

# UN MODELLO DI DATI GEOGRAFICI 2D/3D PER LA PIANIFICAZIONE URBANA E TERRITORIALE

## A 2D/3D GEOGRAPHIC DATA MODEL FOR URBAN AND REGIONAL PLANNING

A. Scianna, M. La Guardia, M. L. Scaduto

GISLab\_ICAR-CNR (Istituto di Calcolo e Reti ad Alte prestazioni – Consiglio Nazionale delle Ricerche), Viale delle Scienze,  
Edificio 11, 90128 Palermo, Italy  
[andrea.scianna@cnr.it](mailto:andrea.scianna@cnr.it); [marcellolaguardia87@libero.it](mailto:marcellolaguardia87@libero.it); [l.scaduto@libero.it](mailto:l.scaduto@libero.it)

**PAROLE CHIAVE:** Cartografia digitale 3D, pianificazione territoriale, geomatica, GIS, analisi territoriali e urbane

**KEY WORDS:** 3D digital map, urban and regional planning, geomatics, GIS, urban and territorial analysis

### RIASSUNTO

Il presente contributo è finalizzato a delineare gli elementi fondamentali per la strutturazione di un modello di dati geografici 2D/3D di ausilio alle attività di pianificazione urbana e territoriale. Tradizionalmente, la cartografia tecnica bidimensionale ha rappresentato la base per la redazione delle carte tematiche, analitiche e progettuali, necessarie per la redazione di piani urbanistico-territoriali. Alla luce dei più recenti sviluppi delle tecnologie informatiche, dell'ingegneria geomatica e dei GIS, la pianificazione territoriale si mostra sempre più interessata all'analisi dello spazio urbano e del territorio nelle tre dimensioni. La modellazione 3D consente infatti una rappresentazione più dettagliata dell'ambiente urbano e del territorio, estremamente utile per il monitoraggio, la valutazione e la simulazione di scenari predittivi necessari alle attività di pianificazione territoriale. Per potere essere utilizzata al meglio nella pianificazione territoriale, la cartografia numerica attuale necessita di essere ulteriormente arricchita sotto l'aspetto geometrico e soprattutto semantico. L'integrazione di componenti grafiche e semantiche più avanzate rappresenta infatti la condizione necessaria per descrivere più compiutamente il territorio e per analizzarne con maggiore dettaglio le trasformazioni. Alla luce di tali premesse, si illustra una parte della sperimentazione per l'implementazione di un modello di banca dati geografica specificamente orientata alla pianificazione urbanistica, che prende le basi da un modello dati geografici 3D sviluppato negli anni scorsi presso il GISLab. Nello specifico, il presente lavoro illustra alcune fra le componenti descrittive geometriche e semantiche di tale modello dati, e le possibilità della sua costruzione a partire da un modello 2D o 2,5D. Il modello definito può essere trasferito e applicato a qualsiasi contesto di pianificazione urbanistica e territoriale, anche nella prospettiva di contribuire all'attuale dibattito internazionale.

### ABSTRACT

This paper is aimed to set out the basic elements for structuring a 2D/3D geographic data model to assist the activities of urban and regional planning. Traditionally, two-dimensional technical maps have represented the basis for the preparation of thematic, analytical and planning maps, necessary for the preparation of urban and regional plans. In the light of the latest developments in information technology, engineering, geomatics and GIS, spatial planning is becoming increasingly interested to the analysis of urban space and territory in all three dimensions. 3D modeling makes possible a more detailed representation of the urban environment and land, extremely useful for monitoring, evaluation and simulation of predictive scenarios that are necessary for territorial planning activities. In order to becoming more useful in the planning activities, the current vector cartography needs to be further enhanced under the geometric aspect and especially under the semantic one. The integration of more advanced graphic and semantic components is, in fact, the necessary condition to better describe the territory and to deeply analyze territorial transformations. On the basis of the presented background, this work shows a part of the activities carried out for the implementation of a geospatial database model specifically oriented to urban planning, which takes the stage from a 3D geographic data model developed in recent years at the GISLab. Some geometric and semantic components of the data model are described together with the possibility of his construction starting from a 2D or 2,5D model. The defined model can be transferred and applied to any context of urban and regional planning, as well as to contribute to the current international debate.

### 1. INTRODUZIONE

La cartografia tecnica costituisce da sempre il punto di partenza per la realizzazione delle carte tematiche, di base o di sintesi, a loro volta strumenti fondamentali per le attività di gestione e pianificazione del territorio. Le carte tematiche infatti rappresentano gli elementi e le informazioni di dettaglio sulle caratteristiche del territorio e, in chiave diacronica, possono descrivere i processi di trasformazione intervenuti.

Con l'introduzione delle tecnologie GIS dagli anni '90 del secolo scorso, i processi di pianificazione territoriale si sono

arricchiti di strumenti ancor più efficaci in grado di gestire la rappresentazione di modelli dinamici del territorio che consentono di analizzare in tempo reale le relazioni spaziali tra differenti livelli cartografici tematici. In tal senso, le applicazioni GIS consentono anzitutto di archiviare e organizzare dati provenienti da fonti informative e tecniche di acquisizione diverse, e quindi di effettuare interrogazioni sia spaziali sia basate su attributi descrittivi, al fine di porre in evidenza e comprendere più compiutamente le interconnessioni tra le componenti territoriali, le attività antropiche e gli indirizzi

di sviluppo predittivi, caratteristici della pianificazione territoriale.

