

CATASTO LEOPOLDINO E GIS TECHNOLOGY: METODOLOGIE, LIMITI E POTENZIALITA'

Stefano Campana

1. Introduzione

L'importanza della documentazione storico-cartografica per la conoscenza dell'evoluzione dei paesaggi e la valorizzazione delle risorse territoriali ed ambientali è ben nota. Tra i principali limiti ad un'impiego diffuso della cartografia storica nell'ambito sia di progetti di ricerca sia presso le amministrazioni pubbliche vi sono le difficoltà oggettive che insorgono nel confronto tra le rappresentazioni contemporanee del paesaggio e le mappe storiche.

Da poco più di un decennio le tecniche afferenti alla disciplina del Telerilevamento ed i sistemi informativi geografici rendono possibile la trasformazione della cartografia storica geometrica in sistemi di riferimento attuali e quindi la sovrapposizione in tempo reale con le produzioni cartografiche più recenti. Inoltre, in seguito alla trasformazione del supporto cartografico, gli strumenti di *editig* vettoriale consentono l'elaborazione di carte storiche tematiche nelle quali ad ogni elemento rappresentato corrisponde un numero n di attributi in tabella o in forma più estesa di record in data base alfanumerici¹.

Dal 1999 il Laboratorio di Cartografia Storica dell'Università di Siena è impegnato in progetti di ricerca indirizzati alla correzione della rappresentazione cartografica del Catasto Leopoldino agli standard geometrici attuali, al sistema di riferimento nazionale e successivamente alla vettorializzazione del supporto cartografico georeferenziato.

Il percorso di elaborazione che intercorre tra la cartografia cartacea e il prodotto finale è costituito da una serie di operazioni intermedie che possiamo riassumere per grandi linee in: digitalizzazione in formato raster della mappa, georeferenziazione, conversione raster-vector. Strategie, tecniche e strumenti utilizzati in ognuna delle fasi di lavoro possono variare in modo anche significativo. Questi saranno infatti adeguati agli obiettivi del progetto, all'accessibilità e alle caratteristiche del materiale cartografico, ai tempi di realizzazione, alle esigenze di accuratezza, ecc.

La nostra esperienza nello sviluppo di una procedura relativamente rapida ed economica al fine di ottenere mappe in formato sia raster che vettoriale confrontabili con basi cartografiche moderne a scale di dettaglio nell'ordine di 1:10.000 è riconducibile a due tappe principali. La prima è relativa alla georeferenziazione di 24 sezioni del catasto leopoldino pertinenti alla Comunità di Murlo (SI) mentre la seconda, attualmente in corso, consiste nell'adeguamento e nella geocodifica delle mappe leopoldine delle comunità di Buonconvento, San Quirico d'Orcia, San Giovanni d'Asso e Trequanda (SI) per un numero complessivo di 37 sezioni².

2. La cartografia catastale lorenesse

La georeferenziazione di fonti cartografiche storiche è un'operazione complessa che richiede in primo luogo la valutazione delle caratteristiche della fonte al fine di determinare possibili cause di errori sia sistematici sia non sistematici.

Nel caso in esame è noto che il catasto geometrico-particellare si appoggia alla triangolazione primaria della Toscana realizzata intorno al 1820 dall'Inghirami secondo criteri astronomico-geodetici pienamente scientifici. Sulla base di questo lavoro quasi contemporaneamente gli ingegneri e i geometri del Granducato avviano la sperimentazione delle prime misurazioni trigonometriche e topografiche per la determinazione dei triangoli secondari³.

Il catasto è quindi il frutto di misurazioni rigorose e di sistematiche rilevazioni sul terreno. Le possibili fonti di errore possono essere sostanzialmente ricondotte ad eventuali sporadici errori nella

¹ KNOWLES 2002; RUMSEY, WILLIAMS 2002, pp.1-18; BALLETTI 2000. Per la georeferenziazione di rappresentazioni cartografiche non geometriche si veda GUERRA 2000.

² Questo secondo progetto è finanziato dalla Provincia di Siena.

³ ROMBAI 1989.

determinazione dei vertici trigonometrici primari e soprattutto ad imprecisioni nelle operazioni in campagna. Tutti errori non sistematici e quindi non determinabili come le deformazioni che il supporto cartaceo ha subito nel corso del tempo fino ad oggi. E' verosimile ritenere che queste alterazioni provocheranno discrepanze più o meno significative nel confronto con la cartografia attuale.

3. Acquisizione delle mappe in formato raster

In linea con la tendenza generale degli studi sull'argomento nella prima fase della nostra esperienza abbiamo proceduto all'acquisizione delle sezioni del catasto tramite scanner A0⁴.

