

Analisi morfologica tridimensionale di aree urbane a supporto dello sviluppo di modelli spaziali ambientali

Maria Ioannilli

Università di Roma Tor Vergata, Dipartimento Ingegneria Civile, Via Politecnico 1, 00133 Roma
0672597086, ioannill@ing.uniroma2.it

Abstract

Un'ottimale pianificazione urbana non può prescindere dalla minimizzazione dei livelli di inquinamento atmosferico o sonoro.

Gli edifici e l'uso del suolo in città hanno un notevole influsso su vento, temperatura, turbolenza prodotta, bilancio energetico di superficie. A causa però della dimensione e della complessità delle aree urbane, la maggior parte dei modelli attualmente in uso adotta una descrizione spaziale della struttura urbana tridimensionale molto semplificata. Dunque, per analizzare, prevedere e valutare le condizioni ambientali urbane, si rendono necessari nuovi modelli e strumenti specifici.

Durante gli ultimi anni In-TIME S.r.l. e l'Università degli Studi di Roma Tor Vergata hanno sperimentato la costruzione di numerosi nuovi parametri di morfometria urbana, utili per implementare nuovi modelli ambientali spazialmente dettagliati. La sperimentazione è stata condotta presso il Comune di Roma, in collaborazione con il Dipartimento Ambiente dello stesso Comune.

Le applicazioni sono state realizzate in ambiente GIS ESRI Arc-Info, utilizzando in modo combinato gli ambienti vettoriale e grid, con la produzione di alcuni script in grado di lavorare su database strutturati.

Tra i parametri di morfometria urbana costruiti, i più importanti sono:

- Parametri di tessitura urbana (Urban Canopy), necessari per implementare i modelli di previsione di qualità dell'aria alla mesoscala, che rappresentano il cambiamento di caratteristiche aerodinamiche del territorio urbano;
- Parametri di Canyon Stradale, necessari per l'implementazione dei modelli di dispersione dell'inquinamento atmosferico a scala urbana, che qualificano ogni piattaforma stradale secondo le relative condizioni di confine;
- Parametri di Confinamento Spaziale degli Edifici, necessari per la valutazione della dispersione sonora, basati sulla analisi topologica delle relazioni spaziali tra gli edifici analizzati in 3-D.

Utilizzando tali parametri è stato quindi possibile implementare modelli e dunque calcolare le concentrazioni di inquinanti o di pressione sonora equivalente in corrispondenza di recettori posti sulle facciate degli edifici ai diversi piani.

Abstract

Good urban planning cannot ignore the minimization of air pollution or noise levels.

Talking about the environmental quality, the presence of the urban agglomerations can significantly affect the characteristics of the atmosphere above. The buildings and the land use in the city have a relevant influence on wind and temperature fields, drag, turbulence production, surface energy budget, noise .

Because of the dimension and complexity of urban areas, is quite impossible to achieve information on environmental phenomenon by using traditional methods. Thus, to analyze, predict and evaluate

environmental urban conditions, or to simulate management process, we need to use specific models and tools. The most part of these models, however, use a spatial description of the 3-dimensional urban structure in a very simplified manner, due the complexity of the urban area.

During the last years In-TIME S.r.l. and the University Tor Vergata of Rome have experimented the building and the implementation of new spatially detailed environmental models. All the models have been developed on a ESRI Arc-Info GIS environment by using, in a combined way, the vector and grid environment, and by producing some scripts able to work on a very large database.

Among the urban built morphometry parameters, the most important are:

- *urban texture parameters (Urban Canopy) needed to implement the air quality forecast models at the mesoscale, which represent the change in aerodynamic characteristics of urban land;*
- *Canyon Road parameters, required for the implementation of the air pollution dispersion models on an urban scale, that qualify each platform according to road conditions on the border;*
- *the spatial confinement buildings parameters, necessary for the evaluation of sound dispersion, based on the topological analysis of the spatial relationships between buildings analyzed in 3-D.*

Using these parameters it was possible to implement models and calculate the concentrations of pollutants or equivalent sound pressure at the receptors on the facades of buildings on several floors.

Introduzione

In riferimento alla vivibilità del territorio nelle grandi aree urbane, si considera di fondamentale importanza lo studio della città rispetto ai vari fenomeni di inquinamento ambientale, come supporto strategico alle operazioni di planning. Ciò implica la necessità di disporre di indicatori descrittivi della struttura urbana, da utilizzarsi ai fini della valutazione ambientale.