Dal momento che nell'ambito della pianificazione urbana e territoriale si sono evolute le prospettive e il punto di vista sulla complessità del contesto territoriale e che quest'ultima è necessario che sia rappresentata anche in quelle dimensioni che precedentemente non apparivano fondamentali (prospettiva paesaggistica, coni prospettici, servizi eco-sistemic, ecc.), la modellazione dello spazio urbano e territoriale nella cartografia digitale attuale richiede evidentemente di ricorrere all'integrazione della terza dimensione e ad una semantica più avanzata (diacronia, multi-funzionalità, conflittualità tra funzioni, valori culturali, ambientali, socio-economici ecc.) (Köninger, 1998; Gaucherel et al., 2006). La visualizzazione 3D del territorio e dei progetti urbanistici è divenuta uno strumento di supporto di particolare utilità nella valutazione delle caratteristiche estetiche e funzionali del paesaggio, così come dei potenziali impatti negativi delle attività antropiche su di esso. L'utilità della visualizzazione 3D riguarda anche lo studio della distribuzione e la manutenzione delle infrastrutture a rete di distribuzione dei principali servizi (acqua, elettricità, linee di comunicazione).

Anche per tali ragioni, negli ultimi anni un'attenzione particolare è stata rivolta alle applicazioni GIS 3D, in grado di rappresentare l'ambiente urbano e il contesto territoriale di riferimento in maniera più dettagliata e ricca di elementi semantici, e di supportare dunque più efficacemente i processi della pianificazione territoriale, soprattutto nelle fasi di analisi delle componenti territoriali, valutazione, simulazione di scenari predittivi e monitoraggio di fenomeni e processi antropici, ambientali ed ecologici (Shiode, 2001; Laurini, Servigne, 2008; Gröger et al., 2012; Herbert, Chen, 2014).

A livello nazionale, europeo e internazionale sono state sviluppate numerose proposte di modelli di cartografia numerica 3D evoluta, in grado di supportare oltre che la componente tridimensionale anche diversi livelli di dettaglio, in funzione della scala alla quale l'oggetto edilizio viene trattato (Scianna et al., 2008). Tra queste proposte rientrano CityGML, GIANT, i modelli cartografici sviluppati da workgroup tematici INSPIRE e, nello specifico contesto nazionale italiano, GeoUML.

Tutti questi modelli di rappresentazione dell'informazione geografica presentano una struttura basata sul sistema GML3 e consentono di produrre nuovi dataset tridimensionali e polisemici di grande utilità e completezza a vantaggio di un'utenza ampia e differenziata e per elaborazioni e simulazioni di differente finalità (Day, 1994; Agugiaro, 2014) come quelle relative alla pianificazione urbanistica.

Il percorso di sviluppo delle soluzioni GIS 3D si basa sulle acquisizioni dell'ingegneria geomatica che si sono focalizzate intorno ai due nuclei principali della visualizzazione tridimensionale e dell'interrogazione dei dati geo-spaziali (Fuchs, 1996). In particolare, grazie a tali progressi è oggi possibile costruire nuovi modelli di dati e nuove routine per la modellazione geometrica degli oggetti fisici, e combinare supporti cartografici e ortofoto ad alta risoluzione con altri dati GIS, al fine di realizzare carte tematiche 3D navigabili (Batty et al., 2001; Bodum, 2002).

Recentemente, all'interno di tale filone di riflessioni, si è accresciuto rapidamente un interesse della comunità scientifica nazionale e internazionale per lo sviluppo e l'implementazione di modelli 3D a vantaggio delle amministrazioni pubbliche competenti in tema di pianificazione urbana e territoriale (Bodum, 2002; De Gennaro, Pelagatti, 2008; Kolbe, 2009). Questi ultimi soggetti istituzionali sono, infatti, quelli che

maggiormente necessitano di sistemi informativi e modelli cartografici 3D in grado di integrare le informazioni geometriche e quelle semantiche relative alle basi di dati tradizionali sulle quali vengono progettate e monitorate le azioni pianificatorie. In tal senso, il ricorso ai modelli cartografici 3D è identificato quale soluzione ottimale per integrare corografie e carte tecniche, basi catastali, tematismi relativi alle infrastrutture, all'uso del suolo, elaborati grafici integrati nei piani di governo del territorio, piani relativi alla sicurezza pubblica e alla protezione civile, ecc.

Tuttavia, sebbene le applicazioni GIS che consentono l'analisi e l'esplorazione 2D degli oggetti territoriali rappresentano pratiche comuni e diffuse, le potenzialità insite nei modelli cartografici 3D, per la scala urbana e territoriale, non sono ancora ampiamente conosciute e sfruttate (Döllner et al., 2006; Malinverni, Tassetti, 2013), soprattutto nel contesto nazionale italiano.