Questa soluzione ha comportato nel nostro caso due problemi sostanziali. In primo luogo non è possibile, per esigenze di conservazione, procedere alla scansione dei supporti cartografici originali; per questo motivo sono state messe a disposizione da parte dell'Archivio di Stato di Siena delle eliocopie pancromatiche. Acquisire le copie delle mappe a scanner ha quindi comportato sacrificare una parte significativa delle informazioni contenute nell'originale (il colore) ed introdurre ulteriori aberrazioni dovute ai passaggi originale-elio copia ed elio copia-scansione.

In occasione del progetto per la geocodifica delle mappe leopoldine delle comunità di Buonconvento, San Quirico d'Orcia, San Giovanni d'Asso e Trequanda (SI) abbiamo deciso di sperimentare una soluzione alternativa che ci permettesse di non disperdere informazioni e di ridurre per quanto possibile l'introduzione di ulteriori errori.

La scelta è stata orientata verso l'impiego di una macchina fotografica reflex digitale (Nikon D100) con risoluzione nominale di circa 6 mega pixel dotata di un obiettivo con lunghezza focale effettiva fino a 52,5 mm⁵.

Alla massima risoluzione lo scatto genera un file TIF non compresso di 17,7 Mb nel quale sono perfettamente osservabili il reticolo particellare e gli elementi topografici mentre variabile è la possibilità di distinguere con facilità la numerazione assegnata alle particelle catastali (*Fig.2*).

Considerato che l'obiettivo finale del progetto è la vettorializzazione del reticolo particellare, la possibilità di leggere direttamente il numero delle particelle, per quanto comoda in fase di assegnazione dei rispettivi identificatori in tabella, non è indispensabile. E' infatti possibile, quando necessario, ricorrere alla consultazione della rispettiva elio copia.

4. Georeferenziazione

La correzione geometrica e l'attribuzione del sistema di coordinate alle mappe storiche avviene tramite l'identificazione di punti riconoscibili, invariati nel tempo, su cartografie attuali o direttamente sul terreno. Questa procedura ha dei limiti di precisione metrica ma nella maggior parte dei casi risulta l'unica attuabile⁶.

La georeferenziazione delle sezioni del catasto è stata effettuata utilizzando come riferimento la carta tecnica regionale della Toscana in scala 1:10.000.

La maggiore difficoltà nello svolgimento di questa fase è costituita dalla disponibilità di un numero sufficiente di punti di controllo e dalla migliore distribuzione geometrica degli stessi⁷.

La cartografia catastale leopoldina pone a tale proposito numerosi problemi. L'elevata scala di dettaglio delle mappe e il tematismo dominante (reticolo particellare) comportano la presenza nella cartografia di un numero ridotto di punti affidabili, costituiti nella maggior parte dei casi dagli spigoli degli edifici superstiti. La maggior parte delle sezioni possono contare su un numero di punti attendibili non superiore a quattro, spesso distribuiti in modo disomogeneo rispetto alle nostre esigenze.

⁴ KNOWLES 2002. Si vedano inoltre ad esempio PANJEK, BORRUSO 2002 e D'AGATA *et al.* 2002.

⁵ L'obiettivo è uno zoom Sigma con lunghezza focale 15-30 mm. A questo valore deve essere moltiplicato il fattore di correzione della macchina digitale pari a 1,75 da cui si deriva la focale effettiva variabile tra 26,25-52,5 mm. Attualmente è in corso l'acquisizione fotografica di tutte le sezioni del Catasto della Provincia di Siena da parte di Laura Pecchioli.

⁶ In generale LILLESAND, KIEFER 1994. Per la georeferenziazione di carte storiche mediante rilievi GPS si veda BAIOCCHI, LELO 2002.

⁷ Distribuzioni di punti allineati o concentrati in una porzione ristretta della mappa possono compromettere il risultato finale.

Questa situazione risulta particolarmente difficoltosa per le sezioni più interne alle comunità. Le sezioni poste lungo i confini comunitativi possono infatti incrementare il numero di punti e migliorarne la distribuzione sfruttando la sostanziale stabilità dei limiti amministrativi, lungo i quali è frequente la presenza di elementi fissi.

In ogni caso dopo aver ancorato i punti ritenuti più affidabili la successiva condizione di insicurezza nell'attribuzione di altri punti può essere verificata nel corso del processo di georeferenziazione tramite il controllo dei singoli valori (x; y) e del valore complessivo dell'errore quadratico medio (RMS). La stima locale dell'errore commesso, caratteristica di tutti i software provvisti di *tools* di georeferenziazione, garantisce il controllo sull'accuratezza della procedura permettendo, nel caso in cui i valori risultino sfalsati, la ridefinizione dei punti di controllo⁸.

