

CARTOGRAFIA NUMERICA TRIDIMENSIONALE PER GIS E WEB-GIS: VERSO LA FRUIZIONE VIRTUALE

A. Ammoscato^b, R. Corsale^b, A. Scianna^a

^a C.N.R. DAST - Dipartimento di Rappresentazione – Università di Palermo, viale delle Scienze c/o Facoltà di Ingegneria, 90128 Palermo – e-mail: scianna@dirap.unipa.it

^b Dipartimento di Rappresentazione – Università di Palermo, viale delle Scienze c/o Facoltà di Ingegneria, 90128 Palermo – e-mail: alessio.rcorsale@dirap.unipa.it

KEY WORDS: cartografia 3D, GIS, standardizzazione, interoperabilità, GML.

RIASSUNTO

La necessità di condividere nei GIS tipi differenti di dati, l'impossibilità di processare questi dati (in particolare 3D) da parte dei software GIS, utilizzando relazioni spaziali, pone la questione della costruzione di un modello cartografico, condiviso a livello nazionale, in grado di consentire la costruzione e la gestione di informazioni geografiche a media e grande scala. Occorre a tal fine risolvere alcuni problemi che riguardano l'utilizzo di differenti software GIS da parte degli utenti, la definizione di un formato per lo scambio e il trasferimento di informazioni geografiche, la realizzazione di un modello cartografico comune per enti pubblici e società private. Il conseguimento di questo obiettivo passa necessariamente attraverso l'analisi della visualizzazione e della gestione della componente tridimensionale, la precisione geometrica, la consistenza topologica dei dati.

Il progetto di ricerca, che di seguito viene descritto, è stato orientato alla definizione di una struttura standard di cartografia numerica 3D per GIS e WEB-GIS; in particolare in questo contesto sono delineati la metodologia adottata e la sperimentazione eseguita.

ABSTRACT

Sharing different kinds of information, and among them spatial data, put the question on implementing a cartographic model to build and manage geographical information at large and medium scale. So it becomes necessary to solve many problems concerning the use of different GIS instruments by customers, the definition of an appropriate format for exchanging and transferring of geographic data, the design of a common cartographic model. In order to reach this aim, 3D component, geometrical exactness and topological consistency of data (especially for areas) are very important matters.

This paper describes the stages of the development of an experimental structure of 3D numerical cartography, at medium and large scale, to be used in GIS and to be proposed as a national standard.

1. INTRODUZIONE

L'evoluzione sempre crescente degli strumenti di gestione cartografica, e degli standard di cartografia numerica, sta portando ad un loro maggiore avvicinamento verso gli strumenti tipici della gestione ed elaborazione di informazioni alla scala edilizia. L'impiego delle tecnologie dell'informazione nel processo di progettazione di edifici, ha infatti portato cambiamenti radicali nelle modalità di produzione, gestione e archiviazione della documentazione di progetto, determinando un notevole incremento nell'utilizzo di sistemi CAD, eventualmente affiancati ai software GIS. In particolare, la possibilità - offerta da numerosi software di gestione delle informazioni alla scala edilizia e territoriale - di visualizzazione tridimensionale fotorealistica dell'oggetto edilizio e di interrogazione dello stesso per l'accesso a dati (grafici, foto, capitolati, normative, ecc.) ad esso correlati, ha posto nell'ultimo decennio la questione della condivisione delle informazioni in formato digitale. Ciò implica ovviamente, sia da parte degli operatori del settore che dai produttori di software, la condivisione di modelli grafici informatici e formati di scambio. Sia in ambito CAD che GIS, sono state infatti fondate associazioni internazionali (ISO, IAI, OGC, ecc.), supportate dal mondo economico, che hanno lo scopo di studiare standard che possano facilitare l'interoperabilità.

A livello nazionale (Intesa GIS) e internazionale (City GML, Tiger GML) 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. Inoltre, poiché la strutturazione topologica è fondamentale per le analisi spaziali e l'individuazione delle relazioni fra gli oggetti, numerosi sono stati i tentativi e gli studi a livello europeo per l'individuazione di una strutturazione topologica tridimensionale dei dati cartografici.