Alla luce di tali premesse, il presente lavoro, illustra alcuni aspetti geometrici e semantici peculiari del modello cartografico 3D che il GISLab ICAR-CNR sta sviluppando proprio a partire dalle esigenze specifiche del dominio della pianificazione urbanistica.

## 2. CARTOGRAFIA, GIS E PIANIFICAZIONE URBANISTICA E TERRITORIALE

La pianificazione urbanistica è quella disciplina che governa gli insediamenti sul territorio, regolamentandone lo sviluppo e le trasformazioni e approfondendo le parti analitico-interpretative dei processi di crescita insediativa, le proposte di controllo e regolamentazione e la conoscenza dei meccanismi di intervento e dei processi decisionali.

All'interno di tale disciplina, il piano urbanistico comunale costituisce lo strumento *princeps* attraverso il quale l'ente comunale esercita la pianificazione del territorio di sua competenza nel rispetto delle disposizioni legislative e regolamentari vigenti, e in coerenza con le previsioni della pianificazione territoriale regionale e provinciale.

Per la redazione di un piano urbanistico comunale è necessario disporre anzitutto di una banca dati geografica che consenta di avere una conoscenza generale del territorio comunale con riferimento agli aspetti plano-altimetrici, geo-morfologici, amministrativi, infrastrutturali ed ecologico-ambientali. Tali informazioni devono essere acquisite a una scala geografica compatibile con il livello di dettaglio dei relativi elaborati richiesti (generalmente 1:50.000, 1:25.000 e 1:10.000).

Per la costruzione di tale base conoscitiva è necessario acquisire informazioni 2D e 3D in formato sia raster che vettoriale, utili alla modellazione pseudo-tridimensionale del territorio (DEM 2,5D) e al suo inquadramento in un più vasto ambito territoriale. La disponibilità di un modello plano-altimetrico 3D, dal quale possono essere ricavati DEM (*Digital Elevation Model*) e/o DSM (*Digital Surface Model*), unitamente a informazioni sulle caratteristiche geologiche, morfologiche e di rappresentazione del territorio (ortofoto) costituisce la condizione necessaria per la strutturazione del GIS 3D di base, sul quale, come illustrato di seguito, può essere costruito un più completo modello 3D vettoriale del territorio.

Dal punto di vista contenutistico, il Piano Urbanistico Comunale regola e fornisce indicazioni sulle principali vie di comunicazione, sulla zonizzazione del territorio e dei relativi vincoli da osservare in ogni zona e sulla destinazione d'uso di determinate aree ed edifici di proprietà pubblica e privata. Tali indicazioni, fornite su un supporto cartografico a scala di dettaglio, generalmente 1:2.000, necessitano di una

descrizione grafica arricchita da contenuti semantici specifici per la singola classe di oggetti da rappresentare.

In particolare le principali classi di oggetto sono relative a Zone Territoriali Omogenee (ZTO), spazi e attrezzature pubbliche di interesse generale, attrezzature di interesse comune, verde pubblico, verde storico, edifici di interesse storico-architettonico, parcheggi, vincoli e aree soggette a pianificazione particolareggiata.

All'interno di un GIS tali categorie di dati territoriali devono essere rappresentati tramite oggetti geometrici aventi la consistenza dimensionale e topologica idonea alle valutazioni da eseguire nelle diverse fasi pianificatorie (ad esempio strade descritte da elementi lineari e areali, spazi pubblici chiusi e aperti rappresentati da poligoni, ecc.).

Gli oggetti territoriali misurabili devono essere correttamente rappresentati a livello topologico da *feature* idonee per consentire i calcoli dimensionali da confrontare con gli standard urbanistici.

A prescindere dalla scala di dettaglio utilizzata per la descrizione delle informazioni, è di chiara evidenza l'utilità di un modello di dati geografici 3D per le attività di pianificazione urbanistica. Esso infatti, a differenza del modello dati bidimensionale, consente in modo pressoché automatico e immediato di giungere a elaborazioni di maggiore livello di dettaglio e approfondimento.

L'utilizzo dei modelli GIS 3D risulta infatti necessario per la verifica di una serie di parametri a livello urbanistico e territoriale, che non potrebbero essere analizzati con la cartografia in due dimensioni.

In particolare, la strutturazione di un modello dati 3D a supporto della pianificazione urbanistica consente di: (I) conoscere nel dettaglio l'articolazione spaziale e volumetrica degli edifici e i conseguenti rapporti volumetrici; (II) confrontare e comparare le reali altezze degli edifici e le altezze massime imposte dalla regolamentazione urbanistica vigente; (III) valutare l'impatto visivo di una futura lottizzazione o edificazione; (IV) comprendere le effettive relazioni catastali tra le diverse unità abitative.

Quest'ultimo aspetto è particolarmente utile e necessario nei centri storici, dove le unità abitative talvolta si estendono su più unità edilizie, e dove la tradizionale cartografia 2D risulta insufficiente ai fini dell'identificazione delle singole unità e del controllo delle volumetrie, ma anche per l'analisi della consistenza e delle tipologie edilizie.