Definiti i punti di controllo le caratteristiche geometriche della nuova mappa dipendono dal tipo di algoritmo di calcolo prescelto, nel nostro caso una funzione polinomiale di primo grado.

Sebbene talvolta sia stato necessario ripetere le operazioni più di una volta alla conclusione i risultati della georeferenziazione sono senz'altro accettabili con scarti quadratici medi nell'ordine di 5-7 m.

Considerando del tutto affidabili i punti utilizzati, la persistenza di un valore d'errore medio tra 5 e 7 m conferma le ipotesi iniziali relative alla presenza nelle mappe di probabili errori non sistematici dovuti a misurazioni errate propagatesi in alcune zone del rilievo, alla differente proiezione, a deformazioni dovute a problemi di conservazione e ad errori di rappresentazione⁹ (Fig.2).

5. L'elaborazione di tematismi vettoriali

Le fasi di lavoro precedenti rappresentano i momenti più delicati da cui dipende gran parte del risultato finale. Al contrario la conversione in formato vettoriale delle informazioni riportate nel catasto è un'operazione tecnicamente semplice ma estremamente dispersiva in termini di tempo.

Il metodo più semplice per generare tematismi vettoriali è il disegno a monitor di ogni singola particella e parallelamente l'assegnazione in tabella del numero corrispondente.

Le prime esperienze condotte secondo questa procedura mostrarono chiaramente che il sistema era molto efficace ma eccessivamente lungo. Nel corso del progetto sulla comunità di Murlo abbiamo sperimentato una soluzione alternativa che possiamo riassumere in: lucidatura su poliestere delle sezioni, acquisizione a scanner dei lucidi, georeferenziazione tramite funzione polinomiale lineare, conversione automatica dal formato raster a vettoriale con il software ArcInfo (ESRI)¹⁰. Da subito sono emersi una serie di limiti che hanno determinato l'insuccesso di questa prassi. In primo luogo vi era la difficoltà da parte dei software in commercio di riconoscere, nella conversione automatica da raster a vettoriale, linee parallele poste a distanze molto ridotte o poligoni di piccole dimensioni quali sono in particolare gli edifici. Per superare questi problemi era necessario procedere al controllo sistematico di ogni mappa con un incremento significativo dei tempi di lavoro. Inoltre essendo il catasto finalizzato alla definizione del reticolo particellare elementi quali strade, fiumi e fossi risultavano nell'elaborato finale come vuoti di informazione ed era quindi necessario digitalizzarli a monitor su un tematismo separato.

Insoddisfatti di questa procedura abbiamo concluso il lavoro secondo il metodo adottato nella fase iniziale che come abbiamo visto comporta la scansione dell'eliocopia, la georeferenziazione ed infine la vettorializzazione a monitor del reticolo particellare con l'assegnazione dell'identificatore in tabella, della viabilità e dalla rete idrografica sfruttando i *tools* del software ArcView GIS (Fig.1).

Parallelamente alle operazioni condotte sui supporti cartacei sono state trascritte su un foglio elettronico le indicazioni contenute nelle tavole indicative e relative ogni singola particella: nome del proprietario, destinazione d'uso del suolo, superficie in braccia quadrate (Fig.1).

L'unione delle informazioni trascritte dalle tavole indicative con la tabella del GIS costituisce tecnicamente l'ultimo passaggio.

⁸ Per le operazioni di georeferenziazione abbiamo utilizzato il software ErMapper 6.1.

⁹ Da non trascurare vi è inoltre l'eventuale presenza di errori nella cartografia contemporanea adottata come base di riferimento.

¹⁰ Per effettuare alcuni di questi passaggi è stato indispensabile fare riferimento agli strumenti e al *know-how* messi a disposizione dal Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università di Siena. Cogliamo l'occasione per ringraziare il professori Luigi Carmignani e Pier Lorenzo Fantozzi per la collaborazione e i preziosi consigli.

6. Consultazione ed analisi della cartografia catastale Leopoldina nei formati *vector* e *grid*

Il prodotto finale della Comunità di Murlo consiste in una rete di 4913 particelle cui corrisponde una tabella in cui sono contenute le rispettive informazioni per ogni poligono¹¹.

A differenza del prodotto raster la consultazione dei dati qualitativi e quantitativi del Catasto può avvenire direttamente, tramite l'interrogazione di ogni particella, raggruppando i poligoni in classi o facendo interagire i dati con altre basi cartografiche attraverso i *tools* di analisi statistica disponibili nei vari applicativi (Fig.3).