In accordo con Zlatanova e altri (2003), è stato verificato che i modelli riportati in letteratura si distinguono in funzione del tipo di partizionamento dello spazio, delle primitive utilizzate e delle regole di implementazione; possiamo citare:

- 3D FDS (Formal Data Structure), è stata la prima struttura dati a considerare oggetti spaziali come un'integrazione di proprietà geometriche con gli attributi degli oggetti (Molenaar, 1990); questo modello considera una partizione completa dello spazio, e le entità sono rappresentate tramite quattro oggetti elementari (point, line, surface, body) e quattro primitive (node, arc, face, edge);
- TEN (TEtrahedral Network), inizialmente implementato da Pilouk (1996) per superare alcune difficoltà incontrate nel modello precedente nella definizione di oggetti con confini non ben definiti (es. formazioni geologiche, nuvole inquinanti, ecc.); utilizza quattro primitive (tetrahedron, triangle, arc, node);
- SSN (Simplified Spatial Model) (Zlatanova, 2000), è stato il primo modello topologico a dare particolare risalto al problema

della visualizzazione tridimensionale, con particolare riguardo alle query spaziali nelle applicazioni web-oriented. Utilizza quattro oggetti (point, line, surface, body), con la particolarità che non deve sussistere una relazione di unicità tra archi e facce;

- UDM (Urban Data Model), simile al precedente, con la particolarità che ogni faccia è necessariamente suddivisa in triangoli (Coors, 2003) e definita da un set di nodi (la primitiva 1D non è supportata);
- OOM (Objects Oriented Model) (Abdul-Rahman, 2000), primo dei modelli "object-oriented", utilizza il modello FDS (Molenaar, 1998) per costruire oggetti 3D, rappresentati da una serie di primitive TIN 3D, in un ambiente OO;
- Tuple model (Brisson 1990, Pigot 1995), che è basato su quattro primitive, chiamate celle, in cui non è più possibile separare in maniera netta gli oggetti dalle primitive.

Alcune sperimentazioni eseguite in città europee hanno inoltre contribuito alla produzione di esempi di cartografia 3D, il cui modello (geometrico e topologico) permette anche la rappresentazione e fruizione virtuale dell'ambiente costruito tramite rendering fotorealistico.

2. PROCEDURA METODOLOGICA

La ricerca in corso, che parzialmente confluisce in progetti di interesse nazionale¹, è finalizzata alla definizione di una struttura standard di cartografia numerica 3D per GIS e WEB-GIS, che possa essere condivisa a livello nazionale. Lo scopo è quello di definire un modello interoperabile di cartografia numerica 3D, validabile attraverso uno schema gestito da un server remoto accessibile da internet. In Italia esiste una vasta letteratura relativa a proposte e capitolati di cartografia numerica 2D e 2D e 1/2, derivati dalle Raccomandazioni della Commissione Geodetica Italiana per le scale 1:10000/1:5000 e 1:1000. Il ricorso a questi modelli cartografici se può ritenersi appropriato ad un uso tradizionale, pone dei limiti nella pianificazione, nella gestione dei beni culturali e ambientali, nella fornitura di servizi attraverso tecnologia 'mobile' che utilizza i GIS per associare informazioni a dati geografici (LBS, WEB-GIS). Inoltre, allo stato attuale, fatta eccezione per la modellazione del suolo, non è stato affrontato in maniera organica il problema della strutturazione di informazioni spaziali tridimensionali.

La prima fase dell'attività è stata dedicata all'analisi delle caratteristiche e della struttura della cartografia numerica in ambito nazionale, ed, inoltre, agli utilizzi della stessa e ai limiti che impone nell'esecuzione di talune elaborazioni necessarie alla produzione di servizi avanzati; questa fase preliminare ha consentito di delineare i requisiti che la cartografia numerica deve possedere per soddisfare pienamente i numerosi scopi per cui oggi viene utilizzata (Figura 1).

