

Un sistema di web mapping multi-temporale per divulgare l'informazione su inquinamento atmosferico e rischio per la salute

Maria Paola Bogliolo, Giovanni Contino

INAIL, DC Ricerca, Dipartimento Innovazioni Tecnologiche e Sicurezza degli Impianti, Prodotti ed Insediamenti Antropici. Via Alessandria 220/E – 00198 Roma, m.bogliolo@inail.it

Riassunto

Viene presentato un sistema di *web-mapping* basato su GIS, volto a fornire a specialisti, decisori e popolazione un mezzo semplice, ma rigoroso dal punto di vista scientifico, per leggere i risultati di uno studio finalizzato alla quantificazione della concentrazione di Idrocarburi Policiclici Aromatici (IPA) legati al particolato fine (PM_{2.5}) disperso in atmosfera sulla città di Roma e alla stima dell'impatto sulla salute umana. I dati presentati nelle mappe web sono parte dei risultati ottenuti dal progetto EXPAAH (*Population Exposure to PAHs*), finanziato dal programma europeo LIFE+. Il progetto ha preso in esame l'intero percorso degli inquinanti, dall'emissione, alla dispersione in atmosfera, all'impatto sulla popolazione in termini di esposizione e di rischio per la salute. L'area di studio copre la città di Roma e le zone limitrofe per un'estensione di 60x60 km².

Il lavoro è stato concentrato verso lo sviluppo di un'interfaccia semplice attraverso cui accedere all'informazione in 3 dimensioni (2 spaziali più quella temporale) e a due livelli di complessità: le mappe prodotte infatti trasferiscono un contenuto scientifico quantitativo indirizzato alla comunità scientifica e ai decisori delle politiche ambientali e forniscono un mezzo di comunicazione immediato e intuitivo per gli altri *stakeholder*. Il sistema è realizzato con strumenti *open-source*.

Abstract

A GIS-based web-mapping system is presented, aimed at providing specialists, decision makers and population with a simple, while scientifically rigorous way to read results of a study aimed at quantifying concentration of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) linked to fine particles (PM_{2.5}) dispersed in the atmosphere of the city of Rome, and at estimating risk to human health. Data shown in the web maps are part of the results obtained by EXPAAH (*Population Exposure to PAHs*) project, funded by the LIFE+ European program. The project took into account the whole path of pollutants, including emission, atmospheric dispersion and impact on population in terms of exposure and health risk. The study area is 60x60km², covering the city of Rome and its surroundings. The activity have been focused on developing a simple interface to access information in 3 dimensions (2D spatial and 1D temporal) and at two complexity levels: maps convey quantitative scientific content to the scientific community and to environmental policy decision makers, while providing other stakeholders with a prompt and intuitive communication medium. The Web system is based on open-source tools.

Introduzione

L'individuazione di vie efficaci per comunicare il rischio per la salute umana, e le sue determinanti ambientali di origine antropica è un compito rilevante e urgente (WHO, 2013). In questo ambito è anche particolarmente importante che i risultati della ricerca trovino un percorso agevole e rapido verso i possibili *stakeholder*: tra questi vanno annoverati non solo gli organismi responsabili per l'implementazione delle politiche ambientali, ma anche la popolazione esposta, che ha il diritto di essere informata. La difficoltà di individuare approcci semplici per presentare l'informazione può

limitare l'efficacia della condivisione dei risultati ottenuti con i responsabili delle politiche, e quindi determinare un ritardo nell'adozione di misure adeguate. Inoltre, un accesso "facile" all'informazione, con modalità intuitive e interattive, può catturare l'interesse dell'utenza non specialistica e quindi promuovere quei comportamenti consapevoli che sono parte integrante dei provvedimenti di mitigazione dei rischi.

Una piattaforma geografica accessibile via *web* è un possibile modo per superare questi limiti. Le cartografie sono infatti un mezzo molto efficiente di trasferimento delle conoscenze, perchè forniscono una modalità visuale e quindi immediata di interpretare informazioni complesse e multi tematiche; la possibilità offerta dal *web* di interagire con le mappe cattura l'attenzione e guida nell'approfondimento.

