

TECNOLOGIA GIS A SUPPORTO DI INDAGINI AMBIENTALI

Roberto DELLA MAGGIORE, Elia PEROTTO, Roberto FRESCO

Consiglio Nazionale delle Ricerche, Istituto di Scienza e Tecnologie dell'Informazione "A. Faedo"
Area della Ricerca del CNR, Via G. Moruzzi 1, loc. S.Cataldo, I56124 Pisa, Italia
Tel: +39 050 315 2944 Fax: +39 050 3138092
e-mail: Roberto.dellaMaggiore@cnuce.cnr.it

Riassunto

La strategia di raccolta dei dati è un aspetto delicato per applicazioni di ogni tipo ed in particolare lo è per le indagini ambientali: infatti spesso i fenomeni che avvengono su un certo territorio vengono conosciuti e studiati grazie alle “letture” che vengono fatte a campione sul territorio stesso. È perciò importante che la distribuzione dei campioni rispetti criteri di uniformità e sia aderente agli scopi degli studi che vengono intrapresi. Si osserva che talvolta per motivi essenzialmente pratici a questi aspetti non viene prestata l'attenzione che meritano, mentre le successive fasi di analisi sono invece affrontate con abbondanza di dettaglio. La tecnologia GIS può fornire un valido supporto per fare una analisi preventiva del territorio in esame e per determinare i siti ottimali di campionamento.

Questa comunicazione descrive l'esperienza fatta nel corso di una indagine ambientale-epidemiologica per la quale un sistema GIS è stato utilizzato per localizzare geograficamente i siti di lettura suddetti in maniera consapevole. Il campionamento dei soggetti per l'indagine epidemiologica è stato fatto con criterio di uniformità spaziale dopo l'analisi della distribuzione dell'intera popolazione residente, anche controllando la potenza statistica dei sottocampioni individuati per le diverse zone. Per l'aspetto ambientale il GIS è stato utilizzato per la determinazione dei siti di prelievo dei campioni di terreno da analizzare chimicamente, avendo posto come *target* una distribuzione spaziale dei siti che coprisse sì l'intera area di esame, ma tale da privilegiare i luoghi abitati; ciò allo scopo di permettere un confronto significativo fra i due aspetti dell'indagine, quello basato sull'ambiente e quello basato sull'uomo.

Abstract

The strategy of data collection is a very sensitive aspect for any application, and in particular it is true for environmental research: phenomena which take place on a given territory are often known and studied through “readings” which are taken as samples on the same territory. It is therefore important that the distribution of samples be consistent with uniformity rules and be coherent with the aims of the research. We may observe that sometimes, for essentially practical reasons, these aspects do not receive enough attention, while following phases of analysis are instead dealt with in deep detail. GIS technology can give a valid support to a preventive analysis of the territory under examination, and to determine optimal sampling sites.

This communication shows as a GIS system was used to help choosing sampling sites for an environmental-epidemiological survey. The sampling of people submitted to the epidemiological survey was done respecting the uniformity of spatial distribution, after the analysis of the whole resident population distribution, and a control of the statistical weight of partial samples chosen in the different territorial sections. On the environmental aspect, the GIS system was used to choose the sites where to collect the samples of soil to be chemically analyzed, having as target a spatial distribution of the sites which covered entirely the area under examination, but such that it privileged the more populated areas; this in view to have the possibility of a significant comparison between the aspects of our survey, the one based on the environment and the other based on people.

1. Introduzione

Nel corso del 2001 è stata svolta dal CNR una indagine conoscitiva nell'area sud-est del comune di Pisa, allo scopo di valutare i rischi per la salute della popolazione residente nella zona, nella quale si trova un inceneritore di rifiuti solidi urbani. L'indagine si articola su due aspetti principali: la misura degli effetti dell'inquinamento sull'uomo e la verifica della presenza di sostanze inquinanti nell'ambiente. Per il primo aspetto sono state svolte indagini epidemiologiche diverse fra cui una campagna campionaria su sintomi e malattie che è oggetto del presente lavoro. Lo schema adottato per la georeferenziazione della popolazione è di massimo dettaglio, basandosi sull'indirizzo di abitazione dei singoli soggetti. Per l'indagine sull'ambiente la nostra attenzione si è rivolta allo studio della caratterizzazione del suolo ottenuta tramite l'analisi di campioni di terreno.