L'analisi della struttura fisica urbana viene normalmente effettuata secondo due aspetti distinti:

- l'analisi quantitativa
- l'analisi morfologica

La analisi quantitativa è incentrata sulla misurazione delle dimensioni e della distribuzione spaziale di alcune grandezze di interesse ai fini delle decisioni di planning; tra queste grandezze:

- il tipo di utilizzazione dei suoli (misurata per superfici);
- la intensità di utilizzazione dei suoli (misurata per volumi).

Gli elementi informativi raccolti attraverso l'analisi quantitativa sono normalmente utilizzabili all'interno di modelli descrittivi della struttura fisica della città.

La analisi morfologica ha invece come oggetto le modalità di uso dello spazio e viene normalmente esperita attraverso la ricognizione della forma, individuale e/o complessiva, degli elementi di utilizzazione dello spazio fisico urbano, e delle relazioni topologiche che gli elementi urbani stabiliscono all'interno di uno spazio tridimensionale.

La analisi morfologica è quindi basata sulla individuazione delle geometrie (dimensioni e forme), delle distribuzioni e dei rapporti nello spazio degli elementi di occupazione del suolo urbano.

L'informazione ricavabile dalla analisi morfologica, pur esprimibile rigorosamente, è impiegata principalmente per una valutazione della qualità delle diverse parti della struttura urbana.

In particolare, quando l'analisi morfologica è diretta alla esplicitazione delle modalità del rapporto tra spazi edificati e spazi non edificati, oggetto di valutazione è la qualità ambientale della struttura urbana.

Uno specifico ambito di applicazione delle metriche urbane è rappresentato dall'utilizzazione di tali parametri al fine di suddividere un territorio oggetto di analisi in ambiti morfologici e funzionali omogenei dal punto di vista del loro comportamento rispetto a specifici fenomeni di rilevanza ambientale.

Assumendo infatti di non poter ricorrere a misurazioni puntuali estese a tutta l'area urbana in analisi, la tipizzazione dei diversi contesti urbani consente una più accurata valutazione delle scelte di pianificazione.

Alcuni indici morfologici di particolare rilievo sono quelli che tendono a fornire un quadro comparativo:

- dei rapporti topologici tra usi, calcolati in relazione alle condizioni di contiguità tra elementi areali di uso diverso.
- dei rapporti geometrici tra usi del suolo, calcolati sulla base della distanza (planimetrica e tridimensionale) reciproca tra elementi di uso uguale o diverso.

Il ruolo delle metriche urbane all'interno dei processi di gestione delle problematiche legate all'ambiente assume particolare rilevanza in quanto è cognizione comune di come tali problematiche siano in grande misura (anche se non esclusivamente) legate proprio alla struttura fisica delle città.

Gli edifici e l'uso del suolo in città hanno infatti un notevole influsso sulle principali grandezze in gioco: vento, temperatura, turbolenza prodotta, bilancio energetico di superficie, diffusione del suono. A causa però della dimensione e della complessità delle aree urbane, la maggior parte dei modelli per lo studio delle condizioni ambientali dei centri abitati attualmente in uso, adotta una descrizione spaziale della struttura urbana tridimensionale molto semplificata. L'applicazione dei modelli correntemente in uso fornisce, in generale, delle qualificazioni molto approssimate dei contesti urbani non permettendo di tener conto, in maniera analitica, le diverse configurazioni che localmente possono darsi.

Dunque, per analizzare, prevedere e valutare le condizioni ambientali urbane, si rendono necessari nuovi modelli e strumenti specifici.

Per implementare tali modelli, sono però richiesti parametri puntuali che descrivano, in maniera estesa ed omogenea, i caratteri strutturali degli aggregati urbani nelle tre dimensioni, al fine di rendere analiticamente valutabile l'influenza delle strutture fisiche (dimensione, ubicazione e la posizione relativa di edifici) sui parametri coinvolti nei processi caratterizzanti la qualità ambientale della città.

Gli ambiti di applicazione dei parametri derivati dall'analisi morfometrica sono evidentemente molto vasti. Mappare le relazioni spaziali che si istituiscono tra le grandezze fisiche urbane (edificazioni, viabilità, spazi aperti etc) e tra queste ed i potenziali corpi recettori, ad esempio, consente di rispondere a tante diverse esigenze di pianificazione, prevenzione e risanamento e può fornire un supporto di base ad un'analisi comprensiva di specifici fenomeni, come l'inquinamento atmosferico e quello sonoro.