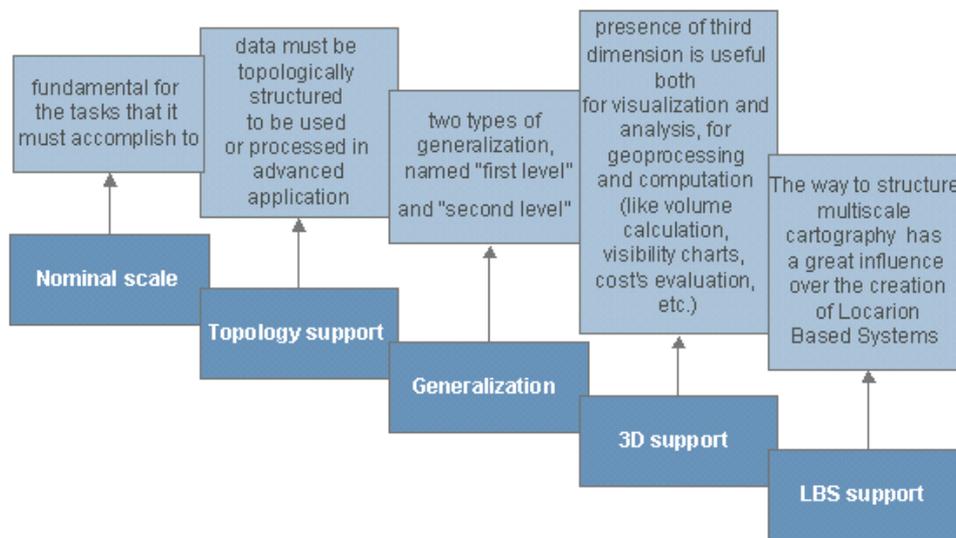


Figura 1: Requisiti della cartografia numerica

Si è proceduto quindi alla messa a punto della procedura metodologica ritenuta idonea al conseguimento dell'obiettivo proposto, individuando tre principali settori di indagine:

- struttura cartografica 3D: analisi dello stato dell'arte in Italia e in Europa, a partire dalle esperienze già condotte su dati 2D e sulla loro migrazione da ambiente CAD ad ambiente GIS;
- struttura geometrica e topologica 3D: analisi delle funzionalità topologiche 2D quale premessa per la determinazione di tutte quelle relazioni - fra oggetti 3D e oggetti 3D, fra 3D e 2D, fra 3D e 1D - necessarie all'esecuzione di analisi spaziali e al processamento dei dati. Esiste a livello europeo una non molto copiosa letteratura sugli studi condotti a partire dal 1990 per la definizione di modelli topologici tridimensionali: il confronto fra questi modelli costituisce un importante punto di partenza per identificare una lista di requisiti necessari all'implementazione di funzionalità topologiche 3D e un insieme di primitive e di regole necessarie all'implementazione di un modello;
- sperimentazione pratica su formati di scambio dei dati geografici, prestazioni dei software GIS per dati tridimensionali, progetto e realizzazione di un software per la strutturazione di un modello originale di cartografia 3D e per l'esportazione

in GML3.

L'approccio metodologico è stato basato su un continuo raffronto fra l'enunciazione teorica dei modelli di riferimento analizzati e le relative applicazioni con particolare interesse per i formati utilizzati per lo scambio dei dati. L'analisi, finalizzata alla definizione delle diverse esigenze che il modello deve soddisfare, è stata condotta valutando gli aspetti peculiari e gli eventuali difetti dei diversi modelli, prestando particolare attenzione alla possibilità di gestire contestualmente oggetti a scale diverse. Si è proceduto quindi alla definizione di un modello cartografico che sarà applicato ad aree campione e costituirà il riferimento per la realizzazione di un software che consenta la strutturazione della cartografia e l'esportazione nel formato GML3 (formato definito da Open Geospatial Consortium per lo scambio di dati geografici 3D). Su questo modello saranno effettuate le prove miranti al soddisfacimento delle esigenze e al raggiungimento degli obiettivi testé enunciati.