In questo lavoro viene presentato un sistema di *web-mapping* basato su GIS, volto a fornire a specialisti, decisori e popolazione un mezzo semplice, ma rigoroso dal punto di vista scientifico, per leggere i risultati ottenuti dal Progetto EXPAH (*Population Exposure to PAHs*), finanziato dal programma europeo *LIFE+*, conclusosi a Giugno 2014 (<http://www.ispesl.it/expah/index.asp>). Obiettivo del progetto era l'identificazione e la quantificazione dell'esposizione delle fasce sensibili della popolazione (bambini e anziani) agli Idrocarburi Policiclici Aromatici (IPA) legati al particolato fine (PM2.5) disperso nell'atmosfera della città di Roma, e la stima dell'impatto sulla salute (Gariazzo et al., 2014). Il progetto prevedeva lo sviluppo di un Sistema Informativo Geografico (GIS) finalizzato a condividere i dati tra i partner del progetto e distribuire i risultati al pubblico.

Il progetto EXPAH ha preso in esame l'intero percorso degli inquinanti, dall'emissione, alla dispersione in atmosfera (mediante l'uso di modelli di simulazione), all'impatto sulla popolazione in termini di esposizione e di rischio conseguente: ne è derivato un insieme di dati eterogeneo e multidisciplinare che ha fornito l'occasione per sviluppare un prototipo di interfaccia per la diffusione di informazioni su inquinamento e salute ad un pubblico multilivello.

Il Sistema Informativo Geografico EXPAH

Il nucleo del sistema *web* creato è un GIS il cui *database* raccoglie e gestisce i dati multi temporali prodotti da EXPAH, mettendo in evidenza il punto di vista geospaziale delle informazioni che potevano trarre vantaggio, e comprende un insieme di dati ausiliari resi disponibili da fonti pubbliche in forma aperta, aventi lo scopo di fornire il contesto geografico e informazioni ausiliarie ai risultati del progetto.

I dati EXPAH inclusi nel GIS e resi disponibili nelle mappe *web* sono un sottoinsieme dei risultati della ricerca condotta dai *partner* del progetto. Questi sono un riassunti di seguito:

- Misure *outdoor* e *indoor* della concentrazione in atmosfera di IPA, PM2.5 e altri inquinanti effettuate in diversi siti, sia appartenenti alla rete regionale di monitoraggio (ARPA Lazio), sia campionati appositamente per il Progetto in diversi micro-ambienti (scuole, uffici, case private, automobili e autobus) (Cecinato et al., 2013; Gatto et al., 2013); valori di esposizione acquisiti da campionatori personali indossati da volontari (Gatto et al., 2013; Gherardi et al., 2013);
- Caratteristiche delle stazioni meteorologiche, sia fisse che installate appositamente per il progetto, i cui dati sono stati utilizzati per simulare la dispersione degli inquinanti e modellarne il campo di concentrazione;
- Dati medi di emissione di diversi inquinanti, derivati da inventari emissivi e da dati di traffico, per sorgenti lineari, puntuali e diffuse e dati di emissione media per l'anno 2009, ottenuti per integrazione dei diversi inventari, interpolati su una griglia regolare (Radice et al., 2012). Anche questi dati alimentano il modello di simulazione.
- Campi di concentrazione giornaliera di IPA totali, Benzo(a)pirene (B(a)P) e PM2.5 nei primi strati dell'atmosfera calcolati con un modello di simulazione ai nodi di una griglia orizzontale con risoluzione di 1km, su un dominio di 60x60 km² (Gariazzo et al., 2013, Silibello et al., 2014). I dati si riferiscono ad un anno di simulazioni (Giugno 2011 – Maggio 2012) e riguardano sia i valori giornalieri, sia le medie annuali e stagionali;

- Valori di esposizione individuale giornaliera e medie stagionali e annuali per IPA, B(a)P e PM2.5 per le due tipologie di popolazione oggetto della ricerca (bambini e anziani) e concentrazioni giornaliere di IPA totali in termini di tossicità equivalente (TTEC) (Gariazzo et al., 2014). I dati si riferiscono allo stesso periodo delle simulazioni e allo stesso grigliato.
- Scenari di esposizione ad IPA, B(a)P e PM2.5 per i bambini e anziani, previsti per l'anno 2020 sulla base di due diversi scenari emissivi (Silibello et al., 2014). I valori inseriti sono medie stagionali e annuali. Per ciascuno scenario è stata inserita anche la variazione percentuale delle stime rispetto ai valori della simulazione 2011/2012.

