

Modello di dati GIS per studi di qualità dell'aria basati su simulazioni modellistiche della dispersione di inquinanti

Maria Paola Bogliolo (*), Sara Fabbi (**), Sergio Teggi (**)

(*) DIPIA, ISPESL-INAIL, V. Fontana Candida 1, 00040 Monteporzio Catone (RM), mariapaola.bogliolo@ispesl.it

(**) DIMeC, Università di Modena e Reggio Emilia, Via Vignolese 905, 41125 Modena, sergio.teggi@unimore.it

Riassunto

Viene presentato un modello di dati GIS finalizzato a fornire supporto visivo e analitico per simulazioni modellistiche della dispersione di sostanze inquinanti in atmosfera. L'obiettivo è quello di creare un ambiente unico all'interno del quale gestire i dati di input al modello e i suoi risultati, eseguire analisi delle simulazioni e calcolare grandezze connesse al rischio che deriva dal campo di inquinamento modellato, per la popolazione e per l'ambiente. E' stato inoltre predisposto per includere dati epidemiologici e correlarli con stime di esposizione. Il database è stato testato popolandolo con dati relativi ad un caso di studio nella Conca di Terni e costituisce la base di riferimento per il GIS che verrà utilizzato dal Progetto LIFE+ 2009 "*Population Exposure to PAH*" (*EXPAH*), recentemente approvato.

Abstract

A geographic data model has been set up, to support display and analysis of air dispersion simulations. The goal was to create a global environment where to manage input data to the model and model results, to perform spatial analyses and to evaluate the risk coming from the modelled pollution field, for people (exposure) and environment. The GIS model was also set up to include epidemiological data to be correlated with exposure estimates. The geographical database has been tested by populating it with data for a case study located on the industrial area of Terni, where air dispersion simulations were performed. The data model will be the basis for the GIS aimed to manage information coming from the LIFE+2009 Project "*Population Exposure to PAH*" (*EXPAH*), recently approved.

Introduzione

Gli studi tesi ad individuare e caratterizzare la correlazione tra eventi acuti di inquinamento dell'aria ed effetti sanitari a breve termine analizzano un problema territoriale multidimensionale. Devono infatti essere presi in considerazione i rapporti tra la distribuzione spatio-temporale delle concentrazioni degli inquinanti in atmosfera e i diversi fattori che condizionano l'effettiva esposizione della popolazione (distribuzione dei residenti e dei lavoratori, ritmi di vita *indoor-outdoor*, spostamenti, etc.). L'eventuale confronto tra il numero di casi attesi e di quelli registrati richiede l'ulteriore correlazione spatio-temporale con dati epidemiologici.

L'informazione sul campo di concentrazione di inquinanti nell'aria respirabile può essere ricavata a partire dalle misure di una rete di centraline chimiche, che però pongono problemi di rappresentatività della misura allontanandosi dalla centralina, oppure da simulazioni modellistiche della dispersione in atmosfera degli inquinanti, effettuate a partire dalle caratteristiche delle fonti emissive e dalle condizioni meteorologiche locali. I modelli di dispersione forniscono in uscita un campo tridimensionale delle concentrazioni degli inquinanti considerati, direttamente correlabile con le altre variabili che definiscono l'esposizione.

A fronte del grande contenuto informativo, si riscontra che spesso i risultati dei modelli di simulazione hanno una contestualizzazione territoriale minima, prevalentemente di mero riferimento geografico, rappresentata su interfacce proprietarie. Ciò limita la possibilità di mettere in evidenza, anche solo dal punto di vista qualitativo, le possibili ricadute sanitarie del campo di concentrazioni valutato, e cioè i possibili impatti sulla popolazione, o anche di sfruttare le simulazioni per prendere decisioni in merito alla più opportuna disposizione delle centraline di monitoraggio, alla loro rappresentatività o alla protezione di bersagli sensibili, naturali e non (es. vegetazione protetta, ospedali, scuole).

Viceversa questi aspetti sono di grande interesse, sia ai fini dell'informazione alla popolazione stessa, sia per l'attivazione di provvedimenti di controllo e riduzione delle emissioni, sia per scopi di pianificazione. Sempre di più, infatti, le strategie per il controllo e il miglioramento della salute e della qualità della vita dovranno essere basate non solo sulla riduzione delle emissioni, ma anche su criteri pianificatori (nuovi insediamenti industriali, infrastrutture di trasporto, insediamenti residenziali).

