

ESPERIENZE DI GEOREFERENZIAZIONE ED ELABORAZIONE DIGITALE DI UNA CARTA DI BOLOGNA DEL '700

Gabriele BITELLI, Giorgia GATTA

DISTART - Università di Bologna
(*gabriele.bitelli, giorgia.gatta*)@mail.ing.unibo.it

Riassunto

Il recupero metrico e l'utilizzo in ambiente digitale della cartografia storica è una interessante opportunità offerta dalla moderna Geomatica, di ausilio per un largo spettro di ricerche. La cartografia storica può essere convertita dall'originale supporto cartaceo per essere elaborata in forma digitale, valorizzandola ed aprendola così a nuovi stimolanti utilizzi, non possibili sul supporto tradizionale. In tal modo non solo si può sopperire, per quanto possibile, alle inevitabili carenze in termini di qualità metrica che una carta antica può possedere, ma soprattutto si fa sì che essa possa essere inserita e gestita all'interno di Sistemi Informativi Geografici, integrata con altri temi. Alla carta possono essere dati nuovi connotati ed una nuova forma di rappresentazione, e l'eventuale collegamento con database alfanumerici consente l'analisi multitemporale del territorio e delle sue modalità di evoluzione.

Il presente lavoro riguarda una sperimentazione sul recupero e valorizzazione in ambiente digitale di una icnoscenografia, risalente al 1702, della città di Bologna, che realizza una sorta di pianta prospettica della città. Una copia di tale carta è stata dapprima convertita in forma digitale mediante scansione per poi essere trattata con moderni strumenti software. L'elaborazione della carta è consistita in una preliminare georeferenziazione, al fine di individuare e rappresentare la deformazione in carta indotta dal tipo di trasformazione cartografica adottata a suo tempo, e delle cui proprietà nulla si conosceva. In secondo luogo è stata eseguita una realizzazione tridimensionale della carta storica digitalizzata, elevando in quota la sua rappresentazione piana; si è così conferita alla carta una nuova veste tridimensionale, estremamente efficace dal punto di vista grafico perché dotata di una visualizzazione più accattivante e che permette una comprensione più immediata, pur mantenendo tutti gli aspetti descrittivi e le informazioni della carta di partenza.

Abstract

The metric recover and the digital processing of historical cartography is an interesting application offered by modern Geomatics for the analysis of territorial data. As a matter of fact, an historical map can be converted in digital form and subsequently elaborated. In such way, the often poor metric quality of a map can be improved, a new graphic visualization can be provided, and the map can be inserted in a GIS environment and managed in a new way.

In this work we report some tests of digital elaboration, performed on a perspective plant map of Bologna, dating 1702: georeferencing, display of map deformation induced by the adopted transformation technique, and a three-dimensional extrusion of the historical map are presented.

1. Introduzione

L'introduzione, relativamente recente, di strumenti software in grado di gestire ed elaborare il dato digitale ha trovato numerose applicazioni in svariati campi, tra cui le Scienze del Rilevamento e della Rappresentazione. In ambito cartografico, ha rivoluzionato il concetto stesso di "carta", cambiandone in primo luogo il supporto, da cartaceo (le *cartes*, termine portoghese ad indicare, per l'appunto, fogli di carta) a digitale (un file); ciò ha portato a notevoli vantaggi, tra i quali la riduzione dello spazio fisico necessario alla conservazione delle carte, la maggior durata del

prodotto nel tempo, la possibilità di consultazione e misura con criteri oggettivi, il collegamento con archivi e database di diversa natura. In secondo luogo, l'introduzione di questi strumenti software ha influito sul modo di produrre cartografia ex novo e di aggiornare quella già esistente, nonché sul modo di gestire e fruire della cartografia, anche di quella già presente su supporto cartaceo. Per quanto riguarda la cartografia storica, questi nuovi strumenti hanno agevolato il recupero metrico di carte storiche, e ne hanno permesso un nuovo modo di utilizzo con molteplici elaborazioni in ambiente digitale (Balletti, 2006; Boutoura e Livieratos, 2006; Livieratos, 2006).

Il problema preliminare è la conversione della carta in ambiente digitale, che deve essere eseguita in modo da diminuire il più possibile le deformazioni dovute al processo di scansione. Per restituire alla carta il suo originario contenuto metrico, occorre poi una fase di georeferenziazione, dalla quale è possibile dedurre le deformazioni indotte dal tipo di trasformazione cartografica adottata a suo tempo: le inevitabili deformazioni indotte dalla carta, rappresentazione piana di una superficie non sviluppabile sul piano, variano in base al tipo di trasformazione cartografica adottata (in generale non nota per le carte storiche). Scandita e georeferenzata, la carta può essere elaborata in ambiente digitale in svariati modi; tra questi, nel presente lavoro, si è voluta verificare la possibilità di conferire alla rappresentazione una veste tridimensionale, in una sorta di 3D city model. Infine, alla carta digitale così elaborata possono essere date moderne applicazioni, posizionandola su modelli numerici del terreno, immagini satellitari recenti o inserendola all'interno di un GIS, quale utile, e sicuramente interessante, base cartografica.