Per tutte le misure dirette è stato usato un modello di rappresentazione vettoriale, in cui la parte geometrica si riferisce al punto di misura (o percorso – per misure su bus e auto); le misure di esposizione personale sono state georiferite attraverso l'abitazione del volontario. Il modello raster è stato invece usato per rappresentare i parametri variabili con continuità attraverso il dominio di studio: campi di concentrazione, emissioni e esposizioni. Come sistema comune di riferimento per le coordinate è stato utilizzato l'UTM32N/WGS84.

La maggior parte dei dataset è stata sottoposta ad una fase di pre-processamento per renderli utilizzabili in un GIS e nelle applicazioni di *web-mapping*. Sono state georiferite tutte le misure sperimentali che non lo erano; ogni misura è stata riferita anche temporalmente attraverso uno o due (per gli intervalli di tempo) *timestamp*. Le schede descrittive dei siti di misura sono state trasformate in attributi di tipo alfanumerico, immagine e *web-link*. Tutti i dati modellistici erano contenuti in file netCDF (formato archivio multidimensionale e autodescrittivo utilizzato nelle scienze atmosferiche). Questo formato, pur supportato da molti software, non ha standard molto stringenti per la georeferenziazione, per cui la versione in uso è risultata illeggibile dal Server GIS. I dati sono stati quindi estratti e trasformati in set di immagini *Geotiff* per la pubblicazione *web*.

Architettura del GIS EXPAH

La progettazione delle mappe e parte della pre-elaborazione dei dati sono state realizzate su piattaforma Desktop ESRI (ArcMap 10.0); *software* UCAR/UNIDATA, Q-GIS e librerie GDAL sono stati impiegati per il processamento dei *dataset* netCDF. Il sistema *web* sviluppato è invece completamente *OpenSource*. Le tabelle alfanumeriche e i dati vettoriali sono stati immagazzinati in un database geografico PostgreSQL/PostGIS utilizzato come *data-store* per il *server* GIS. I *dataset* raster sono stati invece immagazzinati nel *file system* in formato GeoTiff.

Tutti i *dataset* sono stati pubblicati come servizi *web* secondo gli standard OGC (*Open Geospatial Consortium*) WMS 1.3.0, WFS 2.0.0, WCS 1.1.1, utilizzando GeoServer 2.4.0. Per ciascun servizio che pubblica dati multi temporali, sia da sorgenti vettoriali che *raster*, è stata abilitata l'interrogazione temporale (WMS-T). I dati e il *server* GIS si trovano su una macchina *server* virtuale con sistema operativo Microsoft.

Un insieme di applicazioni *web JavaScript* che utilizzano librerie *OpenLayers*, *jQuery* e *ExtJS/GeoExt* utilizza i *Web Map Service* esposti da GeoServer per creare un sistema di *web-mapping* che permette all'utente di navigare nei risultati del progetto. Le applicazioni *client* si trovano su una diverso *server* virtuale, sempre basato su Microsoft.

Una pagina web del sito dedicato al progetto EXPAH (<http://www.ispesl.it/expah/expahwebgis.asp>) dà accesso alle mappe attraverso un insieme di *link* che rimandano alle corrispondenti applicazioni *client*.

Progettazione delle mappe

In questa fase sono stati definiti i contenuti, l'organizzazione, le scale di visualizzazione, le strategie di *rendering*, la simbologia e le etichette, il layout dei *pop-up*, le modalità di interrogazione e le altre funzionalità delle mappe.

I nomi dei *layer*, le etichette e la simbologia sono stati poi trasposti in GeoServer creando appositi stili per i servizi WMS nel linguaggio SLD (*Styled Layer Descriptor*).