Nelle applicazioni proposte, proprio questi fenomeni, in ipotesi principalmente generati dal traffico urbano, vengono messi al centro dell'attenzione.

L'ambito spaziale a cui le applicazioni si riferiscono è quello del Comune di Roma, con particolare riferimento all'area del IX Municipio. Tale area è infatti paradigmatica delle diverse condizioni strutturali urbane, morfologicamente in costante modificazione, il IX Municipio è in generale molto articolato nelle sue caratteristiche urbane, sia in riferimento alla densità ed alla morfologia abitativa, sia alla sua dinamicità quotidiana, estremamente variabile nel tempo e nello spazio.

Spazio che, peraltro, rappresenta un effettivo problema per la conduzione di studi maggiormente analitici, data la sua estensione.

Le applicazioni sviluppate vengono sinteticamente illustrate nel seguito; esse hanno portato alla costruzione di numerosi parametri di morfometria urbana, utili per implementare nuovi modelli ambientali spazialmente dettagliati. Nello specifico si tratta di parametri necessari per l'implementazione dei modelli di dispersione dell'inquinamento atmosferico a scala urbana, di modelli di previsione di qualità dell'aria alla mesoscala e per la valutazione dell'inquinamento sonoro.

Le applicazioni sono state realizzate attraverso tecnologia GIS utilizzando in modo combinato gli ambienti vettoriale e grid, con la produzione di alcuni script in grado di lavorare su database strutturati.

Modellazione ed analisi tridimensionale di contesti urbani per l'implementazione di modelli di dispersione dell'inquinamento atmosferico a scala urbana

La prima applicazione è focalizzata sulla costruzione di un nuovo parametro morfologico che considera i rapporti topologici tra i vari elementi del tessuto urbano in grado di influenzare considerevolmente il processo di dispersione degli inquinanti.

Lo spunto è stato fornito da studi fatti sull'effetto delle diverse configurazioni geometriche e topologiche degli edifici, posti ai due lati di una strada, sul fenomeno di dispersione degli inquinanti. In questi studi vengono analizzati i campi di flusso e di velocità, nella vicinanza delle sedi stradali, attraverso un modello bidimensionale di simulazione del vento ed un modello lagrangiano di dispersione, che valuta l'andamento nel tempo delle particelle rilasciate dalla sorgente. Emerge che, al variare della disposizione degli edifici con diversa altezza ai margini della strada, cambiano i regimi di flusso all'interno delle *street canopies*; ciò dimostra che il regime di flusso non può essere ricondotto ad uno schema fisso, come avviene nella maggior parte dei modelli di dispersione, ma dipende fortemente dalla configurazione degli edifici ai lati della strada e di quelli circostanti.

Proprio in base a tali considerazioni, l'applicazione sviluppata è stata finalizzata alla costruzione di un nuovo parametro morfologico che consenta di classificare le strade in funzione del grado e del tipo di confinamento cui sono soggette, analizzando la morfologia tridimensionale dei fronti stradali e mettendola in relazione con la larghezza della strada, identificando e classificando ogni condizione di *canyon* presente nell'area urbana analizzata. Il nuovo indice, infatti, permette di combinare le informazioni sulle altezze dei palazzi posti ai due lati della strada con quelle sulla larghezza della sede stradale, fornendo così una soluzione alternativa al problema della valutazione della "urban roughness".

Questo nuovo parametro trae origine da un'analisi a grande risoluzione delle caratteristiche urbane e permette di rilevare le condizioni critiche e le eventuali singolarità che, con un unico modello non sarebbero state valutate.

È stata sviluppata una procedura automatica di calcolo che, in base alle caratteristiche degli edifici prospicienti, è in grado di qualificare ogni sede stradale e, per verificarne l'effettiva applicabilità, tale procedura è stata implementata sul grafo stradale del Comune di Roma.

Nel modello tridimensionale per la qualifica dei fronti stradali, sviluppato nel presente studio, è stata utilizzata, come dato di input, la cartografia numerica vettoriale del Comune di Roma, codificata in scala 1:2000.

