecnologia GIS ha consentito di analizzare con notevole flessibilità e facilità d'uso diverse classificazioni dei soggetti ottenute a partire dalle loro caratteristiche geospaziali. Lo studio ha evidenziato la presenza di un maggior rischio di manifestare alcuni sintomi e malattie respiratorie per coloro che vivono in prossimità della strada.

Abstract

In recent years GIS & Health has emerged as a keyword in several international studies dealing with public health topics. The present study is an example of the application of GIS to analyse the epidemiological data. The study makes use of data collected during a survey performed by the Institute of Clinical Physiology (CNR, Pisa) in Pisa-Cascina area in 1991-93. This epidemiological survey aimed to evaluate the effects of traffic-related air pollution on respiratory health of people living near a major road (Tosco-Romagnola road). GIS technology allowed users to analyse geospatial features of subjects participating to the survey for the assessment of the exposure to pollutants produced by motor vehicles. The study highlighted the presence of a higher risk for some respiratory symptoms and diseases for people living in the strict proximity of the road.

Introduzione

Negli ultimi anni le emissioni prodotte dal traffico autoveicolare rappresentano la principale sorgente di inquinanti atmosferici quali gli ossidi di azoto, il monossido di carbonio e i composti organici non metanici, specialmente in ambiente urbano. Esiste pertanto una forte attenzione dell'opinione pubblica e della comunità scientifica circa i possibili effetti sulla salute della popolazione esposta ad alti livelli di inquinamento.

Molti dei più recenti studi internazionali fanno uso di tecnologia GIS nel campo dell'epidemiologia ambientale. Un sistema GIS, infatti, può essere utilizzato per mappare e analizzare le distribuzioni geografiche della popolazione a rischio, degli outcome sanitari e dei fattori di rischio; per esplorare le associazioni tra fattori di rischio e stato della salute; per pianificare i servizi di salute pubblica (Cromley, McLafferthy, 2002).

Nell'analisi degli effetti causati dal traffico autoveicolare sulla salute respiratoria, un GIS risulta di fondamentale importanza per valutare l'esposizione della popolazione all'inquinamento atmosferico. La letteratura internazionale fornisce numerosi esempi di metodi utilizzati a tale scopo: il confronto tra le prevalenze di sintomi/malattie respiratori in aree considerate ad inquinamento atmosferico elevato oppure basso (Nicolai, vonMutius, 1996); la stima dell'esposizione in base a misure quantitative effettuate sul territorio, quali il numero di autoveicoli in transito (Nicolai et al., 2003) o i metri percorsi dai veicoli (Lin et al., 2002); il ricorso a modelli di diffusione degli inquinanti che tengono conto di un ampio spettro di fattori che possono influenzare l'esposizione (Pierse et al., 2006); l'uso della distanza delle abitazioni dalla strada come un indicatore di esposizione a inquinamento da traffico (Maio et al., 2005, Garshick et al., 2003).
Il presente studio riguarda l'uso della distanza da strade intensamente transitate come indicatore di esposizione ambientale. Non esiste attualmente in letteratura uno standard di riferimento circa i criteri per valutare l'esposizione dei soggetti all'inquinamento, specie per la determinazione delle soglie di distanza da utilizzare per la classificazione dei soggetti. In virtù di tale situazione, nelle analisi che abbiamo condotto sono stati applicati metodi di classificazione diversi con l'intento di apprezzare eventuali variazioni.

Materiali e metodi

Nel presente lavoro sono stati utilizzati i dati raccolti nel corso dell'indagine epidemiologica campionaria condotta dal CNR nel 1991-93 nella zona di Pisa-Cascina. Il questionario compilato dai soggetti partecipanti all'indagine (n=2.841) ha fornito numerose informazioni circa lo stato di salute del campione di popolazione, le caratteristiche demografiche, lo stile di vita ed i potenziali fattori di rischio (fumo attivo, disturbi respiratori nell'infanzia, esposizione lavorativa ecc.).
I soggetti partecipanti all'indagine sono stati integrati in un Sistema Informativo Geografico. Per la georeferenziazione sul territorio del campione di popolazione è stato utilizzato il metodo basato sull'indirizzo di residenza dei soggetti. La fase di *link* tra i dati sugli indirizzi resi disponibili dagli Uffici Cartografici dei Comuni e i dati sugli indirizzi reperibili nei questionari epidemiologici ha richiesto un processo di omogeneizzazione dovuto alla diversa codifica effettuata dalle diverse parti. Dal campione originale di popolazione sono stati selezionati i soggetti che vivono entro gli 800m dalla Tosco-Romagnola (n=2062). Ciò ha consentito di minimizzare gli effetti di altre possibili sorgenti di inquinamento (emissioni industriali, altre strade trafficate).