Dalle considerazioni sopra esposte è scaturita l'esigenza di predisporre un supporto geografico in ambiente GIS mirato ad agevolare il processo di analisi dei rapporti tra emissioni in atmosfera e salute. È stato quindi progettato un sistema informativo geografico finalizzato a gestire l'intero flusso informativo di studi di qualità dell'aria, particolarmente orientato a supportare e contestualizzare studi effettuati con modelli di dispersione, e ad evidenziare i possibili effetti su popolazione e ambiente. Il modello è concepito per poter essere applicato di volta in volta alle diverse aree oggetto di studio.

Il sistema informativo progettato costituirà la base di lavoro per le attività GIS previste dal Progetto LIFE+ 2009 "*EXPAH - Population Exposure to PAH*", recentemente approvato, cui partecipano diverse istituzioni con il coordinamento scientifico dell'ISPESL - INAIL. Il progetto si propone di identificare e quantificare l'esposizione delle fasce di popolazione più giovani e più anziane al contenuto di IPA nel particolato di aree altamente urbanizzate e di stabilirne l'impatto sulla salute, utilizzando la città di Roma come caso di studio. Un approccio integrato, basato su misure e tecniche modellistiche, verrà utilizzato per stimare la distribuzione spaziale dell'esposizione, identificarne i fattori determinanti e i potenziali effetti sulla salute. Il GIS è lo strumento attraverso cui si prevede di gestire, presentare e diffondere i dati e i risultati del progetto.

Il modello di dati GIS

Il prodotto principale della ricerca è un modello GIS che, popolato con i dati di un'area, crea un ambiente adatto a rappresentare ed analizzare i rapporti tra emissioni inquinanti e salute della popolazione. Il GIS è concepito per gestire l'intero flusso di dati, dalla gestione dei dati in input al modello di simulazione della dispersione degli inquinanti, alla visualizzazione dei risultati delle simulazioni, ai dati socio-demografici ed epidemiologici, e per effettuare operazioni statistiche e di calcolo spaziale per ricavare ad esempio stime di esposizione ed in generale del rischio per la popolazione e l'ambiente derivante dal campo di inquinamento modellato.

Il modello definisce il GIS nelle seguenti componenti:

- Sistema di riferimento cartografico della rappresentazione;
- Dominio di lavoro;
- Scale di riferimento e risoluzione minima e massima dei dati;
- Contenuti: il criterio che ha guidato la definizione dei contenuti è stato quello di costruire una base di riferimento senza pretese di completezza ma di validità generale, su cui costruire di volta in volta, in maniera accettabilmente speditiva, il sistema informativo dedicato a diverse realtà territoriali;
- Per ciascun contenuto sono state definite le possibili fonti di dati, sulla base del dettaglio e dell'accuratezza necessari, privilegiando quelle di maggiore affidabilità e reperibilità e orientandosi ogniqualevolta possibile verso fonti di pubblico dominio. Ove necessario sono stati definiti i formati e le procedure di preparazione dei dati;

- Organizzazione delle informazioni (struttura del DB geografico e alfanumerico);
- Implementazione di alcune funzioni, quali l'interfacciamento con database esterni.

Caratteristiche

Di seguito vengono illustrate le principali caratteristiche del sistema creato.

Per la rappresentazione delle informazioni è stato scelto il sistema UTM nel fuso 33 su datum WGS84.

I modelli di dispersione che lavorano su domini locali (qualche centinaio di chilometri quadrati) effettuano la simulazione ai nodi di un grigliato tridimensionale con risoluzione orizzontale minima di 125 - 250 metri. Le scale di rappresentazione devono essere quindi coerenti con la risoluzione delle simulazioni, ma devono anche permettere la visualizzazione di alcuni dettagli, come ad esempio la posizione delle sorgenti di emissione, delle stazioni meteorologiche e delle centraline chimiche. Gli estremi di rappresentazione sono così stati stabiliti nelle scale 1:25000 -- 1:100000.

Il dominio è coincidente con il dominio orizzontale utilizzato nel modello di dispersione, ampliato di $l/2$ in ogni direzione, dove l è la risoluzione orizzontale del grigliato del modello. Questo perché il valore calcolato del modello ad ogni nodo del grigliato viene attribuito alla cella di risoluzione orizzontale l centrata sul nodo stesso. Per alcuni layer assume particolare importanza l'area dei poligoni cui gli attributi si riferiscono (es. dati demografici riferiti alle celle censuarie): in questi casi il layer viene esteso all'intera superficie dei poligoni che intersecano il dominio.