Un modello dati 3D consente anche di analizzare e ottenere informazioni specifiche, particolarmente utili per i piani comunali di dettaglio quali ad esempio il piano di classificazione acustica, il piano comunale di emergenza e protezione civile, il piano energetico, il piano rifiuti, il piano del colore, ecc. (Tab. 1).

Il modello cartografico 3D in corso di studio si struttura sulla base delle esigenze specifiche della pianificazione urbanistica.

### 3. PRINCIPALI ASPETTI PER L'IMPLEMENTAZIONE DI UN MODELLO DI DATI GEOGRAFICI 2D/3D

Solitamente i soggetti preposti alle attività di pianificazione urbanistico-territoriale hanno a disposizione banche dati cartografiche 2D quasi del tutto prive di informazioni tridimensionali. Le basi dati più evolute si limitano, infatti, a contenere informazioni descrittive di oggetti geometrici che seguono l'andamento plano-altimetrico del suolo. Nel caso specifico ci si trova in presenza di primitive geometriche piane i cui estremi sono talvolta dotati della terza coordinata, e in

assenza di rappresentazioni volumetriche o di superfici che ne definiscono la conformazione.

I modelli cartografici nazionali più evoluti come i DB geotopografici implementano un modello bidimensionale successivamente esteso al 3D. Nel caso dei DB geo-topografici del CISIS, il *Simple Feature Model* (ISO 19125) è infatti esteso allo spazio 3D per le geometrie puntiformi e lineari, caratterizzate da elementi i cui punti caratteristici sono dotati di coordinate 3D.

I modelli GIS *full 3D* sono invece costruiti in accordo a un modello concettuale tridimensionale, in cui la componente grafica deve essere strettamente integrata alla componente semantica, così come specificato in un modello concettuale che può essere descritto tramite il linguaggio GML 3.0 o superiore (Figg. 1, 2, 3). Gli aspetti semantici e topologici rappresentano infatti una condizione necessaria perché i modelli grafici non siano utilizzati solo per scopi di visualizzazione, ma costituiscano invece il modello informativo di base per la realizzazione di *query* e analisi tematiche.

TIPOLOGIA STRUMENTO	TIPOLOGIA DI VALUTAZIONE
Piano urbanistico comunale	- articolazione spaziale e volumetrica - confronto e comparazione delle altezze - impatto visivo di una futura edificazione - relazioni catastali tra le diverse unità abitative
Piano comunale di classificazione acustica	- livelli di rumore all'interno dei centri abitati
Piano comunale di emergenza e protezione civile	- modellazione delle inondazioni e dei rischi naturali causati da possibili dissesti idrogeologici - individuazione di percorsi di emergenza all'interno dei centri abitati percorribili da mezzi di soccorso - simulazione dell'altezza del livello di acqua nelle diverse parti della città, compresi parcheggi sotterranei, metropolitane e sottopassi
Piano energetico comunale	- dispersione termica globale e potenziale solare degli edifici
Piano del colore	- armonia cromatica delle superfici di facciata e delle coperture
Altri piani settoriali	- livelli di inquinamento atmosferico ad altezze e piani differenti - calcolo delle isole di calore attraverso il dimensionamento delle superfici riflettenti

Tab. 1 - Esempi di valutazioni estraibili da un modello GIS 3D utili alle diverse tipologie di strumento urbanistico

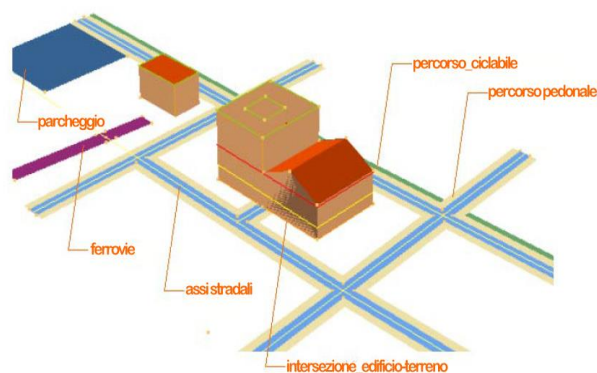


Fig.1 – Modello di ambiente urbano 3D

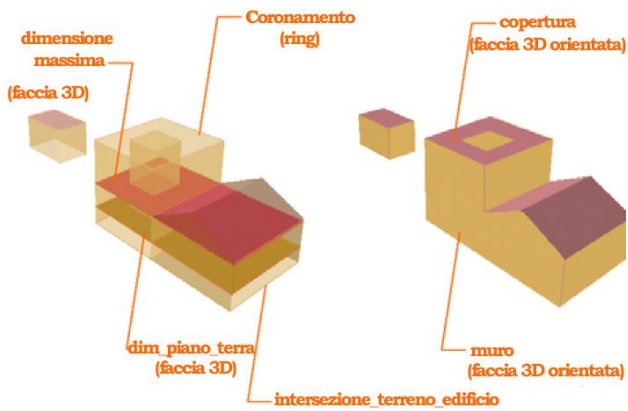


Fig. 2 – Descrizione delle componenti dell'edificio

Il modello cartografico per GIS può essere geometricamente strutturato per volumi o superfici e le possibili elaborazioni variano in relazione a tale aspetto. E' ovviamente possibile passare da una strutturazione volumetrica ad una superficiale e viceversa, se gli oggetti territoriali hanno una frontiera ben definita senza soluzione di continuità. Ad esempio, la valutazione del volume d'acqua di un lago comporta sia la definizione del fondo del lago, sia della superficie superiore dell'acqua.