I due argomenti suddetti presentano caratteristiche che li rendono particolarmente adatti ad essere affrontati con tecnologia GIS a supporto delle decisioni: infatti per entrambi occorre determinare i siti in cui andare ad effettuare le letture, avendo dei vincoli quantitativi da rispettare, imposti dall'economia del progetto. Nel seguito si descrive la metodologia adottata per i campionamenti.

2. Il GIS a supporto dell'indagine epidemiologica campionaria

2.1. Cenni al progetto

Il progetto di cui fa parte il lavoro è di ampio respiro, voluto dal comune di Pisa a seguito di pressanti richieste della popolazione abitante nel circondario dell'inceneritore di rifiuti situato in periferia, al confine fra una zona agricola ed un'area recentemente destinata ad insediamenti per la piccola e media industria. Il CNR è stato incaricato dello svolgimento dell'indagine e del coordinamento dei lavori che hanno coinvolto numerosi ricercatori e tecnici di istituzioni diverse: l'Università di Pisa, l'Unità Sanitaria Locale, l'Agenzia Regionale per la Protezione Ambientale della Toscana, oltre allo stesso Comune di Pisa ed al CNR, partecipante con tre istituti distinti.

L'indagine epidemiologica campionaria su malattie e sintomi è organizzata su base familiare: ad un campione generale di popolazione viene proposto un questionario standardizzato, con il quale si raccolgono informazioni sullo stato di salute dei soggetti ed altre informazioni aggiuntive sullo stile di vita, sulle malattie pregresse, le caratteristiche ambientali dei luoghi di soggiorno abituale e la percezione individuale della qualità dell'ambiente stesso.

2.2. Definizione dell'area di indagine

I confini spaziali dell'area su cui effettuare lo studio sono stati inizialmente indicati a grandi linee dall'Amministrazione Comunale di Pisa, di concerto con i tecnici del CNR, sulla base delle modalità di routine di studi similari, definendo così cinque cerchi concentrici (suddivisi ognuno in venti settori) attorno all'impianto dell'inceneritore; il raggio dei cerchi è stato fissato in progressione quasi logaritmica e cioè rispettivamente 400 m, 800 m, 1.400 m, 2.700 m e 5.000 m, individuando così un cerchio interno e quattro corone concentriche circostanti. Ancora con criterio di routine, e con riguardo al *budget* disponibile, è stato fissato il numero di soggetti da sottoporre all'indagine campionaria (1500 persone) ed il numero dei campioni di terreno da analizzare (100): per questi ultimi è stata anche stabilita la strategia di localizzazione dei siti di prelievo, stabilendo di prelevare un campione per ognuno dei cento settori circolari in cui è stato suddiviso il territorio.

2.3. Correzione dell'area di indagine con riferimento alla distribuzione della popolazione

Per pianificare la raccolta dei dati è stata svolta mediante un sistema GIS l'analisi esplorativa spaziale dell'area d'indagine: con i dati della cartografia numerica locale è stata preparata la mappatura degli edifici per civile abitazione e su di essa sono stati tracciati i cerchi concentrici ed i settori; dall'analisi visiva è emerso che la corona esterna avrebbe incluso una vasta zona popolosa molto prossima al centro della città. Qui il traffico ed altri fattori locali potevano essere predominanti rispetto agli effetti dell'inceneritore, pertanto è stato deciso di limitare l'area di studio a 4000 m. Durante questa fase è stato deciso, ancora con il supporto GIS, di estendere l'indagine ad altre due zone cittadine, da utilizzare come controllo: una è stata scelta entro i 5 Km di distanza

dell'inceneritore, in una zona agricola, l'altra distante fra i 7 e gli 8 Km dall'inceneritore, in una zona residenziale nella quale i fattori di confondimento sono verosimilmente abbastanza bassi.