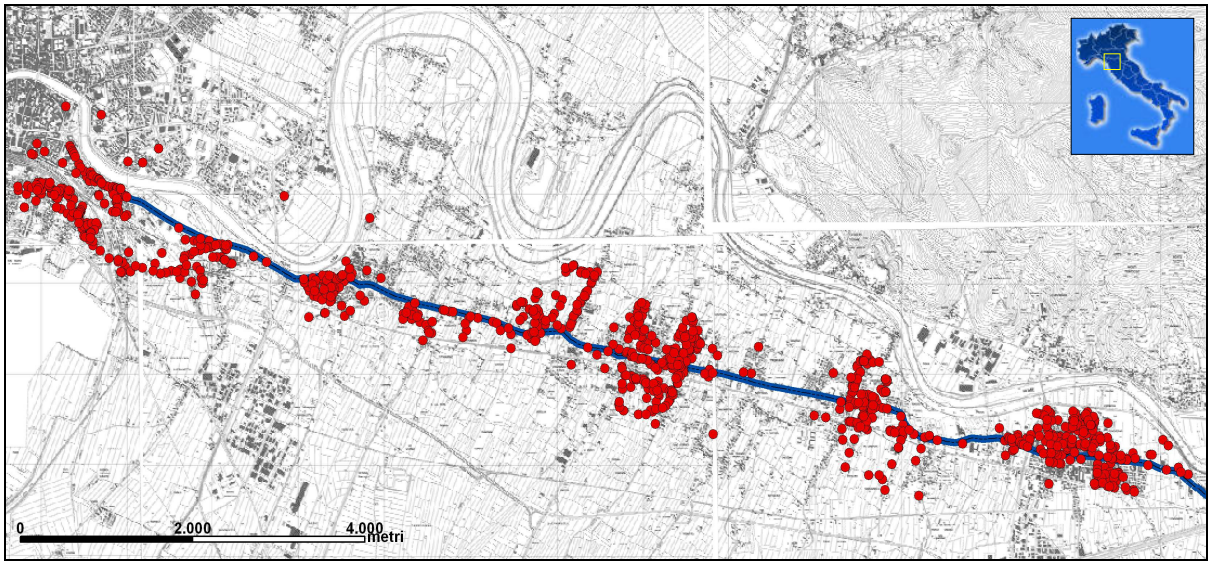

Figura 1 - Georeferenziazione del campione di popolazione

Abbiamo, quindi, ottenuto 926 punti distinti sul territorio. Dato che l'indagine è impostata su nucleo familiare, i soggetti della stessa famiglia condividono lo stesso punto in mappa. Altri casi di coincidenza di georeferenziazione risultano da nuclei familiari abitanti nello stesso condominio.
Allo scopo di esaminare i possibili effetti sulla salute respiratoria della popolazione causati dal vivere in prossimità della Tosco-Romagnola, abbiamo applicato due diversi modelli spaziali per valutare l'esposizione all'inquinamento atmosferico da traffico autoveicolare.
Nel primo approccio abbiamo ottenuto tre differenti classificazioni spaziali dei soggetti, considerando tre diversi valori soglia per la distanza delle abitazioni dalla Tosco-Romagnola: 75m, 100m e 150m (figura 2).