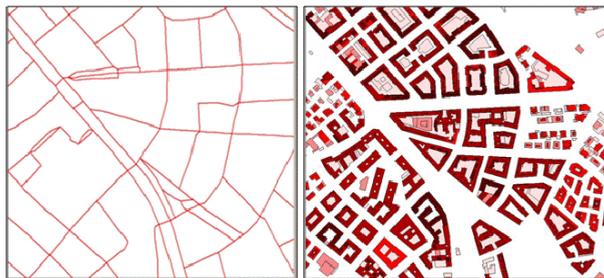


Figura 1 – Dati di input.

Sono state svolte delle elaborazioni su dati sia raster, con risoluzione di 1 m, sia vettoriali, che hanno consentito di costruire e qualificare i fronti stradali in base alle caratteristiche del contesto stradale.



Figura 2 – Fronti stradali qualificati.

I dati ottenuti sono stati successivamente ricondotti ad una scala più piccola attraverso l'impiego di una griglia con un passo di 300 m. Gli archi stradali, infatti, in funzione della larghezza della strada e dell'altezza dei palazzi che vi si affacciano su entrambi i lati, sono stati classificati in nove categorie, ad ognuna delle quali è stato attribuito un peso.

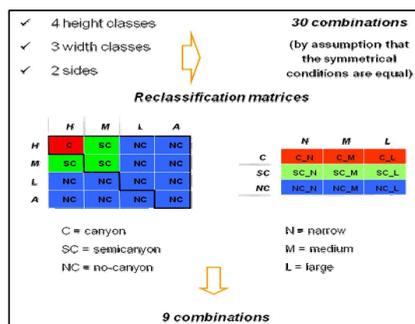


Figura 3 – Classificazione.

L'indice sintetico è stato calcolato per ogni cella della griglia come media dei pesi attribuiti alle classi, ponderati in base alla presenza di ciascuna classe nella cella.

Il parametro così valutato consente di “descrivere” la cosiddetta *urban roughness*, uno degli aspetti più importanti dell’impatto della città sull’ambiente, in grado di influenzare considerevolmente i campi di vento e la turbolenza atmosferica.

L'indice sintetico calcolato in questo lavoro consente, quindi, di caratterizzare i diversi rapporti tra “pieno” e “vuoto” in ambito urbano, che sono in grado di influenzare localmente i campi di vento, evidenziando le situazioni più critiche o le eventuali singolarità e fornendo, così, delle indicazioni di grande interesse per studiare i fenomeni di inquinamento in città. Questo indice permette di “riparametrizzare” la velocità del vento, assunta costante nei modelli, tenendo conto delle caratteristiche locali del tessuto urbano.

La procedura automatica, sperimentata in questo lavoro per tre municipi del Comune di Roma, ha un campo di applicazione molto vasto perché può essere estesa a qualsiasi realtà urbana, consentendo di gestire ogni singolarità morfologica. Permette, infatti, di qualificare ogni arco del grafo di input in funzione delle caratteristiche dimensionali, geometriche e topologiche della strada e del suo contesto.



Figura 4 – Indice sintetico spazializzato.

I modelli meteorologici alla mesoscala e i parametri di Urban Canopy

I modelli meteorologici alla mesoscala sono quelli più diffusi per studiare i fenomeni di inquinamento in ambito urbano. Essi, tuttavia, non hanno una risoluzione sufficientemente grande per simulare direttamente la fluidodinamica e termodinamica in prossimità di edifici e altre strutture urbane che possono influire sui meccanismi di dispersione degli inquinanti e modificare le caratteristiche atmosferiche. Al fine di migliorare la qualità e la consistenza dei modelli alla mesoscala e valutare l'impatto del tessuto urbano (*urban canopy*), viene ormai largamente utilizzata la *Urban Canopy Parameterization*, che consente di descrivere le caratteristiche geometriche e morfologiche della città attraverso il calcolo di alcuni parametri, ottenuti dall'analisi di databases ad alta risoluzione.

L'applicazione sviluppata ha avuto come obiettivo quello di creare una procedura in grado di calcolare analiticamente alcuni dei parametri aerodinamici e geometrici più rappresentativi quali: la roughness length (z_0) e la *in plane zero displacement height* ($z_{d,pl}$), che esprimono il mutamento delle caratteristiche aerodinamiche del territorio causate dalla città, e la densità di area frontale e planare. Per fare ciò è stata implementata una procedura automatica di calcolo con l'ausilio di software GIS, utilizzando, come dato di input, la cartografia numerica vettoriale del Comune di Roma, codificata in scala 1:2000. Lo studio, condotto sul Municipio IX della Capitale, per un'area complessiva di 8.1 km², ha analizzato circa 10453 edifici. Tali dati contengono una serie di informazioni relative all'aspetto geometrico e alla collocazione geografica.