2.4. Georeferenziazione della popolazione residente

Tradizionalmente negli studi epidemiologici del tipo in considerazione il campionamento dei soggetti viene effettuato con riferimento ad entità territoriali (in Italia tipicamente le sezioni di censimento, altrove anche altre entità come ad esempio le zone postali o i distretti sanitari, secondo le disponibilità locali); lo scopo è di mirare ad una distribuzione uniforme nello spazio dei soggetti scelti, oltre che per l'accesso, nella successiva fase di studio, ad eventuali dati socioeconomici disponibili. Nel nostro caso la strategia di campionamento ha privilegiato l'uniformità di distribuzione spaziale dei soggetti e pertanto lo schema adottato per la georeferenziazione dei soggetti fa riferimento all'indirizzo di residenza, posizionando ogni persona nella propria abitazione. Ciò è stato possibile grazie al fatto che il Comune di Pisa dispone di un buon Sistema Informativo Territoriale, con cartografia dettagliata (scala di acquisizione 1:2000) ed una mappatura dei numeri civici discretamente affidabile. È stato quindi utilizzato un riferimento di tipo puntuale per ogni cittadino, associando ad ognuno le coordinate del punto corrispondente in mappa al numero civico dell'abitazione.

2.5. Analisi spaziale della popolazione e campionamento per zona

Il campionamento dei soggetti all'interno dell'area di studio è fortemente dipendente dal GIS. L'obiettivo stabilito è stato quello di selezionare i soggetti ottenendo una distribuzione regolare sull'intera area, senza però rinunciare alla suddivisione iniziale prevista delle corone concentriche, ciascuna suddivisa in 20 settori. Integrando nel GIS i dati dell'Ufficio di Anagrafe del Comune è stato calcolato il numero di persone abitanti in ciascuna corona. Il risultato è riportato nella seconda colonna della Tabella 1. Sulla base di questo è stato deciso di selezionare per l'indagine tutte le persone abitanti all'interno del cerchio di 1.400 m, mentre per le due rimanenti zone è stata adottata

Zona	N. abitanti	Criterio di selezione	N. selezionati
entro 400 m	18	tutti	18
fra 400 m e 800 m	50	tutti	50
fra 800 m e 1.400 m	291	tutti	291
fra 1.400 m e 2.700 m	1.197		
settori a bassa densità abitativa		tutti	158
settori ad alta densità abitativa		1 su 5	206
fra 2.700 m e 4.000 m	10.921		
settori a bassa densità abitativa		tutti	180
settori ad alta densità abitativa		1 su 20	536
aree di controllo:			
1) Coltano	84	tutti	84
2) S. Piero a Grado	1.962	1 su 10	196
Totali	14.523		1.719

Tabella 1: selezione dei soggetti da sottoporre all'indagine campionaria

una strategia mista: nelle zone agricole (con bassa densità di abitazioni) è stata selezionata l'intera popolazione, mentre nelle aree urbane e suburbane è stato stabilito un rapporto di campionamento per ciascuna delle due corone (1:20 per quella esterna più popolosa, 1:5 per l'altra) al fine di contenere il numero dei soggetti partecipanti entro il limite stabilito. Anche in questo caso si è fatto ricorso al GIS per selezionare, in base ai settori di corona pertinenti, gli insiemi di abitanti su cui applicare il campionamento. Per le aree di controllo è stato seguito analogo criterio, fissando in 1:10 il rapporto di campionamento per l'abitato di S. Piero a Grado. Il risultato numerico della strategia di campionamento adottata è mostrato nella terza e quarta colonna della Tabella 1, mentre

nella figura 2 è mostrata la mappa del territorio con la distribuzione dei soggetti selezionati (rappresentati ciascuno nel proprio indirizzo di residenza) la quale risulta ben uniforme, dando una copertura completa delle zone in cui sono presenti abitazioni.