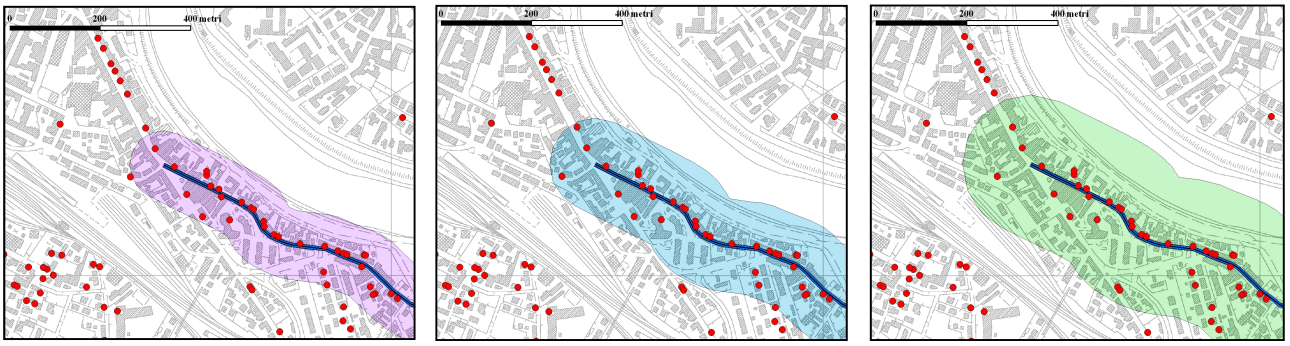

Figura 2 - Buffer a 75m, 100m e 150m

Per ciascuna analisi abbiamo ottenuto due classi di soggetti: gli esposti all'inquinamento da traffico e i controlli, come viene riassunto in figura 4. Nel secondo approccio abbiamo utilizzato uno schema di classificazione spaziale a corona (figura 3): il campione di popolazione è stato classificato in tre gruppi sempre secondo la distanza delle abitazioni dalla Tosco-Romagnola, come riassunto in figura 4.

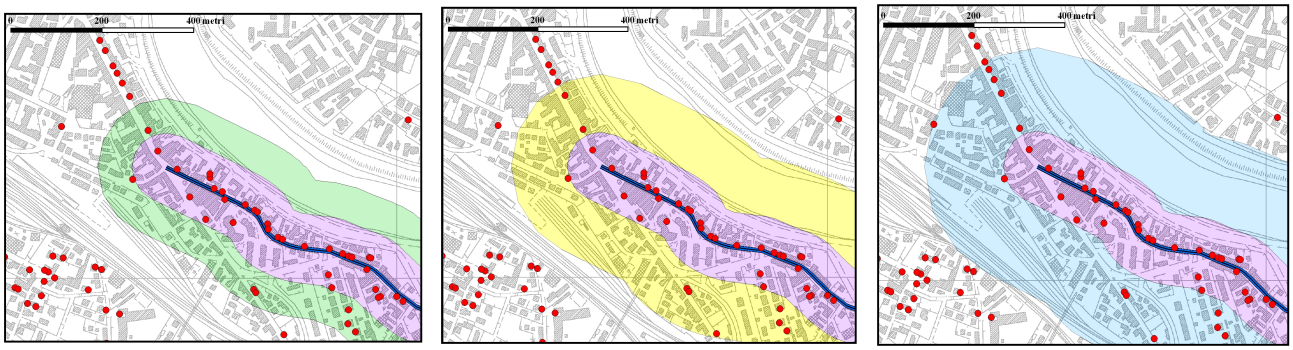

Figura 3 - Buffer a 75-150m, 75-200m, 75-250m

In tal modo abbiamo assunto la variabile distanza dalla strada come un indicatore di esposizione all'inquinamento atmosferico.
Per ciascuno studio e sulle diverse classi di soggetti sono state condotte analisi statistiche classiche utilizzando il Pacchetto Statistico per le Scienze Sociali (SPSS 10.0).
Nelle analisi sono stati considerati i seguenti sintomi/malattie respiratorie: asma bronchiale, attacchi di difficoltà di respiro (attuali e passati), febbre da fieno, bronchite cronica, enfisema, dispnea, espettorato (cronico ed occasionale), rinite, bronchiectasie, rossore agli occhi, sibili, tosse (cronica ed occasionale), disturbi cardiaci, sinusite ed eczema.
Per ciascuno studio sono state condotte analisi bivariate (test del chi-quadrato) per confrontare i tassi di prevalenza di sintomi e malattie tra esposti e controlli. Infine, è stato applicato un modello di regressione logistica multipla allo scopo di prendere in considerazione anche gli effetti di altri

fattori di confondimento. Nel modello utilizzato sono stati considerati gli effetti indipendenti di sesso, età, scolarità, fumo, esposizione lavorativa ed esposizione a fumo passivo.

	classe 1 (esposti)	classe 2 (controlli)
Studio 1	entro 75m	tra 75m e 800m
Studio 2	entro 100m	tra 100m e 800m
Studio 3	entro 150m	tra 150m e 800m

	classe 1 (più esposti)	classe 2 (meno esposti)	classe 3 (controlli)
Studio 4	entro 75m	tra 75m e 150m	tra 150m e 800m
Studio 5	entro 75m	tra 75m e 200m	tra 200m e 800m
Studio 6	entro 75m	tra 75m e 250m	tra 250m e 800m