Il *dataset* del progetto EXPAH è costituito da dati che hanno in comune l'oggetto di studio (gli inquinanti analizzati: IPA e PM2.5) e il dominio di analisi. Le variabili in gioco sono numerose: la fonte del dato (misure dirette e modellistica, quest'ultima basata su dati attuali e su proiezioni future su diversi scenari), il parametro preso in considerazione (concentrazione *indoor*, concentrazione *outdoor*, concentrazione di esposizione, concentrazione di tossicità equivalente) e il punto (o l'intervallo) lungo la linea del tempo a cui il parametro si riferisce (data, intervallo di date, valore medio annuale o stagionale). Affinchè le mappe costituiscano un valore aggiunto rispetto ad altre modalità di trasferimento della conoscenza, e soprattutto consentano di derivare informazione dai dati, l'utente deve essere messo in grado di muoversi in maniera coerente attraverso tutte le variabili in gioco, così da metterle a confronto, senza che la complessità aumenti al punto da rendere difficilmente individuabile l'origine della mappa osservata. Un aspetto importante, per conseguire questo obiettivo, è l'utilizzo di una simbologia che sia coerente tra tutti i *dataset* che rappresentano lo stesso parametro e, contemporaneamente, nel tempo. In conformità a questo principio, un'unica scala di colori caratterizza ciascun inquinante, marcando la sua concentrazione sia nei siti di misura diretta sia nelle celle di simulazione, sia outdoor che indoor che in termini di esposizione, e lungo la variabile tempo. I valori estremi delle scale di colori, il numero di intervalli e i corrispondenti valori di concentrazione, sono stati stabiliti in modo da ottimizzare la percezione della variabilità spaziale nella maggior parte delle date, utilizzando le statistiche di tutti i *dataset*. Proprio la necessità di mantenere una buona percezione della variabilità spaziale ha reso necessario utilizzare scale differenti solo tra le mappe che esprimono valori giornalieri e quelle che rappresentano valori mediati (annualmente e stagionalmente).

Per mettere in evidenza piccole variazioni di concentrazione, e quindi apprezzare meglio la variabilità spaziale alle varie date, sono state utilizzate scale di colori a doppia tonalità (es. blu – bianco / bianco – rosso). In questo tipo di rappresentazione, il colore di passaggio tra tonalità ha un risalto particolare che può quindi essere percepito come livello di attenzione. Per tale motivo la posizione di tale livello è stata scelta con cura, assegnando ad esso valori di concentrazione corrispondenti a valori normati in Italia o a valori –soglia estratti dalla letteratura internazionale.

Come mappa di riferimento cartografico è stata utilizzata OpenStreetMap (OSM) (OpenStreetMap, 2014).

Le mappe web

Le mappe sono state progettate in modo da essere interattive, con funzioni di *zoom*, *pan*, attivazione/disattivazione di *layer*, interrogazione, e multi-temporali, ossia interrogabili nella dimensione tempo. L'approccio principale alla lettura delle mappe è molto semplice ed intuitivo, basato sulle scale di colore: non è richiesta una particolare conoscenza GIS, e non è necessario alcun SW o *plug-in* per consultare le mappe; ogni mappa è dotata di una breve guida all'uso. Le mappe danno però accesso anche ai dati quantitativi, attraverso etichette e varie possibilità di interrogazione, i cui risultati sono forniti in apposite caselle dei valori o in tabelle *pop-up*.

I dati e i risultati del progetto EXPAH vengono presentati in 5 mappe che, aperte in sequenza, guidano l'utente attraverso lo studio condotto, delineando le caratteristiche dell'inquinamento considerato, le sue relazioni con le sorgenti di emissione, il suo andamento temporale, le dipendenze stagionali, consentendo di esplorare il livello di accordo tra i modelli e le misure, e di valutare l'impatto sulla popolazione, la dipendenza spaziale e stagionale dell'esposizione e il suo livello in punti specifici. Le mappe sono accessibili dalla pagina del sito EXPAH dedicata al *WebGIS*: <http://www.ispesl.it/expah/expahwebgis.asp>.