Nel lavoro si descrivono brevemente le elaborazioni condotte in questa direzione sulla copia di una icnoscenografia del 1702 di Bologna.

2. La carta di Bologna utilizzata nella sperimentazione

La carta storica della città di Bologna, usata ai fini di questa sperimentazione, risale al 1702, e fu redatta da Filippo de Gnudi (fig. 1). La mappa rappresenta la parte della città situata entro le mura, a cui si accede attraverso le Porte; al di fuori delle mura, la geografia viene descritta da poche parole del cartografo. Le grandi scoperte geografiche di quel tempo, unite alla formalizzazione geometrica della prospettiva, portano alla realizzazione di una mappa in pianta prospettica ("icnoscenografia", la intitola lo stesso autore), in cui la città, ripresa in una visione detta "a volo d'uccello", è colta nel suo insieme e gli edifici sono visualizzati mediante gli alzati architettonici, disegnati con cura e ricchi di dettagli, sia che si tratti di edifici d'interesse (chiese, palazzi comunali, ...) sia che si tratti di semplici abitazioni. Ai fini del presente studio, una copia della carta è stata scandita a buona risoluzione per mezzo di uno scanner a rullo.

3. Georeferenziazione della carta

La prima fase di elaborazione della carta è consistita nella sua georeferenziazione. Con tale termine si intende come noto il processo di assegnazione di coordinate oggetto (in un certo sistema di riferimento) al sistema immagine, in modo da restituire alla geometria dell'immagine scansionata il contenuto metrico posseduto inizialmente dalla carta. La generazione di una nuova carta georeferenzata si realizza mediante due passaggi fondamentali: un processo di trasformazione geometrica ed il successivo ricampionamento (*resampling*) dell'immagine.

La determinazione dei parametri della trasformazione avviene di norma conoscendo le coordinate, nel sistema immagine ed in quello oggetto, di un certo numero di "punti di controllo" (GCPs), coordinate che possono essere ricavate per mezzo di un rilievo a terra o dedotte da un'altra cartografia, di qualità e caratteristiche note, della stessa zona. Lavorando con cartografia storica, questo passaggio fondamentale è abbastanza delicato, sia perché questi elaborati mancano spesso di un sistema di riferimento geografico, o ne possiedono uno diverso da quelli utilizzati attualmente, sia perché può risultare molto difficile l'identificazione su di essi di GCPs corrispondenti a punti rimasti invariati nel tempo, che siano ancora riconoscibili su una carta attuale o direttamente sul terreno.



Figura 1: Filippo de Gnudi: icnoscenografia della città di Bologna (1702)

Il numero minimo di punti di controllo richiesto è legato al tipo di trasformazione piana adottata dal software, poiché dipende dal numero di parametri della trasformazione stessa. Evidentemente è sempre opportuno lavorare con un numero di punti superiore allo stretto necessario, poiché solo in tal modo è possibile ottenere una valutazione della bontà della trasformazione, ad esempio mediante l'analisi dei residui di una trasformazione ai minimi quadrati. Determinati i parametri di trasformazione, il software sarà in grado di applicarli a tutti i pixel dell'immagine, per ottenere, dopo il ricampionamento, la nuova immagine georeferenziata.

Esistono diversi tipi di trasformazioni geometriche di possibile utilizzo per la georeferenziazione di una carta e numerosi prodotti software che le realizzano, molti dei quali disponibili in ambiente GIS; nel presente studio sono stati utilizzati diversi di essi. Una procedura software di questo tipo consente uno o più tipi di trasformazioni (conforme, affine a 5 o 6 parametri, proiettiva, polinomiale, di Helmert robuste), e può successivamente ricampionare l'immagine con i metodi *Nearest Neighbor*, *Bilinear Interpolation* o *Cubic Convolution*, di norma a scelta dell'operatore; inoltre, in uscita può fornire le coordinate compensate dei punti di controllo utilizzati per la georeferenziazione, insieme con i residui associati. E' possibile adottare anche una trasformazione per elementi finiti che scompone il dominio in triangoli, secondo il criterio di Delaunay, prendendo come vertici i punti di controllo inseriti; nell'area definita da ogni triangolo, viene applicata una trasformazione affine, forzando i GCPs in modo tale che su di essi vi sia errore minimo, e adattando i punti interni ai triangoli: i parametri della trasformazione affine avranno quindi validità limitata all'area interna ad ogni singolo triangolo. Ovviamente, più piccoli sono i triangoli (vale a dire maggiore è il numero di punti di controllo), e migliore è il risultato in termini di precisione.