Il calcolo di tali grandezze tuttavia, non è semplice, anche se alcuni metodi teorici sono comunemente assunti come riferimento (Raupach, Bottema, Bottema-Mestayer).

Questi metodi, però, non sono mai stati in precedenza applicati analiticamente ad un'area urbana, proprio a causa della estrema variabilità tanto della struttura fisica tridimensionale degli edifici che, e soprattutto, delle relazioni topologiche che essi stabiliscono nello spazio tridimensionale.

La bontà dei diversi metodi è stata testata solo mediante simulazioni effettuate nelle gallerie del vento.

L'applicazione numerica dei metodi proposti è invece sempre avvenuta secondo modalità semplificate all'interno delle quali l'estrema variabilità della struttura urbana è stata ricondotta a classi tipologiche alle quali sono stati associati i parametri caratteristici della morfologia tridimensionale.

Nella applicazione sviluppata da In-Time, al contrario, partendo da un database 3-D ad alta risoluzione dell'area urbana di Roma, sono stati dedotti i parametri più importanti attraverso

valutazioni geometriche e topologiche e per la prima volta i modelli precedenti sono stati testati in un contesto urbano reale e messi a confronto.

La procedura sviluppata si basa sulla valutazione analitica della distanza reciproca tra gli edifici e tali distanze influenzano i risultati, a causa del peso che hanno nella formulazione del modello. L'approccio analitico adottato permette di applicare la procedura realizzata a qualsiasi contesto urbano, adattabile quindi ai diversi tipi di distribuzioni e forme degli edifici, e in grado di valutare i parametri di interesse per una qualunque direzione del vento scelta.

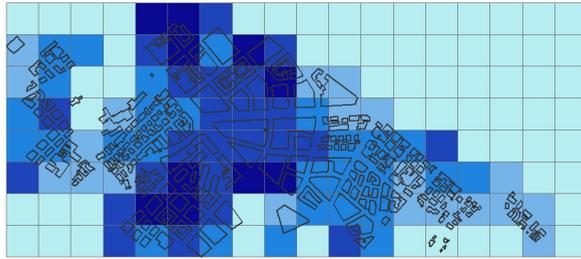


Figura 5 – Displacement height z_d .



Figura 6 – Densità di area planare a 20 m di altezza.

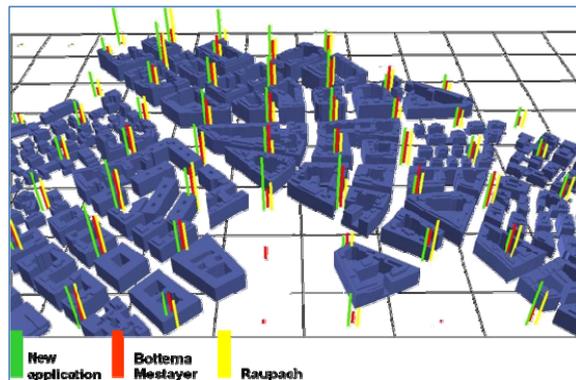


Figura 7 – Confronto tra i metodi di calcolo della z_d – visualizzazione 3D.

Sviluppo di modelli di impatto sulla popolazione di rumore da traffico veicolare

Sebbene sia ormai diffusa la consapevolezza di dover adottare opportune misure per affrontare le molteplici problematiche ambientali generate da modelli di sviluppo non sostenibili, in generale le priorità di intervento sono state nel tempo dettate dall'urgenza piuttosto che sulla base di una strategia di azioni programmate. L'inquinamento acustico è stato così trascurato nel tempo, in quanto giudicato meno rilevante d'altre problematiche.

Benché meno risonante rispetto ad altre forme di degrado, l'inquinamento acustico è oggi ritenuto responsabile di un considerevole abbassamento della qualità della vita dell'uomo.