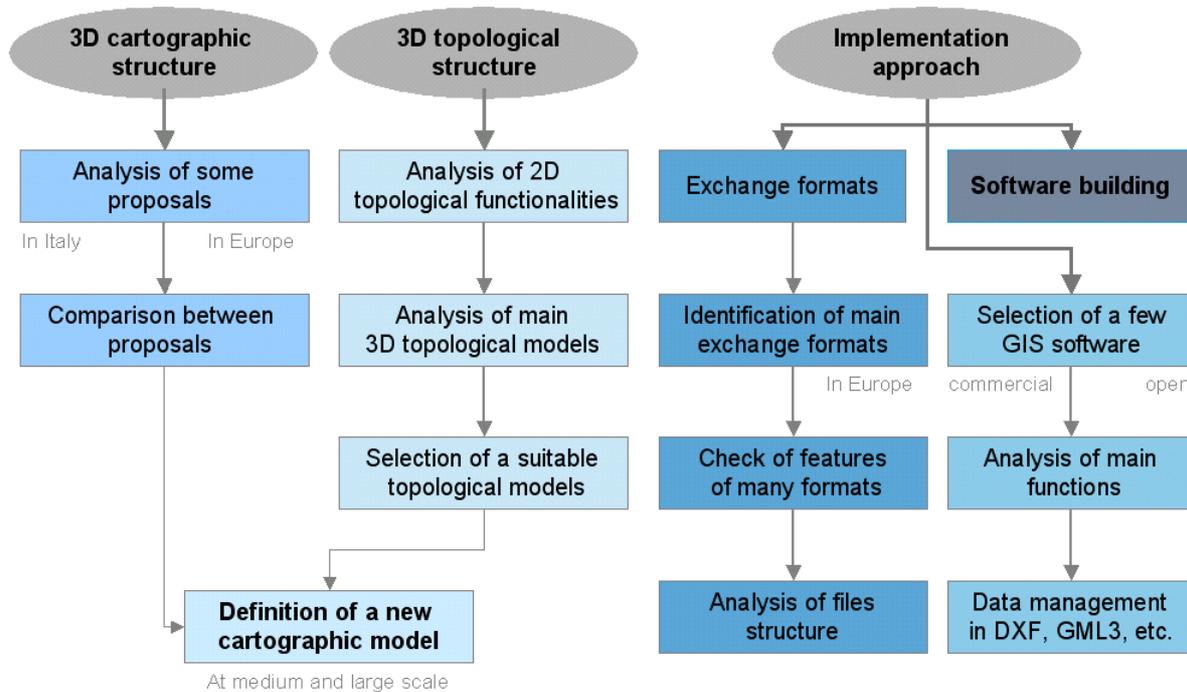


Figura 2: Procedura metodologica

3. I FORMATI DI SCAMBIO

I software GIS non sono dotati di funzioni avanzate per la gestione di oggetti 3D e per l'esecuzione di analisi spaziali con tali tipi di oggetti. È quanto è emerso sulla base dei test effettuati, finalizzati alla verifica della reale trasferibilità, attraverso differenti software GIS, di dati geografici opportunamente strutturati e archiviati nei formati DXF e GML.

È stato verificato che l'importazione del set di dati in formato DXF all'interno dei software GIS avviene senza perdita dell'informazione relativa alla terza dimensione, almeno per ciò che riguarda la visualizzazione 3D. L'utilizzo del formato DXF come formato di interscambio pone però svariati problemi, sia a livello topologico che geometrico. I diversi software, quando leggono (Autodesk Map 3D, ArcGIS, Geomedia) o importano (MapInfo, GRASS) lo stesso file DXF, mostrano comportamenti eterogenei, non riuscendo talvolta a individuare correttamente la geometria di un oggetto e le semplici relazioni topologiche. Inoltre, due oggetti aventi le stesse caratteristiche geometriche, ma realizzati uno come faccia o l'altro come poligono (polilinea chiusa), vengono spesso identificati dallo stesso software in maniera differente.

I test condotti sui software GIS più diffusi in Italia e in Europa, hanno evidenziato l'impossibilità di effettuare una vera e propria lettura dinamica di un file GML: l'operazione consentita è quella di importazione attraverso la trasformazione nel formato proprietario; fa eccezione Geomedia Professional, che gestisce tutti i tipi di file (GML, CAD, SHP, TAB, ecc.) creando con essi una connessione in sola lettura. Questo comportamento costituisce un limite all'interoperabilità: è necessario infatti importare il file in GML nel software utilizzato, trasformandolo nel formato proprietario, e poi riesportarlo nel formato GML secondo lo schema utilizzato dal software.

Ulteriore ostacolo all'interoperabilità è rappresentato dal fatto che ciascuna casa produttrice di software GIS realizza file GML che, seppure 'corretti' perché rispondenti alle norme, utilizzano tutte le possibilità di definizione consentite dalla norma stessa;

4.1 IL MODELLO “INTESA GIS”

L’“Intesa GIS” (Intesa Stato Regioni Enti-Locali), gruppo di lavoro composto da membri provenienti dalle diverse Amministrazioni Centrali ed organismi statali, si è proposto l’obiettivo di costruire, in un arco di tempo relativamente limitato, le basi informative territoriali per l’esercizio delle funzioni di interesse locale, regionale e nazionale. A questo scopo è stato definito un modello cartografico le cui principali caratteristiche sono di seguito elencate:

- lo schema geometrico è basato sullo standard ISO-19107 (Spatial schema) che include i solidi, ma non tutte le classi dello standard sono state adottate, perché si possano distinguere facilmente classi di oggetti 3D e classi di oggetti 2D, e perché il modello sia utilizzabile anche da utenti inesperti;
- non è possibile definire direttamente oggetti 3D o volumi;
- sono rappresentate solo superfici 2D, ma è stata definita una modalità ‘ibrida’ per la rappresentazione di superfici 3D, attraverso l’introduzione di un attributo spaziale, denominato “surface B3D”, che è costituito da una superficie 2D unita ad un ring 3D che rappresenta la frontiera della superficie 3D;
- i vincoli topologici sono definiti separatamente dalla geometria;
- sono stati definiti oltre che oggetti geometrici semplici, anche oggetti composti, complessi e aggregati;
- è stata prevista la possibilità di integrare cartografie a scale differenti (1:2000 e 1:10000) per l’impianto urbano e il territorio circostante, e un insieme di regole per il popolamento dei due gruppi di classi - quelle con oggetti con precisione 2K e quelle con oggetti con precisione 10K - allo scopo di consentire operazioni di generalizzazione e di stampa di mappe omogenee e congruenti, con differenti livelli di dettaglio;