La prima mappa illustra le Campagne sperimentali svolte (Fig. 1): contiene le informazioni relative alle misure di tipo chimico e meteorologico acquisite; inoltre delinea, anche in maniera quantitativa, il contesto emissivo dell'area attraverso le principali sorgenti emissive puntuali presenti e attraverso le mappe di emissione di diversi inquinanti, che sono state utilizzate, insieme ai dati meteorologici, nel modello di simulazione per ricostruire giornalmente il campo tridimensionale delle

concentrazioni nel dominio di studio. I siti di misura possono essere interrogati per ottenere informazioni descrittive, immagini e *link* a pagine *web*.

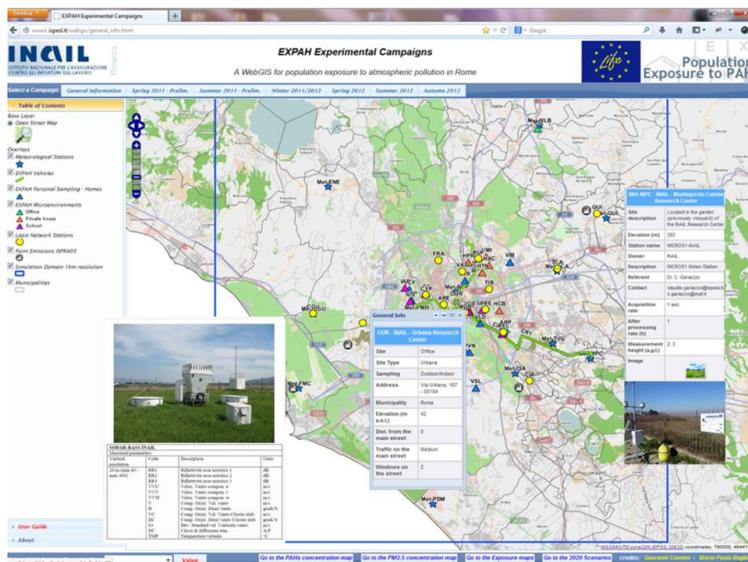


Figura 1 - Schermata della mappa web che descrive le campagne di misura del Progetto EXPAH.

La dimensione tempo in questa mappa è costituita dal succedersi delle campagne sperimentali; l'interrogazione lungo questa dimensione permette di visualizzare i soli siti che hanno acquistato dati nel corso della campagna selezionata: l'interrogazione dei siti in questo caso fornisce dettagli sugli inquinanti misurati e sull'effettiva durata della campagna per il sito in esame. Due mappe delle Concentrazioni illustrano la caratterizzazione dell'inquinamento ottenuta nel progetto (Fig. 2).

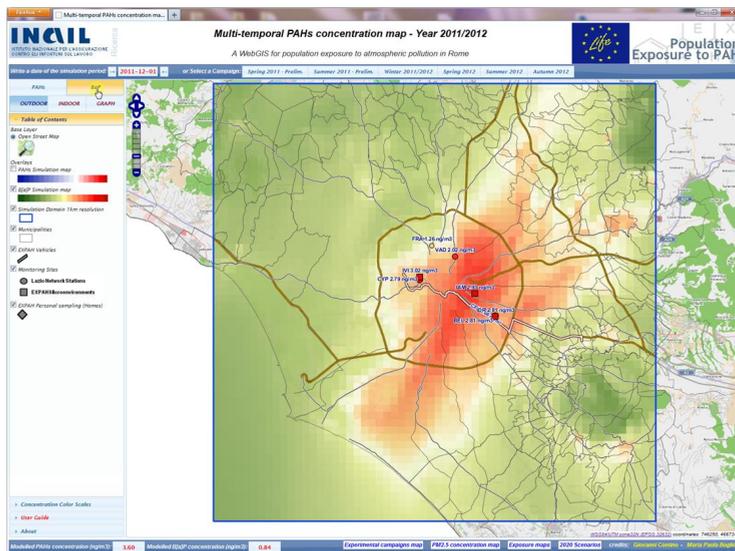


Figura 2 - Schermata della mappa web multitemporale delle concentrazioni di IPA in atmosfera. E' visualizzata la concentrazione outdoor di B(a)P del 1/12/2011 ricostruita da simulazione modellistica (dati raster), sovrapposta alle misure effettuate lo stesso giorno nei siti sperimentali.