I primi interventi contro l'inquinamento acustico erano volti a sanare le situazioni più gravi, portando ad una diminuzione dei livelli di rumore più alti nelle zone a rischio. Contestualmente sono però aumentate le zone con livelli definiti d'attenzione, che ha comportato un aumento della popolazione esposta. Ciò è dovuto al fatto che fra le cause più comuni d'inquinamento acustico in ambito urbano, il traffico veicolare occupa un ruolo di primo piano e la determinazione del suo peso nell'ambiente urbano è oggetto di numerosi studi e modelli.

Delineando un nuovo approccio nella realizzazione delle mappe acustiche urbane, si è pensato alla realizzazione di un sistema che riesca a soddisfare i requisiti introdotti dalle nuove normative, in modo da creare uno strumento di supporto nelle operazioni di pianificazione.

L'idea su cui si fonda il progetto è quella di associare ad un modello di emissione un modello di impatto. Si assume che, per la misura di emissione e di livello sonoro si possano utilizzare specifici modelli, ormai ampiamente diffusi a livello nazionale ed internazionale.

Il modello di impatto, elaborato su base geografica, prevede l'uso di fonti di dati vettoriali tridimensionali, quali sono le odierne carte tecniche numeriche; integrando dati anagrafici relativi alla distribuzione della popolazione residente e delle attività commerciali è possibile realizzare un sistema che permetta una valutazione dell'impatto sulla popolazione, analizzata nella sua collocazione spaziale tridimensionale, dell'inquinamento acustico.

Per relazionare l'output del modello di emissione con i ricettori presenti nel contesto urbano (popolazione) dobbiamo connettere la localizzazione dei ricettori assunti dal modello di emissione con la localizzazione della popolazione. I ricettori del modello di emissione sono localizzati puntualmente in uno spazio tridimensionale, mentre la popolazione è distribuita all'interno degli edifici a differenti piani. L'idea è quella di costruire dei parametri di confinamento spaziale individuati da elementi geografici, derivati dalla descrizione degli edifici presenti nella cartografia, che possano essere relazionati tanto ai ricettori del modello di emissione che agli edifici in quanto sedi di popolazione. Per fare questo è necessario stabilire una relazione spaziale tra la popolazione e la concentrazione di rumore misurata dal modello (attraverso la localizzazione dei ricettori). Si identificano queste entità in una collezione di regioni, localizzate spazialmente in uno spazio tridimensionale, che rappresentano le facciate degli edifici distribuite ai diversi piani degli edifici stessi. I centroidi di tali elementi rappresentano la localizzazione tridimensionale dei ricettori utilizzati dal modello di diffusione per calcolare l'intensità sonora.

Il dato di input presente nella cartografia non è immediatamente utilizzabile e per sviluppare il modello è stato necessario, implementare delle specifiche procedure di elaborazione che permettessero di identificare le facciate degli edifici.

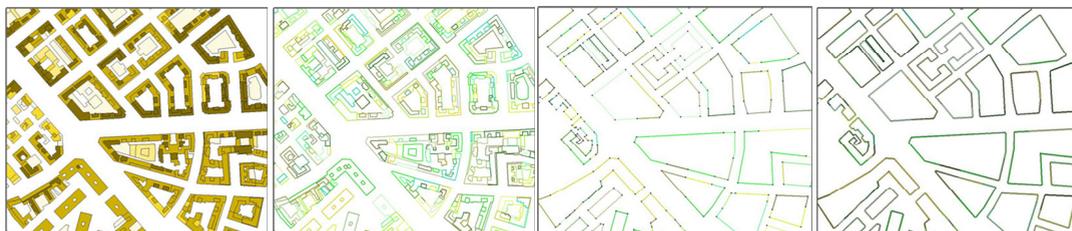


Figura 8 – Elaborazione dati di input.

Sulla base di questi elementi e' quindi possibile costruire le unità di facciata per ciascun lato esposto dell'edificio. Ogni unità di facciata e' codificata con il codice toponomastico dell'edificio con il numero di piano a cui l'unità e' collocata.

Per ciascuna delle unità di facciata e' costruito il centroide. L'insieme dei centroidi sarà il sistema dei ricettori utilizzato dal modello di emissione. In questo modo ricettori e facciate risultano correlati. Questo permette di restituire sugli elementi di facciata i valori di concentrazione misurati.