L'accuratezza di una trasformazione è fornita dal valore di RMS sui punti di controllo, associabile all'errore nella posizione trasformata. L'immagine in uscita, georeferenziata, consiste in un file, solitamente in formato TIFF, a cui può essere associato un file di geocodifica/georeferenziazione (nel caso più semplice ci si limita ad un *world file* .tfw).

Per georeferenziare la carta in oggetto, è stata utilizzata una CTR 1:5000 del Comune di Bologna (sistema geodetico cartografico UTM-ED50), e si sono valutate anche immagini satellitari ad alta risoluzione ed ortofoto. In entrambi i casi i maggiori problemi sono stati riscontrati:

- nella definizione del punto sulla carta storica, a causa dello scarso grado di dettaglio da essa presentato;
- nell'individuazione in carta di molti punti di controllo, in quanto parte della base degli edifici rimane nascosta, trattandosi di una rappresentazione "a volo d'uccello";
- nelle numerosissime modifiche intervenute nella città negli ultimi tre secoli, che hanno reso molto difficile il riconoscimento di punti omologhi.

Ciò di fatto ha comportato l'impossibilità di utilizzare un numero molto elevato di GCPs (ne sono stati usati circa una ventina), permettendo comunque di raggiungere, soprattutto con trasformazioni polinomiali e ad elementi finiti, precisioni compatibili con le finalità dello studio.

4. Le deformazioni

Per le carte antiche spesso risulta sconosciuta la legge di rappresentazione cartografica adottata al tempo, cioè la legge che regola il passaggio da coordinate geografiche a coordinate cartografiche, e soprattutto non è detto che la legge adottata per la carta antica sia tale da comportare errori accettabili secondo le moderne convenzioni.

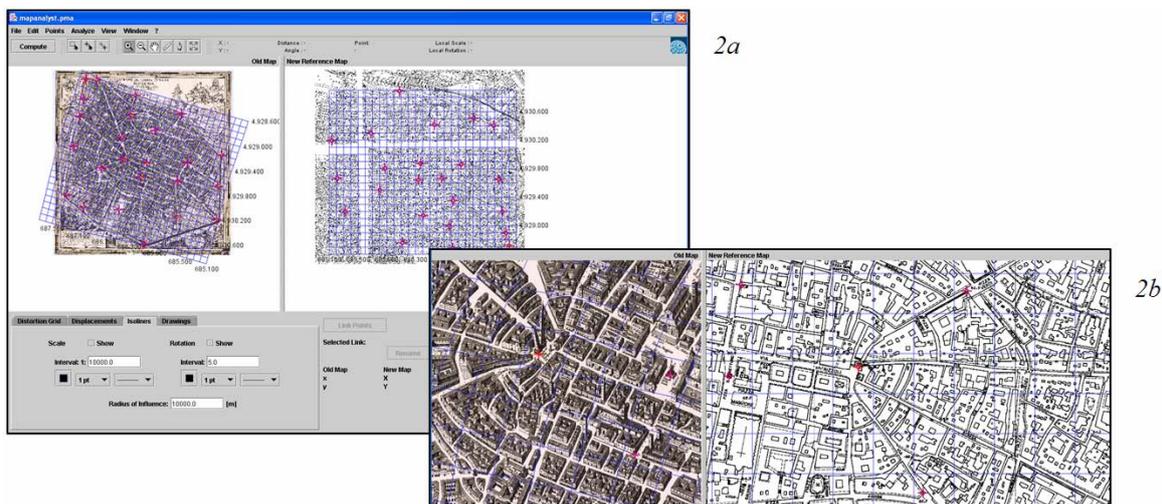


Figura 2: a sinistra la carta da georeferenziare, a destra quella di riferimento; in fucsia i punti di controllo utilizzati, in blu il reticolato. In fig. 2a la mappa intera, in 2b un particolare per l'area più centrale.