Esse presentano la distribuzione spaziale e temporale degli IPA totali, B(a)P e PM2.5 del primo strato dell'atmosfera sulla città di Roma nel corso di un anno, tra Maggio 2011 e Giugno 2012 attraverso le mappe del campo di concentrazione ottenute dalla simulazione modellistica. Nella mappa è possibile analizzare la relazione tra le concentrazioni modellate e i valori misurati nei vari microambienti e nelle stazioni di monitoraggio, sia in modo qualitativo (attraverso il colore dei simboli con cui sono rappresentati i siti), sia in modo quantitativo, attraverso etichette e tabelle di *pop-up* per i siti di misura, e tramite una casella che al movimento del mouse aggiorna il valore della corrispondente cella di simulazione.

Il rapporto tra concentrazione indoor e concentrazione outdoor in diversi microambienti è un parametro importante per determinare l'esposizione durante la permanenza in luoghi chiusi (es. casa, ufficio, scuola) e durante gli spostamenti (auto, bus, metro) e quindi anche per il calcolo dell'esposizione giornaliera. La mappa comunica questa informazione mettendo a disposizione, oltre a simbologie separate per valori *indoor* e *outdoor*, una ulteriore simbologia a diagramma a barre che permette la valutazione visuale del rapporto tra valori *outdoor* e *indoor*.

La risoluzione temporale di tutti i dati è giornaliera: una serie di tasti-funzione fornisce due modalità di selezione temporale e quindi di navigazione della mappa lungo la linea del tempo: attraverso il calendario di ciascuna campagna di misura, e attraverso una casella in cui inserire una data e due frecce di scorrimento progressivo avanti e indietro lungo il calendario. Per ogni data, l'applicazione *web* invia una richiesta AJAX a GeoServer, che restituisce i dati per il corrispondente *step* temporale. I servizi WMS-T delle risorse vettoriali e *raster* vengono caricati contemporaneamente e viene prodotta una nuova mappa che illustra la situazione alla data selezionata.

Le ultime due mappe forniscono l'informazione sugli impatti che l'inquinamento delineato nelle mappe precedenti può avere sulla popolazione. La prima presenta (Fig. 3) i valori di esposizione individuale giornaliera agli IPA totali, al B(a)P e ai PM2.5 per i due soggetti su cui si è focalizzato lo studio: anziani e bambini.

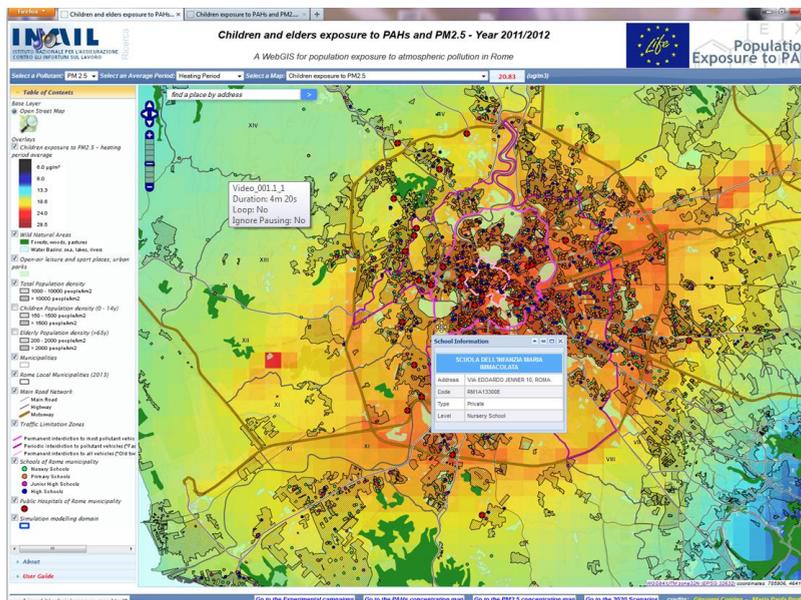


Figura 3 – Schermata della mappa web che presenta l'esposizione di anziani e bambini a IPA e PM2.5: è mostrato il livello medio di esposizione a PM2.5 per i bambini durante i mesi freddi. Alla mappa sono sovrapposti vari strati informativi ausiliari tra i quali la distribuzione della popolazione nella fascia di età considerata, scuole e ospedali, le zone di limitazione del traffico.