La Figura 1 mostra l'elenco dei contenuti, l'organizzazione per tematiche (data set), l'utilizzo prevalente e le fonti individuate per i dati.

DATA SET	LAYERS	TIPO	UTILIZZO	FONTE di DATI
Cartografia	dominio di simulazione	V	Rif cartog.	
	Tavole IGM 1:25000	R	Rif cartog.	IGM
	Immagine Telerilevata media risoluzione	R	Rif cartog., Fonte di dati	ASTER, ETM+ ortorettificata
	Limiti amministrativi regionali, provinciali, comunali	V	Rif cartog.	ISTAT
	Reticolo idrografico principale	V	Rif cartog.	DBPrior, Teletlas
	Viabilità stradale principale	V	Rif cartog.	DBPrior
	Viabilità ferroviaria principale	V	Rif cartog.	DBPrior
	Stabilimenti industriali principali (RIR art. 8 e art.6, INES) - perimetri	V	Rif cartog., Stime	CTR, PRG comunali, TLR, ISPESL
	Stabilimenti industriali principali (RIR art. 8 e art.6, INES)	DB esterno	Stime	MATTeM, ISPRA
	Morfologia	DEM bassa risoluzione - <90 m	R	Input modello, resa 3D
Proprietà della superficie	Uso del suolo su legenda richiesta dal modello	R	Input modello	calcolato da CLC2000
	Uso del suolo integrato con dati telerilevati	R	Input modello	calcolato da CLC2000 + ASTER/ETM+
	Mappe di parametri biofisici superficiali da TLR	R	Input modello	calcolato da TLR
Proprietà dell'atmosfera	Osservazioni meteo (da centralina, Modelli, Telerilevamento)	V+DB	Input modello	ARPA, Provincia, Meteosat
	Centraline chimiche	V+DB	Assimilazione/Verifica modello	ARPA, Provincia
Emissioni	Sorgenti emissive puntuali	V + DB	Input modello	Regione, Provincia, Comune
	Inventari emissivi (provinciali/comunali)	DB esterno	Fonte di dati	ISPRA, ARPA
	Sorgenti emissive lineari (grafo stradale)	V + DB	Input modello	calcolato da disaggr. Inventari
	Sorgenti emissive diffuse	V	Input modello	calcolato da disaggr. Inventari
Fattori sanitari e ambientali	Mappa delle coperture da Telerilevamento	R	Calcolo distribuz popolazione	calcolato da ASTER-ETM+
	Distribuzione della popolazione	V + DB	Valutazione esposizione	ISTAT
	Elementi puntuali di vulnerabilità territoriale***	V	Valutazione esposizione	Provincia, Comune
	Uso del suolo: CLC2000 L3	V	Valutazione vulnerab. ambientale	EEA - Internet
	Aree protette**	V	Valutazione vulnerab. ambientale	Regione, Provincia
	Indice di biomassa vegetale fotosinteticamente attiva	R	Valutazione vulnerab. ambientale	calcolato da ASTER-ETM+
Rischio sanitario e ambientale	Aree vegetali sensibili	R	Valutazione vulnerab. ambientale	calcolato su GIS
	Mappe di concentrazione medie/multitemporali e multiquota	R	Stime	Output da modellistica di dispersione
	Mappe di esposizione della popolazione	R	Stime	calcolabile su GIS
	Mappe del numero di casi attesi	R	Stime	calcolabile su GIS
	Bacini utenza ASL	V	Verifica numero di casi attesi	Comune
	Dati epidemiologici	V	Verifica numero di casi attesi	ASL
	Mappe di rischio ambientale	R	Stime	calcolabile su GIS

*** = Scuole, Ospedati, Asili, Case di riposo

** = ZPS, Parchi, reg/naz, SIC, Tutela paesaggistica-ambientale (D. Lgs. 490/99)

Figura 1 – Schema concettuale del GIS (V = vettoriale R = raster, DB = database alfanumerico).