L'aspetto semantico assume un ruolo chiave anche per stabilire il livello di dettaglio del modello cartografico. In particolare, maggiori sono gli attributi che vengono inseriti nelle categorie del database associati ai poligoni, più ricco di informazioni diventa il modello cartografico in fase di output. Si ritiene quindi che sviluppare un modello cartografico in GIS senza porre particolare attenzione alla gestione dei metadati e degli attributi vanifica le potenzialità offerte dalla cartografia digitale. Per la corretta gestione delle relazioni tra elementi che compongono l'edificio e altri manufatti, è invece necessario stabilire le relazioni semantiche e logiche che si concretizzano in termini di relazioni tra le tabelle di un modello con software DB relazionale.

Da un punto di vista operativo, per sviluppare un modello GIS tridimensionale possono seguirsi due vie:

- generare il modello tridimensionalmente considerando le superfici orizzontali e verticali, e attribuendo le altezze ai vertici dei poligoni, in maniera da generare dei solidi chiusi o delle superfici correttamente disposte nello spazio 3D;
- generare il modello a partire da quello bidimensionale, utilizzando le informazioni semantiche presenti nelle categorie di attributi corrispondenti. In questo caso è necessario che il database contenga le informazioni appropriate per le diverse tipologie di valutazioni che si vogliono formulare.

La prima modalità richiede una consistente attività di *editing* che può in parte essere facilitata dall'interpretazione automatica di prese fotogrammetriche aeree e dall'ulteriore integrazione delle necessarie informazioni a carattere semantico. Il modello risultante potrà avere un buon livello di dettaglio, utile a garantire la precisione delle elaborazioni numeriche conseguenti.

La seconda metodologia consente di generare il modello in "real-time", abbattendo i tempi tecnici necessari per la costruzione tridimensionale speditiva utile a eseguire delle valutazioni di massima. Inoltre, con lo stesso metodo è possibile eseguire specifiche analisi territoriali associando ad ogni entità geometrica gli attributi corrispondenti nell'area semantica, generati a monte, nella fase di creazione del modello (fig. 4).