Si tratta dei livelli di esposizione derivanti dal campo di concentrazioni presentato nelle mappe prima descritte. I valori sono però espressi come medie annuali (Maggio 2011 –Giugno 2012) e come medie dei periodi di accensione (1 Novembre – 31 Marzo) e non-accensione (1 Aprile – 31 Ottobre) del riscaldamento domestico. La seconda mappa presenta, per gli stessi inquinanti, gli scenari di esposizione per i bambini, per l'anno 2020, secondo due ipotesi di scenario emissivo.

Anche per queste mappe sono forniti i valori medi annuali e stagionali. Per facilitare la comprensione dei cambiamenti previsti sui livelli di esposizione, sono state aggiunte in questa mappa le esposizioni “attuali” (2011/2012), e le mappe delle variazioni percentuali tra ciascuno degli scenari delineati e quest'ultima.

Nelle mappe di esposizione, la mappa di interesse è selezionabile in base all'inquinante e al periodo temporale, e rappresentata insieme a diverse mappe tematiche che oltre a fornire il contesto geografico (es. rete stradale) supportano l'utente nell'interpretazione del possibile impatto sulla cittadinanza: distribuzione delle aree residenziali secondo due diverse fasce di densità di popolazione (ottenute da elaborazione di dati demografici (ISTAT, 2013); scuole e ospedali pubblici del comune di Roma; aree naturali (EEA, 2007), parchi urbani e aree sportive (Camera di Commercio provincia di Roma, 1979); aree di restrizione del traffico (Agenzia Mobilità Roma, 2013).

Le mappe sono infine dotate di uno strumento di *geocoding* per consentire all'utente di conoscere il livello di esposizione in punti specifici.

Conclusioni

Il sistema *web GIS* sviluppato, pur applicato ad un caso di studio specifico, è stato concepito come prototipo di un possibile modello utile a divulgare i risultati di studi scientifici riguardanti il rischio acuto e cronico per la salute umana derivante dall'immissione di inquinanti in una matrice ambientale: l'insieme delle mappe fornisce infatti un mezzo accessibile ad un pubblico vasto ed eterogeneo per informare sui livelli dell'inquinamento dell'aria di una grande città in relazione al contesto geografico e all'uso del suolo, sull'esposizione della popolazione, la sua variabilità spaziale e temporale, e i livelli in punti specifici.

Ringraziamenti

Si ringrazia il programma di fondi europei LIFE+ (EC 614/2007) per il finanziamento del Progetto EXPAH (LIFE09 ENV/IT/082) nell'ambito del quale è stato realizzato il lavoro descritto in questo articolo.

Bibliografia

Agenzia della Mobilità del comune di Roma (2013), “Open Data”, <http://www.agenziamobilita.roma.it/en/open-data.html> (visitato Aprile 2014).

Camera di Commercio, Industria e Artigianato della provincia di Roma (1979), “*Carta Agroforestale della Provincia di Roma*”. Available at http://websit.provincia.roma.it/portale/default.asp?nPagina=home_page&accessibility=no (visitato Aprile 2014 – richiesta registrazione).