Figura 4 - Classificazioni spaziali dei soggetti

Risultati

I risultati del test del Chi-quadrato evidenziano associazioni statisticamente significative per diversi sintomi e malattie respiratorie. Nel primo schema di classificazione a due classi (esposti vs. controlli) le prevalenze di sibili, asma bronchiale, dispnea, bronchite cronica, enfisema e disturbi cardiaci sono significativamente più elevate nel gruppo degli esposti rispetto a quello dei controlli. Tali associazioni sono evidenti in tutti e tre gli studi, indicando relazioni con le tre classi di distanza (75m, 100m, 150m). Nel secondo schema di classificazione a tre livelli, nonostante vi sia un trend di prevalenze decrescente man mano che si passa dalla classe dei maggiormente esposti fino alla classe dei controlli per gran parte dei sintomi analizzati, associazioni statisticamente significative sono riportate unicamente per la dispnea in tutti e tre gli studi.
Ripetendo il test per i due sessi separatamente, abbiamo notato come le associazioni tra vicinanza alla strada e manifestazione di sintomi siano molto più frequenti nel sottogruppo delle donne.
Mediante il modello di regressione logistica multipla abbiamo considerato anche gli effetti di altri fattori che possono avere un effetto importante sullo sviluppo di sintomi respiratori, quali il fumo attivo, l'età, l'esposizione lavorativa, l'esposizione a fumo passivo e la scolarità.
I risultati confermano le indicazioni fornite dall'analisi bivariata ed inoltre focalizzano l'attenzione sulla classe di distanza 0-75m. Infatti i valori di rischio sono più alti e più significativi per i soggetti che vivono nelle immediate vicinanze della strada (fascia 0-75m) rispetto alle altre fasce di distanza considerate. Anche il modello di regressione logistica evidenzia un maggior rischio per la popolazione femminile.

Discussione

Lo studio ha messo in evidenza la presenza di associazioni statisticamente significative tra il vivere in prossimità della Tosco-Romagnola ed alcuni sintomi/malattie respiratori.
Nella prima fase della ricerca abbiamo applicato uno schema di classificazione spaziale dei soggetti a due livelli (esposti vs. controlli), prendendo in considerazione tre differenti soglie di distanza dalla strada. Il confronto dei risultati ottenuti nei tre studi in seguito all'applicazione del test del chi-quadrato non ha fornito una chiara indicazione su quale distanza tra le tre analizzate risulti maggiormente a rischio per la salute respiratoria della popolazione. Infatti il maggior numero di significatività sono state riscontrate per coloro che vivono entro una distanza dalla strada di 75m (sibili, asma bronchiale, dispnea, disturbi cardiaci, bronchite cronica ed enfisema) e 100m (sibili, asma bronchiale, attacchi di difficoltà di respiro, dispnea, bronchite cronica ed enfisema), ma anche per la classe 0-150m risultano associazioni importanti (asma bronchiale, dispnea, bronchite cronica ed enfisema).
L'obiettivo della seconda fase della ricerca è stato quello di estrarre maggiore informazione dai dati a disposizione. Abbiamo, così, applicato un modello di classificazione a corona, in cui i soggetti sono stati raggruppati in tre classi caratterizzate da un livello di esposizione all'inquinamento da