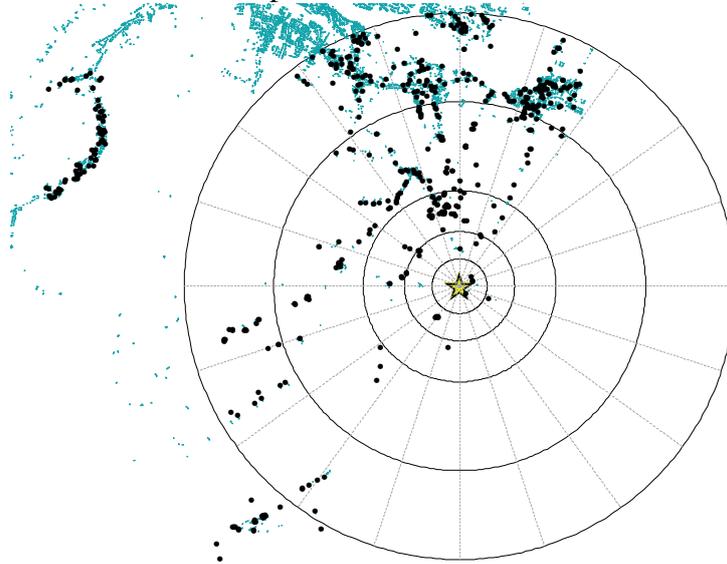


Figura 2 - Distribuzione spaziale dei soggetti selezionati: i puntolini neri corrispondono alle abitazioni dei soggetti, in grigio chiaro sono rappresentati gli edifici civili.

3. Confronto con indagine senza approccio GIS

A scopo di confronto si riporta in figura 3 una mappa che rappresenta la distribuzione dei soggetti partecipanti ad un'indagine epidemiologica campionaria svolta negli anni 1992-93 in una regione limitrofa a quella attualmente in esame. Il campionamento per tale indagine, i cui risultati peraltro sono stati oggetto di numerosi ed interessanti studi, fu condotto con metodi tradizionali: la selezione

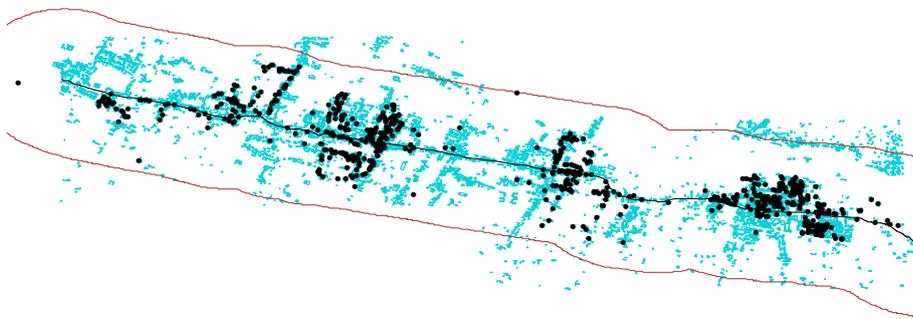


Figura 3 – Distribuzione di soggetti selezionati senza ausilio GIS

fu effettuata con legami spaziali deboli, in seno ad un sottoinsieme di sezioni di censimento scelte in base a criteri socioeconomici, non essendo fra gli obiettivi del progetto lo svolgimento di una vera e propria analisi spaziale. Solo in un secondo tempo, ad indagine completata, è stata effettuata la mappatura dei soggetti partecipanti mostrata in figura, anche in questo caso con riferimento all'indirizzo di abitazione. La distribuzione spaziale mostra delle evidenti discontinuità sul territorio, dovute non alla mancanza di dati disponibili (come indicano gli edifici presenti) ma al criterio di selezione dei campioni.

4. Il GIS a supporto dell'indagine ambientale

Come detto, l'obiettivo iniziale di prelevare un campione di terreno per ciascuno dei 100 settori individuati per via geometrica, è stato in parte modificato a vantaggio di una scelta dei punti di prelievo ispirata anche ad altri due criteri: una maggiore uniformità di distribuzione sul territorio ed un legame più stretto con la presenza antropica, con il duplice intento di rendere più significativa l'analisi spaziale dei dati raccolti ed il confronto con l'indagine epidemiologica. Per il primo

obiettivo una griglia di punti a maglia quadrata regolare di 500 metri è stata disegnata sull'intero territorio, ottenendo così un insieme numericamente in eccesso rispetto al *target* di progetto. Perciò successivamente si è provveduto a selezionare da questo insieme solo i punti che ottemperassero al secondo criterio. Per far questo è stata ricavata, tramite il GIS, un'area poligonale contigua contenente tutte le abitazioni del sito di indagine e tale che il bordo dell'area si trovi ad una distanza