Al fine di visualizzare le deformazioni indotte, in carta, dalla trasformazione cartografica adottata al tempo si è utilizzato il programma *MapAnalyst* (Jenny et al., 2007), mostrato in figura 2. Sulla base di punti di controllo che devono essere ritrovati su una mappa di riferimento ("New Map"), il software visualizza, sulla mappa antica ("Old Map"), un reticolo georeferenziato, che risulta in genere deformato rispetto alla mappa di riferimento; assieme al reticolo, sono visualizzabili i GCPs con la relativa precisione sottoforma di cerchi o di vettori d'errore, e le isolinee ad ugual angolo di rotazione o ad ugual fattore scala, per mostrare le variazioni locali di scala e rotazione. Questa operazione di georeferenziazione viene eseguita adottando una trasformazione a scelta (es. di Helmert o affine). La figura 3 mostra l'effetto della applicazione di una trasformazione di Helmert robusta con stimatore di Hampel; viene riportato, sovrapposto e deformato, il reticolo UTM-ED50 con passo di 100m.

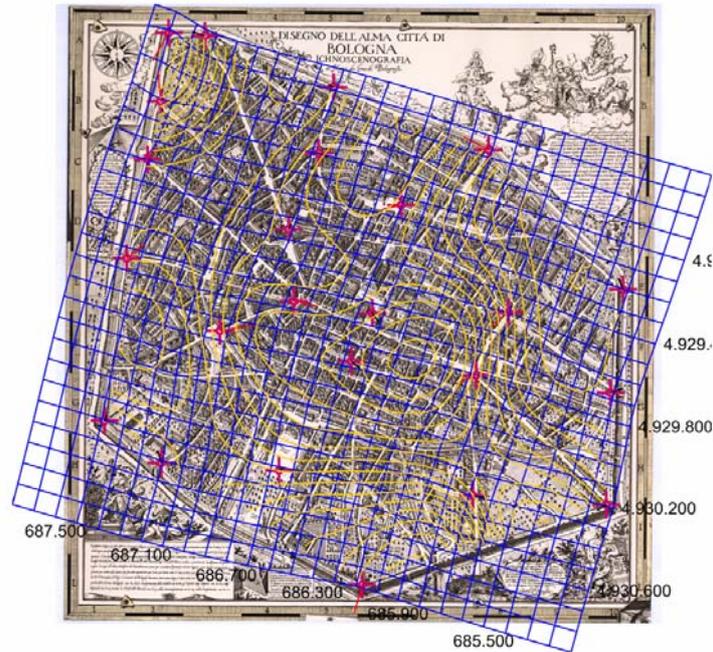


Figura 3: carta del 1702 con sovrapposto il reticolo UTM-ED50 deformato (in blu) a mesh di 100m, i punti di controllo utilizzati nella trasformazione (in fucsia) con i relativi vettori d'errore (in rosso) e le linee ad ugual fattore di scala (in giallo) con intervallo di variazione 1:50.

5. Realizzazione tridimensionale

Un obiettivo del presente studio era quello di dare alla carta storica, così scandita e georeferenziata, una nuova veste tridimensionale sfruttando il tipo di rappresentazione della carta stessa. A partire dagli aspetti topografici deducibili dalla cartografia storica, si è creato un modello 3D, senza evidentemente avere l'obiettivo di ottenere un vero e proprio 3D City Model ma un prodotto che, alle caratteristiche di una carta storica, associasse una visione tridimensionale. Si voleva ottenere quindi una rappresentazione che riportasse i principali vantaggi di una cartografia 3D (una visualizzazione più accattivante, una maggior semplicità di lettura e una maggior flessibilità di utilizzo in molteplici applicazioni), pur se assolutamente semplificata.

Allo scopo si è utilizzato il software *Google SketchUp*, che permette di creare, visualizzare e modificare disegni e forme in maniera tridimensionale; ideato per la progettazione di scene ed architetture, si presta anche ad applicazioni di carattere ambientale-territoriale. La creazione di modelli 3D avviene combinando tra loro più facce (generate tracciando linee chiuse su uno stesso piano), per poi applicarvi texture e ombre.