Questo modello cartografico non è orientato alla completa visualizzazione e analisi di oggetti 3D, che sono requisiti fondamentali per realizzare tutte le operazioni tipiche dei GIS della prossima generazione.

4.2 IL MODELLO “CITYGML”

Il modello “CityGML” è un interessante modello cartografico, orientato alla rappresentazione di oggetti urbani tridimensionali, prodotto in Germania da un consorzio di strutture pubbliche e società private. CityGML è concepito come modello di dati aperto, basato sul linguaggio XML, per lo scambio di informazioni 3D e la realizzazione di complesse analisi necessarie ad applicazioni differenti (come simulazioni di disastri, gestione di servizi, ecc.).

CityGML costituisce un profilo applicativo per il GML3, che codifica una rappresentazione multilivello della città utilizzando strati informativi quali vegetazione, elevazione, edifici, ed altri. Le sue caratteristiche principali sono:

- uso di differenti livelli di dettaglio;
- definizione di classi e delle relazioni fra le classi per i più significativi oggetti del territorio urbanizzato e non, con particolare attenzione per le loro proprietà geometriche, topologiche, semantiche e di visualizzazione;
- unificazione del modello geometrico e di quello topologico;
- definizione delle gerarchie di generalizzazione fra classi tematiche, dei vincoli, delle proprietà spaziali.

Nel modello CityGML sono state introdotte regole per l’implementazione di superfici dotate di texture (superando in tal modo uno dei limiti dello standard GML), allo scopo di realizzare una rappresentazione realistica del modello urbano, prendendo spunto dallo standard X3D.

5. PROBLEMI APERTI

Frequentemente, nel panorama prima delineato, si manifesta la necessità di integrare oggetti 3D appartenenti a differenti livelli di dettaglio, mantenendo per ciascuno una buona qualità di visualizzazione e la possibilità di effettuare analisi spaziali. In ogni caso, al fine di assicurare un controllo della consistenza dei dati, sarebbe necessario che nessun oggetto spaziale fosse considerato o contato più di una volta; occorre quindi che vengano esplicitate le relazioni tra le diverse rappresentazioni spaziali di un oggetto alle differenti scale.

I principali problemi ancora irrisolti possono essere sintetizzati come segue:

- presenza di numerosi formati che, anche se proposti come standard, variano in funzione di numerosi fattori, quali la nazione di produzione, la scala di rappresentazione, la conformazione a determinati standard geometrici, nonché la compatibilità con determinate piattaforme software;
- difficoltà nella gestione dei diversi livelli di dettaglio, sia in fase di formazione che di utilizzo della cartografia;
- strutturazione topologica di oggetti tridimensionali, al fine di rendere la rappresentazione pienamente utilizzabile anche in ambiente GIS, per analisi spaziali ed elaborazioni tridimensionali;
- compatibilità del modello e del formato con il maggior numero possibile di software specializzati, sia GIS che CAD, senza perdita di informazioni nella sua importazione, in relazione al settore e alle esigenze di utilizzo.

6. DEFINIZIONE DI UN ORIGINALE MODELLO CARTOGRAFICO

A conclusione delle analisi e della sperimentazione fin qui descritte, si è proceduto alla definizione di un originale modello cartografico che muove per lo più dai modelli *CityGML* e *Intesa-GIS*.

Allo scopo di consentire un uso avanzato della cartografia in ambiente GIS e WEB-GIS, nella definizione del modello si è cercato di fare riferimento alle norme condivise in ambito nazionale per la individuazione di classi di entità atte a strutturare una cartografia

numerica (un esempio significativo è rappresentato dalle raccomandazioni della Commissione Geodetica Italiana), e di dare risposte all'esigenza di rappresentazione e analisi di oggetti geografici tridimensionali.