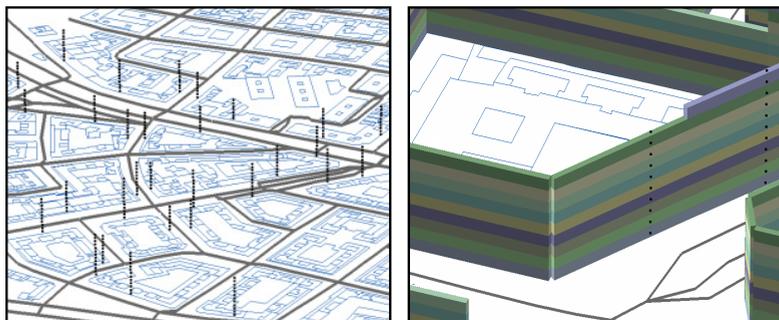


Figura 9 – Costruzione e localizzazione tridimensionale dei ricettori.

Il metodo, le tecniche e le tecnologie adottate nella sperimentazione si possono sintetizzare nei seguenti punti:

- sperimentazione di nuove forme di elaborazione delle basi cartografiche numeriche tridimensionali, ormai molto diffuse a livello locale, derivandone elementi informativi in prospettiva utilizzabili su più versanti della gestione degli oggetti urbani;
- utilizzo (e quindi valorizzazione) di banche dati esistenti, associabili alle basi di dati precedenti (flussi di traffico, geometria urbana, dati sulla popolazione), per derivarne nuovi indicatori ambientali spazialmente riferiti;

Dal punto di vista dei risultati, il prototipo del sistema di impatto implementato in questo lavoro permette:

- la produzione di informazione da erogare a soggetti a diverso titolo coinvolti nella gestione nell'inquinamento acustico;
- la gestione dei diversi aspetti dell'inquinamento acustico (catasto delle sorgenti sonore, stima dell'esposizione sonora della popolazione, esposti a seguito del disturbo indotto, etc.);
- la configurazione di diversi scenari di risanamento e, quindi, il supporto al processo decisionale di scelta degli interventi da attuare.

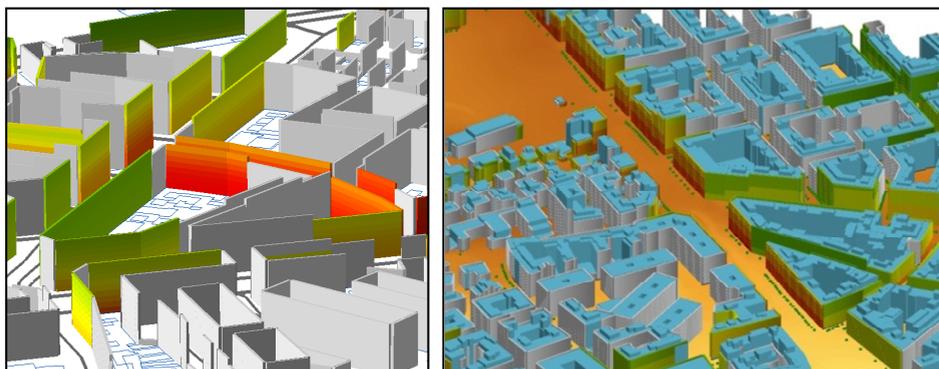


Figura 10 – Risultati finali.

Conclusioni

L'analisi morfologica tridimensionale delle strutture urbane rappresenta attualmente una frontiera lungo la quale si misura la possibilità di derivare, dalle sempre più disponibili fonti informative geografiche ed in generale dalla geoinformazione, un quadro analitico di conoscenze dei contesti territoriali urbani in grado di sostenere processi di pianificazione sempre più coerenti e sostenibili.

La pratica corrente dell'analisi territoriale spesso rinuncia a confrontarsi con tale sfida, accettando di operare all'interno di semplificazioni che nella maggior parte dei casi forniscono però livelli di generalizzazione che rendono scarsamente utilizzabili i risultati dell'analisi stessa a fini di supporto ai processi di pianificazione.

Si pensi, ad esempio, e proprio in riferimento all'ultima delle applicazioni sviluppate, a quelle che sono le correnti modalità di redazione dei piani di disinquinamento acustico, basati principalmente sulla redazione di carte tematiche in cui vengono rappresentate le isoacustiche, linee lungo le quali il livello sonoro è uguale, all'interno delle quali sono racchiuse tutte le zone con un valore di inquinamento acustico compreso in un certo range. Con tali rappresentazioni generalizzate del fenomeno, in quale modo è possibile, ad esempio, produrre una prioritizzazione degli interventi di disinquinamento? È infatti del tutto evidente che, anche a parità di "classe" singoli edifici possano risultare molto più esposti di altri.