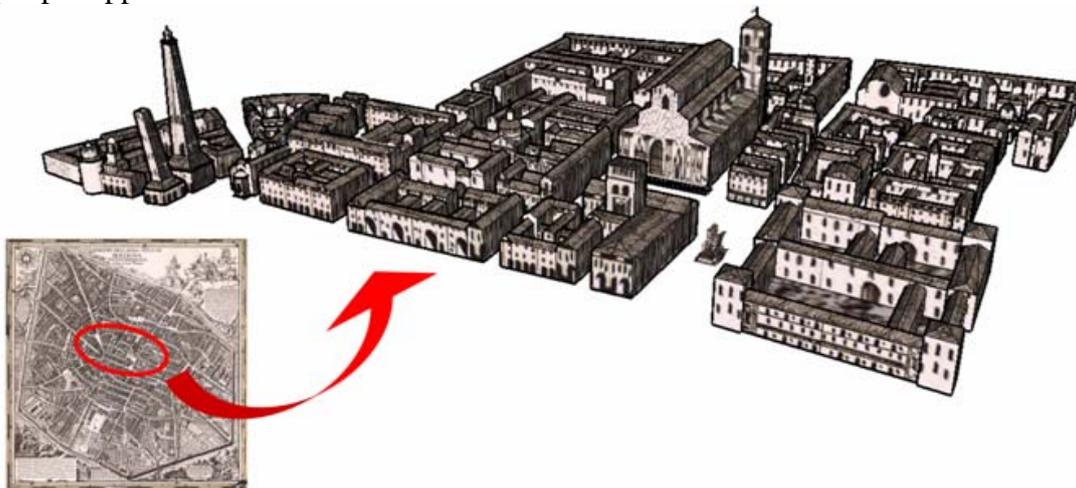


Fig. 4: modello tridimensionale, con rendering, di una parte della carta del 1702 (la zona centrale cerchiata in rosso).

La generazione del dato tridimensionale dalla carta storica (fig. 4) è avvenuta in alcuni passaggi:

- individuazione degli elementi da elevare (sono stati considerati solo gli edifici);
- delimitazione della planimetria degli oggetti (operazione non facile, data l'assonometria);
- estrusione, a partire dalla planimetria, con sviluppo secondo l'immagine originale;
- rendering eseguito applicando come texture, su ogni edificio estruso, l'immagine della facciata corrispondente, dopo averla tagliata e corretta dalle distorsioni dovute all'assonometria.

Ultima fase del lavoro è stata l'inserimento in *Google Earth* del modello 3D creato, sfruttando le possibilità di interfaccia fornite dallo stesso modulo di modellizzazione. Il modello creato con *SketchUp*, georeferenziato, è stato posizionato sulle immagini satellitari disponibili in *Google Earth*, ottenendo così una suggestiva visione del modello tridimensionale storico sovrapposto alle immagini satellitari recenti.

6. Conclusioni

Per applicazioni a carattere multidisciplinare legate allo studio dell'evoluzione del territorio nel tempo, si rivela molto interessante l'avvalersi dei moderni strumenti digitali, utili per il recupero, la georeferenziazione e l'elaborazione numerica di cartografia storica. Non solo è possibile così studiare la città e il territorio nella loro evoluzione storica, con un semplice confronto comparato tra la carta storica e quella attuale, ma in alcuni casi è anche possibile fornire alla carta storica una nuova veste, per esempio nella forma di una scena tridimensionale, elevando in quota la rappresentazione piana: il prodotto, molto espressivo ed accattivante, può essere esplorato in modo interattivo e fornisce bene l'idea di come doveva apparire la città al tempo di redazione della carta. E' importante, per utilizzare oggi questi dati all'interno di sistemi GIS, avere informazione sulla precisione della carta e sulle sue caratteristiche cartografiche; per questo scopo, possono essere utili moderni strumenti software con i quali è possibile visualizzare graficamente le deformazioni presenti in carta.

Infine, può essere interessante inserire la carta storica, elevata in quota, su immagini satellitari recenti, in un sistema globale aperto a tutti: uno strumento come *Google Earth* risulta utile ed interessante, poiché fornisce la possibilità di accedere liberamente alle immagini satellitari, spesso ad alta risoluzione, dell'intero globo terrestre, di riportarvi dati, anche storici, e di aggiornarli in tempo reale, il tutto in una forma grafica molto semplice ed intuitiva.

Bibliografia

- Balletti C. (2006), "Georeference in the analysis of the geometric content of early maps", *e-Perimetron*, Vol. 1, 1:32-42
- Balletti C., Guerra F., Monti C. (2000), "Analytical methods and new technologies for geometrical analysis and georeferenced visualisation of historical maps", *Int. Arch. of Phot. & Rem. Sens.*, Vol. XXXII, Part 6W8/1
- Boutoura C., Livieratos E. (2006), "Some fundamentals for the study of the geometry of early maps by comparative methods", *e-Perimetron*, Vol. 1, 1:60-70
- Jenny B., Weber A., Hurni L. (2007), "Visualizing the Planimetric Accuracy of Historical Maps with MapAnalyst", *Cartographica*, Vol. 42, 1
- Livieratos E. (2006), "On the study of the geometric properties of historical cartographic representations", *Cartographica*, Vol. 41, 2
- Mazza G. (2006), *Utilizzo in ambiente digitale di cartografia storica*, Tesi di Laurea in Ingegneria Civile, DISTART-Università di Bologna