Le principali caratteristiche di questo modello sono:

- struttura conforme con le norme delineate da OGC e con lo standard ISO 19100 (serie);
- vincoli topologici definiti insieme con la geometria;
- non utilizzo di oggetti 'aggregati';
- oggetti strutturati utilizzando primitive 0, 1, 2, 3 D, con il vincolo che ogni primitiva deriva da quella di ordine inferiore;
- archi costituiti da uno o più segmenti e facce piane;
- orientamento di ciascuna faccia memorizzata in maniera esplicita, usando la regola della mano destra;
- suolo modellato utilizzando curve di livello e punti quotati (da cui è possibile derivare un DEM).

Le classi del modello sono state definite tenendo conto degli aspetti geometrici e di quelli semantici; in tal modo la struttura del modello va oltre quella classica, generalmente usata in Italia, rigorosamente basata sull'organizzazione delle informazioni in layer secondo una struttura gerarchica.

Le 'Feature class' sono classificate e collegate in uno schema che è suddiviso in schemi più piccoli che rappresentano la descrizione delle principali classi e delle relazioni fra le stesse:

- *vegetazione*: parchi and giardini, filari di piante, singole piante;
- *infrastruttura a rete*: reti e condutture per il trasporto di gas, acqua, elettricità, ecc.;
- *orografia*: isopse, punti quotati, breaklines, forme del terreno;
- *idrografia*: fiumi, laghi, sorgenti;
- *infrastrutture di trasporto*: strade, autostrade, sottopassaggi e relative accessori (parcheggi e aree di deposito, ecc.);
- *edifici*: edifici e loro accessori, gruppi di edifici, manufatti (per esempio piloni, muri, ecc.).

Nel diagramma UML dello strato informativo 'Costruzioni', mostrato in Figura 4, ogni classe è connessa con la relativa primitiva del modello topologico. All'interno di questo schema, gli oggetti della classe 'edifici' (rappresentati in Figura 3), sono descritti attraverso facce 3D (che definiscono il volume), e con linee e superfici piane che ne individuano le parti significative, secondo le norme condivise della rappresentazione cartografica tradizionale a media e grande scala.

Allo stato attuale i "Livelli di dettaglio", così come intesi nel modello City GML, non sono stati implementati a causa della difficoltà insita nella loro realizzazione. Il modello proposto è stato progettato per essere utilizzato ad una scala variabile tra 1:5000 e 1:2000; è comunque necessario introdurre oggetti con maggior livello di dettaglio, per alcuni temi relativi a servizi di pubblica utilità, come ospedali, teatri, campus universitari, uffici comunali, ecc.