La possibilità di effettuare misurazioni in maniera estesa, sincronica ed omogenea e soprattutto spazialmente puntuale è certamente la risposta più idonea.

Tradizionalmente si è affermata l'impossibilità di realizzare tali misurazioni, proprio a causa della eccessiva complessità (ed estensione) delle aree analizzate.

Le applicazioni sviluppate da In-Time con il concorso dell'Università di Tor Vergata forniscono la misura di come, al contrario, esse siano effettuabili a partire dalle comuni banche dati tridimensionali di cui gli enti territoriali sono sempre più forniti.

Bibliografia

- Ashie Y., Than Ca V., Asaeda T., (1999), "*Building canopy model for the analysis of urban climate*", J. Wind Eng. an Ind. Aerod. 81, 237 – 248
- Bottema M., (1996), "*Roughness parameters over regular rough surfaces: experimental requirements and model validation*", journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics 64 (1996) 249-265, Elsevier Science Ltd
- Bottema M., (1997), "Urban roughness modelling in relation to pollutant dispersion", Atmos. Environ. 31, 18, 3059-3075
- Bottema M., Mestayer P., (1998), "Urban roughness mapping – validation techniques and some first results", journal of Wind Engineering and
- Brown M.J., (2000), "*Urban Parameterizations for mesoscale meteorological models*", Mesoscale Atmospheric Dispersion. Ed., Z. Boybeyi., pp. 193-255
- Burian S.J., Brown M.J., Linger S.P., (2002), "*Morphological analysis using 3D building databases: Los Angeles, California*", LA-UR-02-0781. Los Alamos National Laboratory, 66 pp.
- Burian S.J., Brown M. J., Ching S., Cheuk M.L., Yuan M., Han W., McKinnon A.T., (2004a), "*Urban Morphological Analysis for Mesoscale Meteorological and Dispersion Modeling Applications: Current Issues*", Fifth Conference on Urban Environment, Vancouver, BC
- Burian S.J., Stetson S.W., Han W., Ching J., Byun D., (2004b), "*High-Resolution Dataset of Urban Canopy Parameters for Houston, Texas*", Fifth Conference on Urban Environment, Vancouver, BC
- Directive 2002/49/EC of the European Parliament, Assessment and management of environmental noise
- Gerdes F., Olivari D., (1999), "*Analysis of pollutant dispersion in an urban street canyon*", J. Wind Eng. an Ind. Aerod. 82, 105 – 124
- Grimmond C., Oke T., (1999), "*Aerodynamic properties of urban areas derived from analysis of surface form*", J. Appl. Meteorol. 38, 1261-1292

- Grossman Clarke S., Zehnder J.A., Stefanov W.L., Liu Y., Zoldak M.A., (2005) “*Urban modifications in a mesoscale meteorological model and the effects on near surface variables in an arid metropolitan region*”
- MacDonald R. W., Griffiths R.F., Hall D.J., (1998) “*An improved method for estimation of surface roughness of obstacle arrays*”, Atmos. Environ. 32, 1857-1864
- OECD, 1993. OECD core set of indicators for environmental performance reviews. OECD Environment Directorate Monographs no. 83
- Raupach M. R., (1994) “Simplified expression for vegetation roughness length and zero-plane displacement height as function of canopy height and area index” , Boundary-Layer Meteorology 71, 211-216
- Ratti C., Di Sabatino S., Britter R., Brown M.J., Caton F., (2001) “*Analysis of 3D urban databases with respect to pollution dispersion for a number of European and American cities*”, Preprints, Third Int. Conf. On Urban Air Quality, March 2001, Loutraki, Greece
- Ratti C., Di Sabatino S., Britter R., Brown M.J., Caton F., Burian S. J. , (2002) “*Analysis of 3D urban databases with respect to pollution dispersion for a number of European and American cities*”, Water, Air, and Soil Pollution: Focus 2: 459-469
- Xia J, Leung D.Y.C., (2001), "*Pollutant Dispersion in Urban Street Canopies*, ", in Atmospheric Environment vol. 35, pp 2033 - 2043, Elsevier Science Ltd