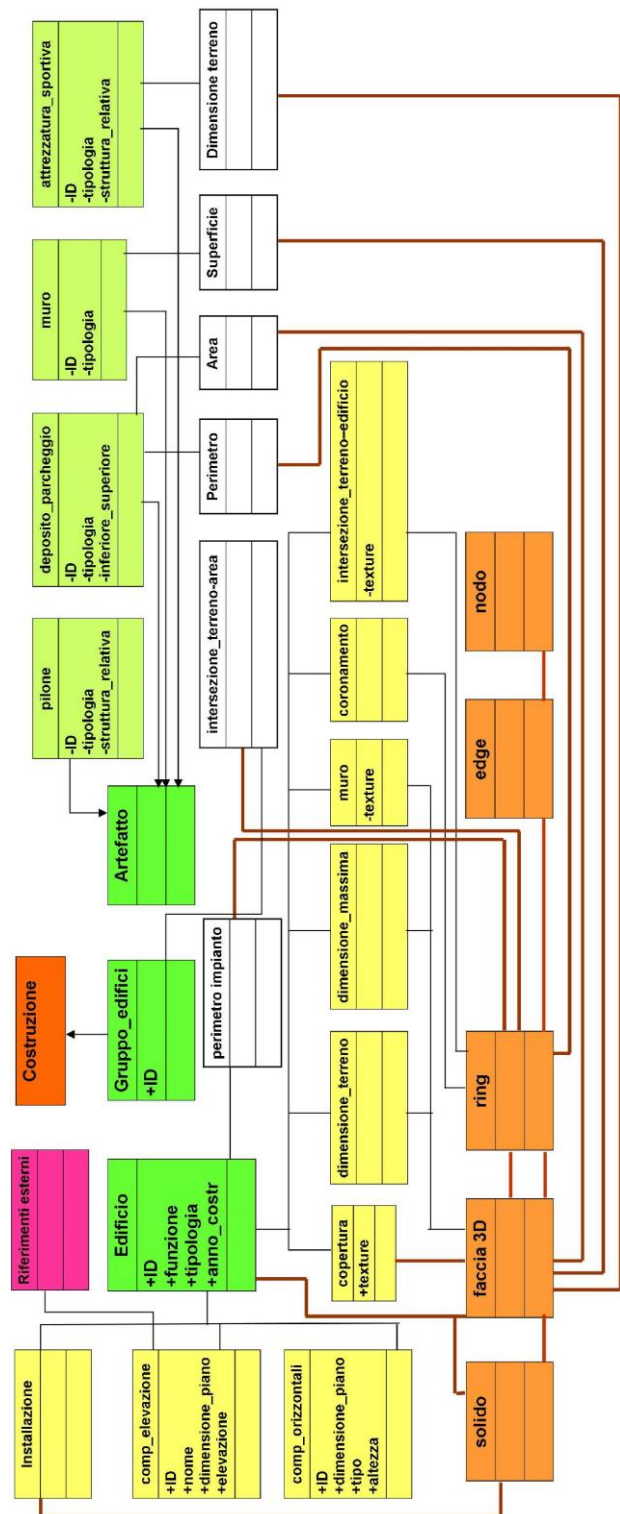


Fig. 3 – Schema concettuale del modello di ambiente urbano 3D

Il livello di dettaglio del modello 3D varia in relazione alla scala cartografica, ovvero alle informazioni contenute nel geodatabase. Ad esempio, nella descrizione delle coperture degli edifici di un centro abitato i tetti potranno essere rappresentati come piani per l'esecuzione di valutazioni generali, invece, ad una maggiore scala di dettaglio essi potranno essere tipizzati in relazione alla loro effettiva conformazione (fig. 5).

In tale prospettiva, nel caso di analisi a piccola scala, la soluzione più performante è quella che a partire dal modello



bidimensionale sfrutta l'ausilio della componente semantica per generare il modello 3D. Tale aspetto risulta particolarmente utile per la pianificazione urbanistica le cui scelte non possono essere avulse dalla conoscenza e della presa in considerazione delle caratteristiche altimetriche del territorio.

In tal senso, una corretta strutturazione del GIS 3D consente di tracciare innumerevoli sezioni trasversali sia del terreno sia degli edifici che vi insistono (fig. 6). Tutto ciò permette al progettista di avere una chiara visione degli aspetti morfologici del territorio, connessi, ad esempio, all'inserimento di possibili nuovi blocchi edilizi o alle modalità di completamento di spazi residui in relazione alla morfologia della cortina edilizia adiacente.

Dal punto di vista operativo, il primo passo necessario per costruire un modello cartografico tridimensionale consiste nella definizione delle esigenze e, quindi, delle valutazioni richieste dalle specifiche attività di pianificazione territoriale. Una volta definito il modello geometrico 2D, si procede con la strutturazione degli attributi che, correlati alle singole entità geometriche, consentono la costruzione delle specifiche carte tematiche (fig. 7).

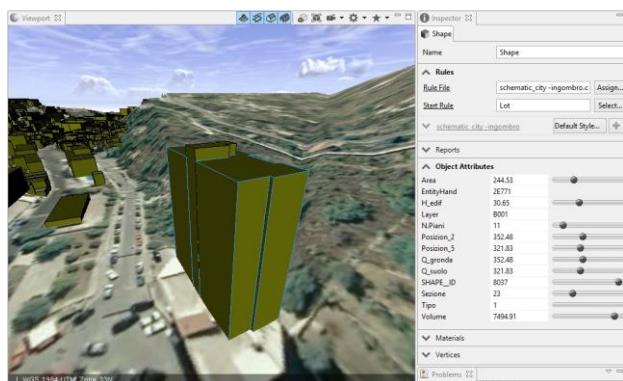


Fig. 4 – Modello 3D e componente semantica in *CityEngine*

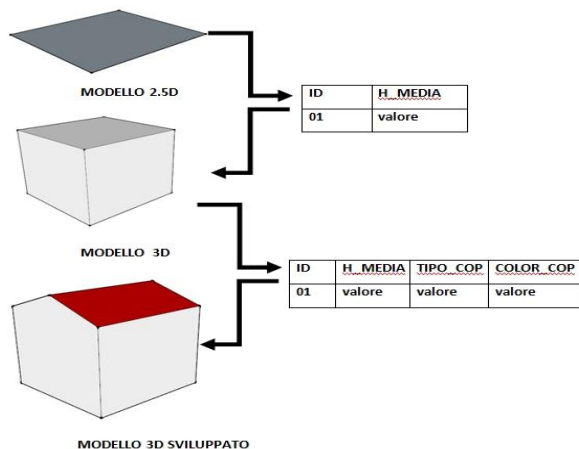


Fig. 5 – Esempio di costruzione progressiva del modello 3D con l'ausilio della componente semantica

Con riferimento agli strumenti informatici, diversi sono i software utilizzabili. In particolare, un efficace contributo è fornito da *QGIS*, software *open source* con il quale è possibile elaborare mappe bidimensionali geo-riferite e predisporre il database a livello semantico. Quest'ultimo risulta indispensabile per la trasformazione del modello dati 2D in un modello 3D. Elementi importanti per la trasformazione sono anche i grigliati raster come *DEM* e *DSM* che devono essere definiti ad una scala congruente con quella del modello 3D vettoriale da

sviluppare. Il modello 3D si ottiene quale risultato di integrazione sinergica tra il DEM, il modello geometrico-topologico bidimensionale e la banca dati semantica.