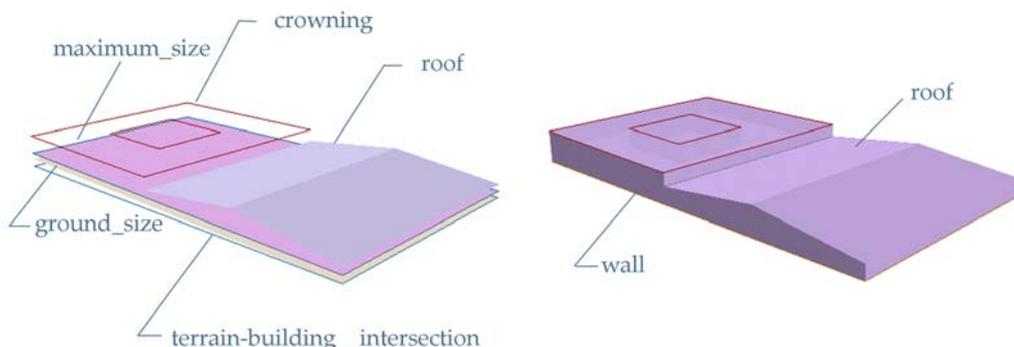


Figura 3: Componenti di un edificio

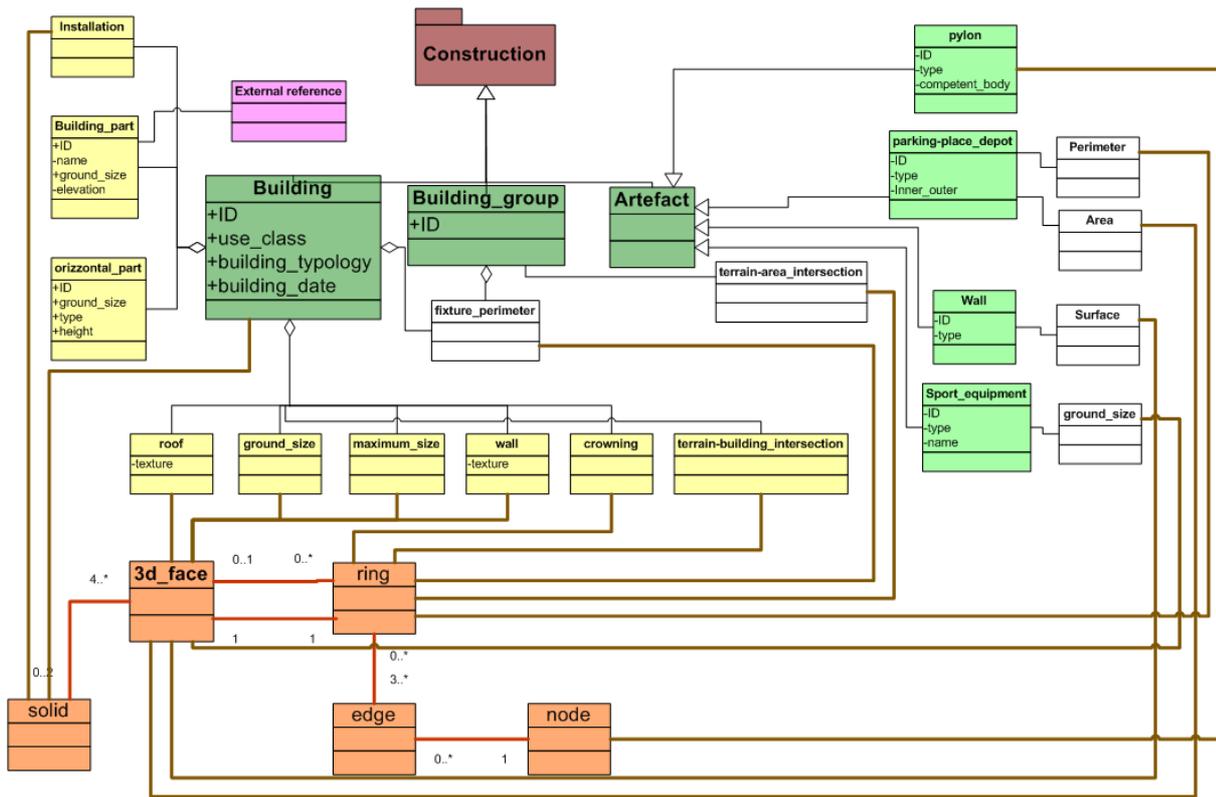


Figura 4: Diagramma UML dello strato 'costruzioni'