traffico decrescente all'aumentare della distanza. Lo stesso schema è stato ripetuto tre volte al fine di evidenziare eventuali variazioni significative tra le classi di distanza specificate. L'analisi bivariata ha fornito risultati molto interessanti: sebbene la significatività statistica sia stata ottenuta solo nel caso della dispnea in tutti e tre gli studi condotti, possiamo notare che, osservando i tassi di prevalenza di gran parte dei sintomi/malattie, esiste un trend decrescente passando dalla prima classe di soggetti maggiormente esposti fino alla terza rappresentata dai controlli. Il modello di regressione logistica multipla conferma questa indicazione fornita dall'analisi bivariata: gran parte delle significatività si riferiscono alla classe dei soggetti residenti entro i 75m dalla strada, ossia i più esposti all'inquinamento atmosferico da traffico autoveicolare.
Viene confermata dallo studio una tendenza di carattere generale consistente con altri studi inerenti la relazione tra esposizione ad inquinamento atmosferico e salute respiratoria (Venn et al. 2001, van Vliet et al., 1997): le associazioni significative ottenute tra distanza dalla strada e prevalenza di sintomi/malattie respiratorie si riferiscono in gran parte al sottocampione delle femmine. Tale tendenza può avere diverse origini: da un punto di vista più propriamente medico può essere legata ad una maggiore suscettibilità fisiologica delle donne rispetto agli uomini, da un punto di vista geografico tradizionalmente la donna è più legata all'ambiente in cui vive rispetto all'uomo che generalmente presenta una maggiore mobilità sul territorio per motivi lavorativi o altro.
E proprio la mobilità dei soggetti sul territorio risulta essere un punto chiave da dover prendere in considerazione nel momento in cui si tenta di valutare l'esposizione a inquinamento prodotto dal traffico autoveicolare. A tal riguardo è importante citare lo studio presentato alla 9ª Conferenza Nazionale ASITA (della Maggiore et al., 2005) in cui è stata valutata la cosiddetta "affidabilità geografica" dei soggetti, ossia quanto lo stato di salute di ciascun soggetto sia rappresentativo della qualità dell'ambiente in cui vive. Tale rappresentatività è tanto più alta quanto più vengono minimizzati gli effetti di altri fattori di esposizione diversi dal luogo di residenza, primi fra tutti il fumo e la mobilità dei soggetti sul territorio. Pertanto futuri lavori mirano a integrare il concetto di affidabilità geografica in fase di classificazione dei soggetti, cercando di focalizzare l'attenzione sui soggetti maggiormente rappresentativi.
Un'altra importante considerazione da fare riguarda il metodo di valutazione dell'esposizione ad inquinamento atmosferico. Il metodo adottato basato sulla distanza delle abitazioni dalla strada principale risulta un primo passo verso una determinazione più sofisticata dell'esposizione. Diversi studi internazionali (Pierse et al., 2006, Hertel et al., 2001), infatti, utilizzano un approccio geografico, basato sull'uso dei GIS, per modellare l'esposizione umana all'inquinamento da traffico. Esistono diversi modelli di dispersione degli inquinanti (AirGis, Caline, Airviro) che tengono conto di numerosi fattori: variabili metereologiche, direzione e forza dei venti, turbolenza, topografia, effetto degli edifici, volumi e tipologie di traffico. Tali modelli consentono di valutare l'esposizione con un'alta risoluzione sia spaziale, a livello dell'indirizzo di residenza, sia a livello temporale, ad intervalli anche di un'ora. Nel nostro caso-studio l'ostacolo maggiore riguarda la disponibilità di dati di input per l'applicazione di tali modelli, soprattutto per quanto riguarda i dati inerenti il traffico.
La metodologia applicata, fondata sulla georeferenziazione dei soggetti per indirizzo di abitazione, mostra chiari margini di approfondimento in fatto di valutazione dell'esposizione della popolazione. Tuttavia non risulta sempre applicabile in maniera economica, almeno per quanto riguarda la realtà italiana, a causa della difficoltà di reperimento di dati cartografici di base completi ed affidabili; d'altra parte, dove applicabile, apre la strada ad una ancor più attenta valutazione ambientale, come sopra accennato.

Riferimenti bibliografici

Cromley E.K., McLafferty S.L. (2002), *Gis and Public Health.* The Guilford Press
Nicolai T., vonMutius E. (1996), "Respiratory hyper-sensitivity and environmental factors: East and West Germany", *Toxicology Letters,* 86: 105-113

Nicolai T., Carr D., Weiland S.K., Duhme H., von Ehrenstein O., Wagner C., 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

Lin S., Munsie J.P., Hwang S., Fitzgerald E., Cayo M.R. (2002), "Childhood asthma hospitalization and residential exposure to state route traffic", *Environmental Research*, 88: 73-81

Pierse N., Rushton L., Harris R.S., Kuehni C.E., Silverman M., Grigg J. (2006), "Locally generated particulate pollution and respiratory symptoms in young children", *Thorax,* 61: 216-220

Maio S., Nuvolone D., Fresco R., della Maggiore R., Baldacci S., Martini F., Borbotti M., Angino A., Viegi G. (2005), "GIS for epidemiological studies", *Proceedings of 8th AGILE Conference on GIScience*. Estoril, Portugal May 26-28, 2005: 623-628

Garshick E., Laden F., Hart J.E., Caron A. (2003), "Residence near a major road and respiratory symptoms in U.S. veterans", *Epidemiology*, 14: 728-736

Venn A.J., Lewis S.A., Cooper M., Hubbard R., Britton J. (2001), "Living near a main road and the risk of wheezing illness in children", *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine,* 164: 2177-2180

van Vliet P., Knape M., de Hartog J., Janssen N., Harssema H., Brunekreef B. (1997), "Motor vehicle exhaust and chronic respiratory symptoms in children living nera freeways", *Environmental Research,* 74: 122-132

della Maggiore R., Nuvolone D., Fresco R., Perotto E. (2005), "Costruzione di mappe di rischio da dati sanitari", *Atti della 9th Conferenza Nazionale ASITA* Catania, 15-18 Novembre, 2005, 1: 897-902

Hertel O., Jensen S.S., Andersen H.V., Palmgren F., Wahlin P., Skov H., Nielsen I.V., Sorensen M., Loft S., Raaschou-Nielsen O. (2001), "Human exposure to traffic pollution.Experience from Danish studies.", *Pure Appl. Chem.,* 73: 137-145