Fig. 6 – Visualizzazione di sezioni 3D in *Adobe Reader*

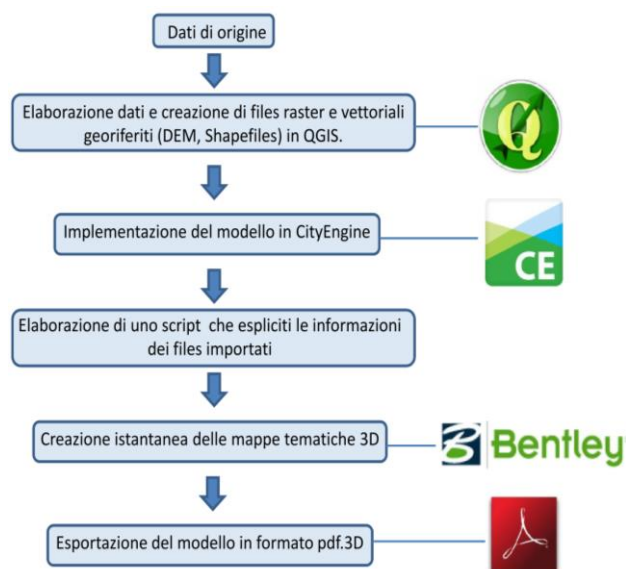


Fig. 7 – Un possibile *work-flow* per la creazione del modello 3D semplificato con indicazione degli strumenti utilizzati

A partire dal DEM e dal modello geometrico vettoriale, è possibile strutturare un unico modello tridimensionale navigabile comprendente i file vettoriali e raster. Questa operazione può essere, ad esempio, eseguita con il software proprietario della ESRI City Engine che, dopo aver importato singolarmente il DEM e il file *shape*, consente di proiettare verticalmente i poligoni del file vettoriale bidimensionale sulla superficie del terreno. Inserendo un'ortofoto georiferita è possibile anche testurizzare le superfici, per rendere più realistico il modello.

Per effettuare la costruzione tridimensionale vera e propria, è necessario associare uno *script* di riferimento al file *shape*, in modo da generare le superfici laterali e la copertura dei poligoni. Durante questa fase lo *script* richiama le informazioni presenti negli attributi del database, fondamentali sia per la costruzione tridimensionale che per la creazione delle vere e proprie cartografie 3D. Lo *script* elaborato viene, quindi, associato al file *shape* corrispondente, generando istantaneamente i solidi tridimensionali opportunamente tematizzati (fig. 8).

```

attr H_edif = 1
attr RoofColor = "#e7cfcf"
attr RoofColor1 = "#d69c9c"
attr RoofColor2 = "#c16464"
attr RoofColor3 = "#a12525"
attr RoofColor4 = "#9c1414"

Lot -->
  extrude(H_edif ) Building

Building -->
  comp(f) { front : FrontFacade | side : SideFacade | top : Roof}

Roof -->

case H_edif < 5 :
  color(RoofColor)

case H_edif < 8 :
  color(RoofColor1)

case H_edif < 11 :
  color(RoofColor2)

case H_edif < 17 :
  color(RoofColor3)

else:
  color(RoofColor4)

```

Fig. 8 – Esempio di *script* per la modellazione procedurale in *CityEngine*

Per garantire l'accessibilità e la fruizione del modello 3D ottenuto, è opportuno esportarlo tramite *Bentley* in formato .pdf3D, in modo tale da essere consultabile e navigabile attraverso il lettore pdf *free Adobe Reader*. Quest'ultimo consente inoltre di interrogare e misurare le superfici, ed estrapolare sezioni di territorio e analizzare nel dettaglio diverse carte tematiche tridimensionali (Figg. 9, 10, 11).