Per procedere ad analisi statistiche e confronti quantitativi con la situazione attuale, i GIS di tipo *raster* rappresentano una valida soluzione. Nel nostro caso l'obiettivo generale dell'analisi è stato orientato alla misurazione dei cambiamenti intervenuti nell'uso del suolo del comune di Murlo (SI) tra il periodo della realizzazione del Catasto Leopoldino e il periodo attuale. Per questo motivo si è deciso di procedere alla costruzione di due piani *grid* a partire dai *layer* vettoriali contenenti le due classi in questione. Segnaliamo che le due classi non sono corrispondenti nel senso che la vegetazione attuale presenta tipologie vegetazionali più ampie e varie rispetto a quanto indicato nel Catasto Leopoldino.

I piani *grid* presentano notevoli vantaggi per le procedure d'analisi rispetto ai piani vettoriali in quanto rappresentano la realtà attraverso la suddivisione dello spazio in sottoinsiemi regolari (il *pixel* assume di norma una forma quadrata) che consentono una migliore e più agevole manipolazione del dato statistico. I piani vettoriali, al contrario, rappresentano la realtà attraverso insiemi spaziali eterogenei che per potere essere analizzati statisticamente devono essere suddivisi in piccole frazioni di uguali dimensioni. Per le operazioni più semplici è sufficiente fare riferimento all'area in metri quadrati. Nel caso di procedure quantitative più avanzate si rende necessario la frammentazione reale in un piano cartografico di tipo *raster*.

Il formato *grid* invece supera il semplice concetto connesso al formato *raster*. Al suo interno possono essere immagazzinati qualsiasi tipologia d'informazione: dati alfanumerici, scale nominali, numeri interi o numeri in virgola mobile a 64 bit in formato IEEE. Il piano *grid* inoltre permette l'incorporazione di elementi geometrici diversi all'interno di un'unica tipologia o formato. Ciò significa che il formato *grid* permette l'integrazione e di conseguenza l'analisi contemporanea di poligoni, linee e punti.

I piani vettoriali della vegetazione attuale e del periodo Leopoldino sono stati convertiti in file *grid* con passo di campionamento di 10 metri per pixel. Anche se i due piani contengono valori numerici indicanti la classe, essi esprimono esclusivamente una scala di tipo nominale. L'ordine dei numeri non indica alcuna qualità degli oggetti rappresentati. Successivamente sono state realizzate tutte le operazioni relative alla predisposizione spaziale dei due piani. In altre parole, i due piani devono coprire la stessa area con un numero identico di pixels. Infine, i due piani informativi sono stati confrontati attraverso con il comando *tabulate areas* del software Spatial Analyst 2.0 (ArcView-ESRI). Questo comando permette la produzione di una matrice costituita da caselle indicate il numero di ettari corrispondenti in passato (Leopoldino) alla classe sull'asse orizzontale e quella odierna sull'asse verticale¹².

Bibliografia

BAIOCCHI, LELO, *Georeferenziazione di cartografie storiche in ambiente GIS e loro verifica mediante rilievi GPS*, Atti del VI Convegno Nazionale ASITA, Milano 2002.

BALLETTI C., *Analytical and quantitative methods for the analysis of the geometrical content of historical cartography*, in "International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing", XXXIII, part B5, Amsterdam 2000.

D'AGATA, PELFINI M., DIOLAIUTI G., SMIRAGLIA C., *I GIS come strumento di analisi della cartografia storica per lo studio delle variazioni areali dei ghiacciai alpini. L'esempio del ghiacciaio dei Forni (Apli Centrali)*, Atti del VI Convegno Nazionale ASITA, Milano 2002.

¹¹ La stringa di identificazione è composta dalla comunità di appartenenza, nel caso di Murlo abbreviata con la sigla "MUR", dalla lettera della sezione e dal numero della particella catastale.

¹² Il procedimento informatico e l'analisi dei dati è stata condotta dal Dott. Giancarlo Macchi. I risultati analitici e considerazioni sull'evoluzione storico-paesaggistica del comune di Murlo (SI) sono esposte nel contributo di Claudio Greppi nel presente volume.

GUERRA F., *2W: New technologies for the georeferenced visualisation of historic cartography*, in “International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing”, XXXIII, part B5, Amsterdam 2000.

KNOWLES A.K. (a cura di), *Past time, past place. GIS for history*, ESRI Press, Redlands 2002.

LILLESAND, KIEFER, *Remote Sensing and image interpretation*, New York 1994.

PANJEK A., BORRUSO G, *Carte storiche tematiche georiferite per la storia del territorio*, Atti del VI Convegno Nazionale ASITA, Milano 2002.

ROMBAI L., P. *Giovanni Inghirami. Astronomo, geodeta e cartografo “L’illustrazione geografica della Toscana”*, Osservatorio Ximeniano, Firenze 1989.

RUMSEY D., WILLIAMS M., *Historical maps in GIS*, in *Past time, past place. GIS for history*, a cura di A.K. KNOWLES, ESRI Press, Redlands 2002, pp.1-18.