Cecinato A., Romagnoli P., Balducci C., Guerriero E., Perilli M., Vichi F., Imperiali A., Perrino C., Tofful L., Sargolini T., Catrambone M., Dalla Torre S., Rantica E., Gherardi M., Gatto M.P., Gordiani A., L'Episcopo N., Gariazzo C., Sacco F., Sozzi R., Troiano F., Barbini F., Gargaruti C., Bolignano A. (2013), “EXPAH Action 3.3: Indoor/Outdoor monitoring of PAHs, PM2.5 and its chemical components with ancillary measurements of gaseous toxicants in the frame of the EXPAH Project”. *EXPAH Technical Report*, http://www.ispessl.it/expah/documenti/Technical_Report_CNR_INAIL_2012h%20finale.pdf (visitato Giugno 2014)

E.E.A. (2007), “CLC2006 technical guidelines” *Technical Report n. 17/2007*, http://www.eea.europa.eu/publications/technical_report_2007_17 (visitato Aprile 2014).

Gariazzo C., Silibello C., Finardi S., Radice P., D'Allura A., Gherardi M., Cecinato A. (2013), “PAHs modeling over urban area of Rome: integration of models results with experimental data”,

Proc. 33rd Int. Tech. Meeting (ITM) on air pollution modeling and its application, Miami, Florida, U.S.A.

Gariazzo C., Lamberti M., Silibello C., Finardi S., Radice P., D'Allura A., Gherardi M., Cecinato A., Porta D., Sacco F., Hanninen O., Pelliccioni A. (2014), "An integrated BaP (PAHs) approach to estimate children and elderly exposure in the city of Rome, Italy", *Proc. 9th Int. Conference on air quality science and application*, Garmish-Partenkirchen, Germany.

Gatto M.P., Gariazzo C., Gordiani A., L'Episcopo N., Gherardi M. (2013), "Children and elders exposure assessment to particle-bound polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in the city of Rome, Italy", *Environ. Sci. Pollut. Res.* DOI: 10.1007/s11356-013-2442-y

Gatto M.P., Gordiani A., Romagnoli P., Balducci C., Perilli M., Cecinato A., Gherardi M. (2013), "Seasonal behavior of indoor and outdoor PAHs in different microenvironments of Rome, Italy", *Proc. 2013 European Aerosol Conference*, Prague, Czech Republic.

Gherardi M., Gatto M.P., Gariazzo C., Gordiani A. (2013), "Urban air pollution in Rome: children and elders exposure to PAHs in fine particulate matter (PM_{2.5})", *Toxicology Letters*, 221(S), p. S251.

ISTAT (2013), *15^o Censimento popolazione e abitazioni 2011*, <http://www.istat.it/it/censimento-popolazione/popolazione-2011> (visitato Aprile 2014).

OpenStreetMap (2014), www.openstreetmap.org e <http://download.gfoss.it/osm/> (visitati Giugno 2014).

Radice P., Smith P., Costa M.P., D'Allura A., Pozzi C.M., Nanni A., Finardi S. (2012), "EXPAH-Actions 4.3-4.4: Calculation and integration of traffic emissions with the updated Lazio region inventory. Spatial, temporal and chemical disaggregation of the emission inventory", *EXPAH Technical Report R2012.05*, http://www.ispessl.it/expah/documenti/R2012-05_ARIANET_EXPAH_A4.3-4_final.pdf (visitato Aprile 2014).

Silibello C., Bolignano A., Sozzi R., Gariazzo C. (2014), "Application of a chemical transport model and optimized data assimilation methods to improve air quality assessment", *Air Quality, Atmosphere & Health*, DOI: 10.1007/s11869-014-0235-1

Silibello C., D'Allura A., Finardi S., Radice P., Gariazzo C., Lamberti M. (2014), "Impact to PAHs and PM_{2.5} outdoor concentrations and population exposure in the policy and mitigation scenarios. Action 7.2". *EXPAH Technical Report*, http://www.ispessl.it/expah/documenti/Technical%20report%20on%20impact%20to%20PAHs%20and%20PM2.5%20outdoor%20concentrations%20and%20population%20exposure%20in%20the%20policy%20and%20mitigation%20scenarios_rel1%20.pdf (visitato Giugno 2014).

W.H.O. Regional Office for Europe (2013), "Health and environment: communicating the risks", F. Theakston Ed. http://www.euro.who.int/_data/assets/pdf_file/0011/233759/e96930.pdf?ua=1 (visitato Aprile 2014).