La tematica "Cartografia" raccoglie le informazioni che servono da riferimento geografico di base. I temi "Morfologia", "Proprietà della superficie", "Proprietà dell'atmosfera" ed "Emissioni" contengono dati che vengono forniti in input al modello di simulazione. A riferimento è stato preso un modello di simulazione complesso che prevede la modellazione del campo di vento e del campo di turbolenza per definire la dispersione. L'inserimento nel GIS delle informazioni da fornire al

modello, oltre a facilitarne la gestione e l'aggiornamento, permette di controllare qualità e distribuzione dei principali parametri che inizializzano il modello, e di verificarne la effettiva registrazione, evitando errori di georeferenziazione altrimenti difficilmente individuabili, che inficerebbero i risultati delle simulazioni.

Il tema "*Fattori sanitari e ambientali*" raccoglie gli elementi di vulnerabilità all'inquinamento atmosferico presenti sul territorio. Nei "Fattori sanitari" sono stati inclusi i dati demografici e le strutture in cui risiedono stabilmente o comunque per gran parte della giornata sottogruppi di popolazione particolarmente vulnerabili (anziani, malati, bambini). Per parametrizzare la vulnerabilità dell'ambiente all'inquinamento atmosferico si è scelto in prima analisi l'ecosistema vegetale e, al suo interno, il sistema delle aree naturali protette.

I fattori di vulnerabilità, insieme ai risultati delle simulazioni modellistiche, vengono impiegati per effettuare stime degli impatti e del rischio per la salute della popolazione e per l'ambiente, i cui risultati vengono inseriti nel tema appositamente predisposto ("*Rischio sanitario e ambientale*"), che raccoglie anche i risultati delle simulazioni e i dati epidemiologici eventualmente disponibili.

Il modello concettuale di Fig. 1 è stato tradotto in un Geodatabase in ambiente Arc-Catalog di ARCGIS (ESRI Inc.). Per ciascun Tema è stato creato un *Feature Data set*, che è stato popolato con i layer contenenti i dati.

I layer comprendono: dati telerilevati elaborati in maniera differente per essere utilizzati sia come riferimento cartografico che come fonte di dati in input al modello di simulazione; dataset vettoriali, sia costruiti appositamente, sia reperiti da fonti di pubblico dominio; database alfanumerici esterni che sono stati resi consultabili su base geografica; dati raster relativi all'orografia, all'uso del suolo e ai risultati delle simulazioni (mappe di concentrazione medie e multi temporali alle varie quote); informazioni ausiliarie (video e immagini) di statistiche meteorologiche collegate geograficamente alle stazioni di acquisizione.

Applicazione al caso di studio

Seguendo lo schema organizzativo riportato in Figura 1, il modello è stato testato popolandolo il geodatabase con i dati relativi ad un dominio di 28 km x 20 km, centrato sulla città di Terni, oggetto di un progetto finanziato dal Ministero della Salute (Fig. 2).

Il GIS è stato utilizzato a supporto di una simulazione della dispersione di polveri emesse dai camini di 3 temovalorizzatori, effettuata con il pacchetto di modellistica ARIA Tech. (Tinarelli et al., 1998; ARIANET, 2001), che impiega il modello di dispersione lagrangiana a particelle SPRAY. Il modello ha calcolato i valori di concentrazione dell'inquinante sui nodi di un grigliato 3D, con risoluzione orizzontale di 250 m e con un *time step* orario. Nel GIS è possibile importare l'archivio NetCDF con l'intero dataset in uscita dal modello (grigliato 3D multitemporale) e visualizzare la sequenza temporale di ciascun livello verticale. Nel caso di studio è stato utilizzato il solo livello verticale di base, in cui è immersa la popolazione, e sono state effettuate statistiche per ricavare la concentrazione media su un intervallo temporale di un mese. Il grigliato di output del modello è stato interpolato su uno più fitto e coincidente con il grigliato della popolazione (20 m di risoluzione) utilizzando un algoritmo di Kriging.

Un'immagine del satellite ASTER (*Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer*) (ASTER Web Site, 2010) acquisita il 29 agosto 2007 è stata utilizzata sia come riferimento cartografico (prime 3 bande ortorettificate, risoluzione 15 metri), sia per ricavare dati in input al modello: una classificazione delle coperture, usata per integrare/aggiornare la mappa di uso del suolo CORINE, ed una mappa di albedo. E' stata inoltre calcolata una mappa di NDVI (Indice di biomassa vegetale fotosinteticamente attiva) che è stata utilizzata, incrociandola con la mappa delle aree protette, per individuare le Aree Vegetali sensibili, considerate più vulnerabili all'inquinamento atmosferico.