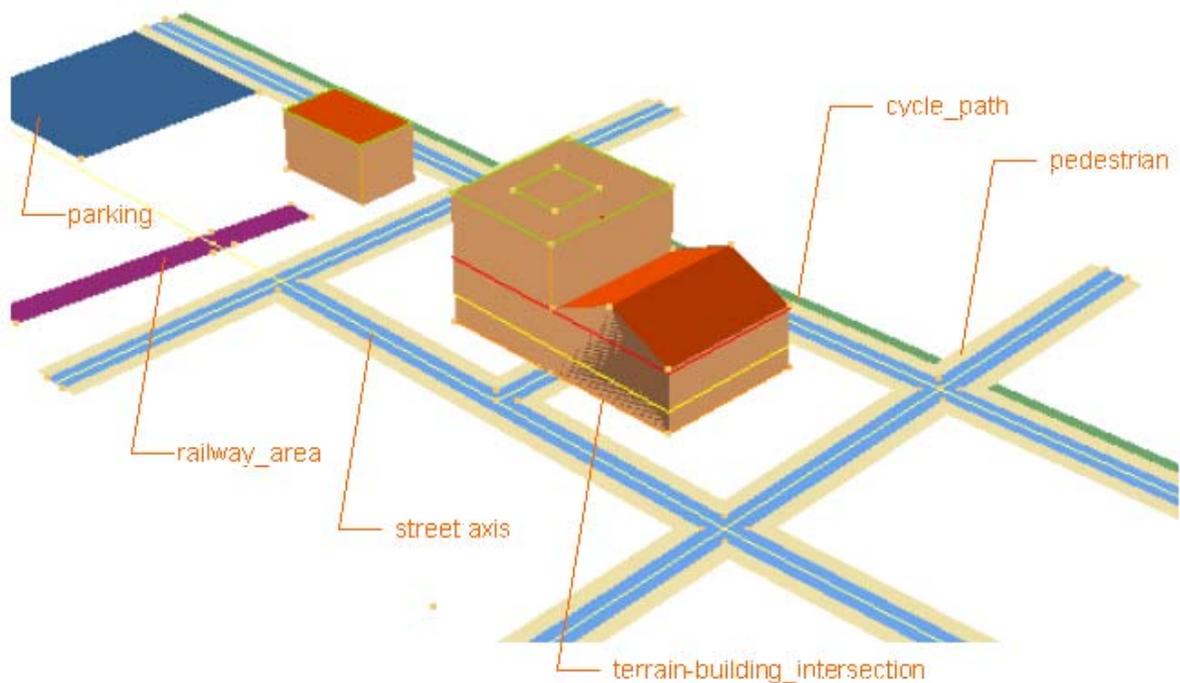


Figura 5: Individuazione degli elementi che appartengono allo strato 'Infrastrutture di trasporto'

7. CONCLUSIONI

Il formato scelto, GML, consente di superare i limiti dei formati oggi più in uso in Italia (dxf e shape file), quali la strutturazione topologica di oggetti tridimensionali e l'interoperabilità attraverso piattaforme differenti. Un'ulteriore caratteristica è rappresentata

dalla possibilità di definire, e quindi di utilizzare, diversi livelli di dettaglio della cartografia.

Il modello proposto deve ancora essere sottoposto ad ulteriori verifiche, ed inoltre va affrontato il problema delle relazioni topologiche tra oggetti 3D ed altri aventi dimensioni inferiori.

I dati sono stati finora strutturati ed editati in ambiente Autocad Map; la scelta di utilizzare questo software è essenzialmente dovuta ai potenti strumenti di disegno, nonché alle possibilità di visualizzazione tridimensionale.

Non appena il modello sarà definito completamente, sarà necessario individuare le modalità per:

- 1) memorizzare gli attributi e assegnare ogni entità a diverse classi di feature, dopo che i dati sono stati strutturati geometricamente in maniera corretta;
- 2) esportare i dati in GML, adoperando opportuni "schema file" allocati anche in server remoti, senza utilizzare software commerciali.

Al fine di dare risposta ai due punti sopra esposti si è reso necessario implementare un modulo software, capace di strutturare correttamente la cartografia, sia dal punto di vista geometrico che topologico. Una volta ultimato, il software consentirà di:

- assegnare una "feature" (di norma una linea o polilinea), ad una o più classe di feature;
- assegnare gli attributi ad ogni feature, tramite un database interno;
- esportare i dati strutturati in formato GML3;

Il software è attualmente in fase di sviluppo in ambiente C++, sotto forma di applicazione ARX di AutoCad.

8. BIBLIOGRAFIA

Bibliografia da riviste:

S. Balram, S. Dragicevic, (2006): Modeling collaborative GIS processes using soft system theory , UML and object oriented design, *Transaction in GIS*, 10(2), pp. 199-218.

T.W. Crawford (2006): Polygon to polygon spatial accessibility using different aggregation approaches: a case study of national forests in the US Mountain West Region, *Transaction in GIS*, 10(1), pp. 121-140.

C. Ellul, M. Haklay, (2006): Requirements for topology in 3D GIS. *Transaction in GIS*, 10(2), pp. 157-175.

S. Zlatanova, A. A. Rahman and W. Shi, (2004): Topological models and frameworks for 3D spatial objects, *Journal of Computers & Geosciences*, May, Vol 30, Issue 4, pp. 419-428, 2004.

Bibliografia da convegni:

Kolbe T. H., Gröger, G., Plümer L., (2005): CityGML – *Interoperable Access to 3D City Models*, Proceedings of the Int. Symposium on Geo-information for Disaster Management, Delft, 2005.

Kolbe T. H., Gröger, G. (2003): *Towards Unified 3D city models*, Proceedings of the ISPRS Commission IV Joint Workshop on Challenges in Geospatial Analysis, Integration and Visualization II, Stuttgart, Germany, 2003.

Bibliografia da web site:

S. Zlatanova, Gruber M., (2005), *3D Urban GIS on the Web: Data Structuring and Visualization*, <http://www.ifp.uni-stuttgart.de/publications/commiv/zlatan82neu.pdf>, 2005.

Autori vari, (2004): *Specifiche per la realizzazione di Database topografici di interesse generale*, (In1007_1_2_3_4_5, In1010_1_2), Intesa Stato Regioni Enti-Locali, http://www.intesagis.it/specifiche_tecniche.asp, 2004.

Cox S., Daisey P., Lake R., Portele C., Whiteside A., (2004): *Open GIS Consortium. Geography Markup Language (GML) Implementation Specification*, version 3.1.1, <http://www.opengeospatial.org/specs/?page=speccs>, 2004.