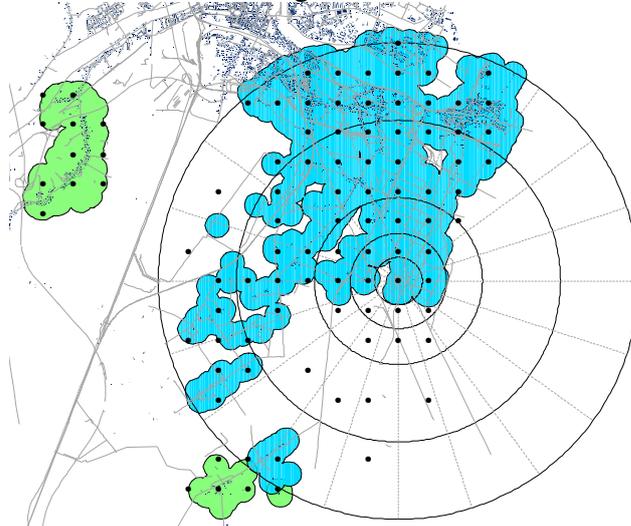


Figura 4 – Distribuzione teorica dei siti di campionamento del terreno

pari ad almeno 200 m da una qualsiasi abitazione; quindi sono stati selezionati tutti i punti della griglia ricompresi in tale area poligonale. Infine è stato scelto un punto per ognuno dei cento settori iniziali non compreso nell'area delle abitazioni. In tal modo sono stati riassegnati tutti i cento punti-guida per effettuare i prelievi di campione di terreno da analizzare. La figura 4 mostra il risultato ottenuto. I prelievi poi non sono stati fatti esattamente nei punti indicati, sia perché taluni

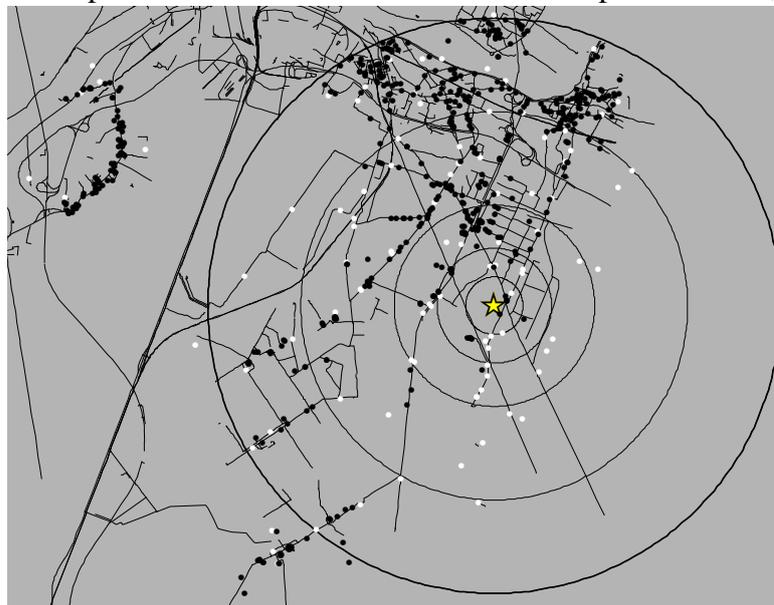


Figura 5 – Confronto fra la distribuzione dei soggetti dell'indagine epidemiologica (punti neri) e quella dei prelievi di campione di terreno (punti bianchi)

ricadevano in zone inaccessibili (abitazioni, canali, strade, ferrovie) sia perché la sensibilità del rilevatore indicava di preferire un sito alternativo. Tuttavia si è ricercata la massima aderenza possibile ai siti teorici (è stato utilizzato un GPS per l'esatto posizionamento) ed il risultato è mostrato nella figura 5 che permette di confrontare le distribuzioni spaziali dei due insiemi di dati raccolti, quelli relativi alla popolazione e quelli del terreno.