I limiti amministrativi sono stati ricavati da dati ISTAT, mentre i dati di viabilità e idrografia fanno parte del *Database Strati Prioritari* (DBPrior Web Site, 2010).

Il modello digitale delle altezze (DEM) della *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM Web Site, 2010), con risoluzione di 90 metri è stato utilizzato sia per l'input al modello sia per la resa 3D dell'area di studio.

I dati meteorologici in input al modello sono stati derivati da misure effettuate presso stazioni meteorologiche, profili modellati, stime da satellite (per la copertura nuvolosa). Tutti questi dati sono stati georiferiti e visualizzati nel GIS riportando, come punti, la posizione delle stazioni meteorologiche, del profilo modellato e un punto virtuale, baricentrico, per i valori di copertura nuvolosa estratti dai dati Meteosat. Ai punti è stata collegata una tabella di attributi contenenti informazioni generali su ciascun dataset. Analogo procedimento è stato seguito per le centraline chimiche presenti nel dominio.

Per le stazioni meteorologiche è stato aggiunto un campo grafico attraverso cui sono visualizzabili le rose dei venti. I grafici delle medie mensili sono stati montati in sequenza e resi accessibili come video.

Le sorgenti emissive puntuali sono tipicamente le emissioni industriali controllate (da camini, ciminiere etc.). Nel caso di studio sono state rappresentate le sole sorgenti successivamente utilizzate nella simulazione modellistica (Fig. 2). Esse sono state rappresentate da punti cui è associata una tabella di attributi descrittivi, riguardanti i valori dei parametri di emissione che vengono richiesti in input dal modello.

Gli inventari di emissione (APAT, 2005; EEA, 2007) vengono utilizzati dai modelli di dispersione per modellare l'apporto globale di inquinanti di un'area, e simulare un quadro complessivo del campo di concentrazioni degli inquinanti presenti, previa disaggregazione spaziale delle informazioni sulla base dell'uso del suolo e del grafo stradale.

Nel GIS sono stati inseriti gli inventari delle emissioni a livello provinciale e comunale forniti dall'ARPA Umbria (anno 2004 - ultimo rilievo disponibile). Le informazioni sono state inserite sotto forma di tabella e collegate tramite una relazione al layer dei limiti amministrativi comunali. La disaggregazione spaziale (non eseguita nel caso di studio) può essere effettuata direttamente all'interno del GIS utilizzando gli altri layer presenti: per contenere i risultati sono stati previsti i layer per sorgenti emissive puntuali, lineari e diffuse.

Il database demografico è stato ottenuto importando i dati demografici relativi all'ultimo censimento (ISTAT Web Site, 2010) in un DB ACCESS, selezionando dal dataset completo (205 campi) i soli campi di interesse. La tabella è stata poi collegata mediante una relazione al layer vettoriale delle sezioni di censimento tramite il codice identificativo della sezione.

Ai fini del successivo calcolo dell'esposizione sono stati presi in considerazione la popolazione totale e la popolazione di bambini (< 14 anni). Quest'ultima è stata derivata dalla somma dei 3 campi relativi alla popolazione di età < 5 anni, compresa tra 5 e 9 anni, e tra 10 e 14 anni. Per questi due campi (popolazione totale e bambini) sono state preparate le mappe necessarie, rasterizzando il dataset previo calcolo della densità di persone per ogni sezione, e ritornando successivamente dal parametro densità al numero di persone per cella.

A scopo dimostrativo, è stato calcolato sul GIS un parametro approssimato, comunque correlato all'esposizione. Esso è definito come il prodotto (per ogni cella) delle concentrazioni medie di polveri sottili totali ottenute dal modello nel primo strato atmosferico per il periodo 17 - 31 Dicembre 2007 (solo outdoor, solo sorgenti emissive considerate), moltiplicato per il numero di persone residenti (totali e bambini). Non sono stati presi in considerazione la mobilità della popolazione e il tasso di permanenza indoor/outdoor. I risultati sono stati salvati nel layer esposizione (Fig. 1).

Conclusioni

Il modello di dati creato rappresenta un riferimento per la contestualizzazione territoriale dei modelli di dispersione di inquinanti in atmosfera, che permette di definire i rapporti tra i campi di concentrazione ottenuti e gli elementi di vulnerabilità (sia ambientale che della popolazione) del territorio, ed evidenziare le aree di maggiore impatto.