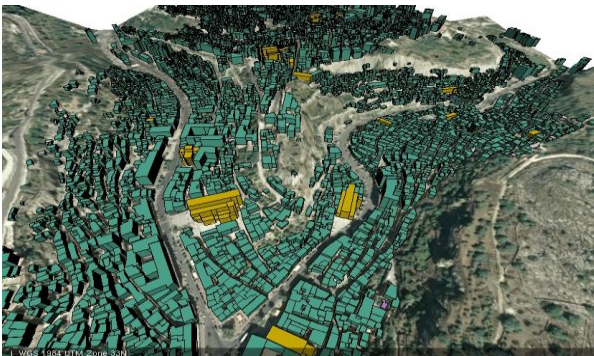


Fig. 9 – Esempio di carta tridimensionale delle tipologie edilizie



Fig. 10 – Esempio di carta tridimensionale della consistenza edilizia

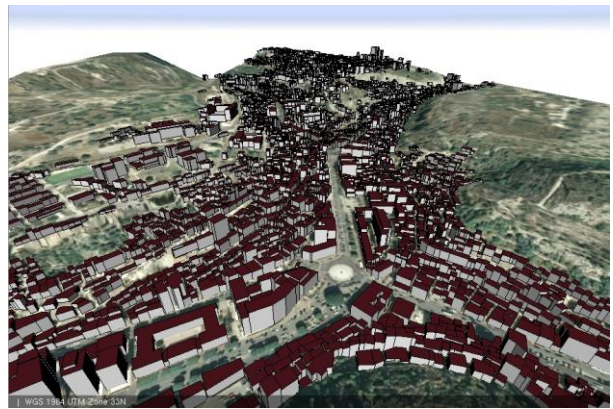


Fig. 11 – Esempio di carta tridimensionale delle tipologie di tetti

#### 4. DISCUSSIONE E RIFLESSIONI CONCLUSIVE

Alla luce del lavoro svolto, emerge come lo sviluppo di un modello GIS tridimensionale, generato sulla base della geometria 2D e collegato ad un sistema di classi di attributi che ne definiscono la volumetria e le tipologie e gli aspetti geometrici fondamentali (es. numero di piani), permette di effettuare analisi urbanistiche e territoriali a un accettabile livello di dettaglio e di condurre le valutazioni specifiche richieste dalle diverse tipologie di strumenti, con tempi di esecuzione e costi di elaborazione ridotti.

Tale strumento è alternativo alla dettagliata descrizione tridimensionale del territorio che richiede tempi maggiori con il conseguente incremento dei costi. Quest'ultimo è naturalmente correlato alle esigenze specifiche della pianificazione urbana e territoriale.

Stabilendo inoltre a monte un modello semantico ufficiale al quale fare riferimento per la gestione dei metadati (ad esempio a livello catastale), tale strumento consente di semplificare notevolmente l'operazione della raccolta delle informazioni e di analisi del territorio da parte delle amministrazioni competenti, mettendo in luce anche le criticità e le problematiche da risolvere a livello urbanistico.

#### 5. BIBLIOGRAFIA

Aguiaro G., 2014. From sub-optimal datasets to a CityGML-compliant 3D city model: experiences from Trento, Italy. *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, vol. XL-4, pp.7-13.

Batty M., Chapman D., Evans S., Haklay M., Kueppers S., Shiode N., Smith A., Torrens P. M., 2001. Visualizing the City: Communicating Urban Design to Planners and Decision-Makers. *Paper 26, Centre for Advanced Spatial Analysis, Working Paper Series*. CASA, UCL.

Bodum, L., 2002. 3D Mapping for Urban and Regional Planning. In: Salling, M. J. (Eds.). *URISA 2002 Annual Conference Proceedings and Exposition Proceedings*, pp. 472-479.

Day A., 1994. From map to model. *Design Studies*, 15, pp. 366-384.

Döllner J., Kolbe T. H., Liecke F., Sgouros T., Teichmann K., 2006. The Virtual 3D City Model of Berlin - Managing, Integrating and Communicating Complex Urban Information.

- Proceedings of the 25<sup>th</sup> International Symposium on Urban Data Management, UDM; Aalborg, Denmark, 15-17 Maggio 2006.*
- De Gennaro M., Pelagatti G., 2008. Le attività interregionali per le specifiche tecniche per i DB topografici, *12a Conferenza Nazionale ASITA, 21 - 24 ottobre 2008, L'Aquila*, pp. 987-988.
- Fuchs C., 1996. *OEEPE study on 3D-city models, Proceedings of the Workshop on 3D-City Models*, OEEPE (Organisation Européenne d'Etudes Photogrammetriques Experimentales), Institute for Photogrammetry, University of Bonn, Bonn, Germany.
- Gaucherel C., Giboire N., Viauda V., Houetd T., Baudrya J., Burel F., 2006. A domain-specific language for patchy landscape modelling: The Brittany agricultural mosaic as a case study. *Ecological modelling*, 194, pp. 233–243.
- Gröger, G., Kolbe, T.H., Nagel, C., Häfele, K.H., 2012. *OGC City Geography Markup Language (CityGML) En-coding Standard, OGC 12-019*. Open Geospatial Consortium, <http://www.opengis.net/spec/citygml/2.0/> (05 April 2015).
- Herbert G., Chen H., 2014. A comparison of usefulness of 2D and 3D representations of urban planning. *Cartography and Geographic Information Science*, 42 (1), pp. 22-32.
- Kolbe H., 2009. Representing and Exchanging 3D City Models with CityGML. In: Lee J., Zlatanova S. (Eds.), *Proceedings of the 3rd International Workshop on 3D Geo-Information*, Seoul, Korea.
- Köninger A., Bartel S., 1998. 3D-GIS for Urban Purposes. *GeoInformatica* 2 (1), pp. 79-103.
- Laurini R., Servigne S., 2008. Panorama des potentialités SIG en 3 dimensions: vers des modèles virtuels 3D de villes. *Revue XYZ*, 114, pp.22-26.
- Malinverni E. S., Tassetti A. N., 2013. Gis-based smart cartography using 3D modeling. *International Archives of the Photogrammetry. Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Volume XL-2/W2, ISPRS 8th 3DGeoInfo Conference & WG II/2 Workshop, 27 – 29 November 2013, Istanbul, Turkey.
- Shiode N., 2001. 3D urban models: Recent developments in the digital modelling of urban environments in three-dimensions. *GeoJournal* 52, pp. 263–269.
- Scianna A., Ammoscato A., Corsale R., 2008. GIANT3D: Experimentations on a new 3D data model for GIS. *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 37, B4, pp.101-10.