5. Conclusioni

La metodologia introdotta in questo studio per il coordinamento delle attività di progetto con ricorso a tecnologia GIS ha permesso di svolgere le indagini nei diversi settori disciplinari in maniera coordinata e produttiva, ponendo anche le basi per un più significativo confronto fra i risultati di settori diversi. L'approccio GIS ha reso possibile l'analisi preventiva delle caratteristiche geografico-spaziali del territorio e della pressione antropica su di esso. Il confronto con l'indagine condotta con metodologie tradizionali mette in evidenza i vantaggi conseguenti all'approccio GIS soprattutto ai fini dell'analisi spaziale per una conoscenza più precisa del territorio.

6. Dati tecnici

I dati cartografici fanno parte della cartografia numerica regionale 1:2000 della Regione Toscana (Carta2000) integrata con gli aggiornamenti dell'Ufficio SIT del Comune di Pisa. I dati anagrafici della popolazione sono forniti dall'Ufficio di Anagrafe del Comune di Pisa e sono stati trattati in forma anonima, nel rispetto della *privacy*. Il *software* utilizzato è ArcView GIS (ESRI) integrato con MS-Access per il campionamento della popolazione. L'apparecchiatura GPS utilizzata è Garmin E-Map; il *software* per lo scambio di dati con Windows è GPS Utility ver. 4.04.

7. Bibliografia

1. della Maggiore R., Fresco R. Man as biomarker: Abstracts of Geographic Information Sciences in Public Health 2001, First European Conference 19-20 September, 2001 Sheffield, UK, p.26.
2. Bianchi F et al. Epidemiological and environmental study by GIS in Pisa suburbs (Italy): Abstracts of Geographic Information Sciences in Public Health, First European Conference 19-20 September, 2001 Sheffield, UK, p.73.
3. della Maggiore R., Fresco R., Perotto E. Mapping health and environmental data: Abstracts of Geographic Information Sciences in Public Health – 2001, First European Conference 19-20 September, 2001 Sheffield, UK, p.75.
4. della Maggiore R, Bottai M, Mammini U, Mura E, Fresco R. Technical Report “L'uso di tecnologie informatiche per l'analisi spaziale applicata al monitoraggio dell'inquinamento atmosferico”, CNR (CNUCE) / Cascina Municipality, Italy, may 31, 2000.
5. Batterman S. and Huang Y.L. Residence location as a measure of environmental exposure: a review fo air pollution epidemiology studies, Journal of Exposure Analysis and Environmental Epidemiology 2000-10-1.
6. della Maggiore R, Bottai M, Mammini U. Valenza geografica nei dati epidemiologici 3ª Conferenza Nazionale ASITA “Informazioni territoriali e rischi ambientali”, Napoli, Italy, november 9-12, 1999 Conference Proceedings, pp 701-702.
7. della Maggiore R, Mammini U. Applicazione di tecnologia GIS all'epidemiologia 2ª Conferenza Nazionale ASITA “Rilevamento, rappresentazione e gestione dei dati territoriali e ambientali”, Bolzano, Italy, november 24-27, 1998 Conference Proceedings, pp 561-562.
8. della Maggiore R, Mammini U, Baldacci S et al. Spatial featuring of epidemiological data of a general population sample living in Central Italy, First International Health Geographics Conference, Baltimore, Maryland, USA, October 16-18, 1998, <http://www.jhsph.edu/ihgc>
9. Gatrell AC, Löytönen M. Gis And Health Research: An Introduction. Gis And Health, GISDATA Series no. 6: pp. 3-16 ; Taylor & Francis Inc., 1998; ISBN 0-7484-07790.
10. Smans M, Esteve J. Pratical approaches to disease mapping. Geographical and Environmental Epidemiology, Methods for Small area studies, Oxford University Press 1997, ISBN 0-19-262235-8: 140-150.
11. Vine MF, Degnan D, Hanchette C. Geographic Information Systems: their use in environmental epidemiologic research. Environ Health Perspect 1997; 105: 598-605.
12. M.M Fischer, Scholten HJ et al. Geographic information systems, spatial data analysis and spatial modelling: an introduction. Spatial Analytical perspectives on GIS, GISDATA Series no. 4: pp. 3-19; Taylor & Francis Inc., 1996; ISBN 0-7484-0339-6.