

La georeferenziazione delle mappe catastali della Regione Friuli Venezia Giulia nel sistema cartografico regionale

Massimiliano Basso (*), Sara Battano (*), Alberto Beinat (**), Stefano bentos (*),
Fabio Crosilla (**), Michela Furlan, (*) Mario Ghiaini (***), Giovanni Picech (*),
Roberto Piuazzo (*), Emiliano Sossai (**), Lorenzo Tommasoni (***)

(*) Insiel S.p.A, via Umago 15, 33100 Udine, tel. 0432 557111, fax 0432 557200

(**)Università di Udine, Dipartimento di Georisorse e Territorio, via Cottonificio 114, 33100 Udine, tel. 0432 558702.

(***) Regione Friuli Venezia Giulia, Servizio Sistema Informativo Territoriale e Cartografia, via Giulia 75/1, 34126 Trieste, tel. 040 3774062, fax 040 3774136, 040 3774110.

Riassunto

L'articolo illustra l'attività svolta dalla Regione Friuli Venezia Giulia per georeferenziare le mappe catastali del proprio territorio nel sistema cartografico regionale. Il metodo scelto stima i parametri di trasformazione per ogni singolo foglio catastale considerando coppie di punti omologhi con coordinate note in entrambi i sistemi di riferimento, coppie di punti corrispondenti sul confine di fogli adiacenti, e infine un insieme di punti fiduciali le cui coordinate sono state rideterminate nell'ambito del progetto di ricomposizione della rete fiduciale regionale.

Abstract

The paper illustrates the activity carried out by the Friuli Venezia Giulia Region to georeference the cadastral maps of its territory into the regional cartographic system. The chosen method estimates the transformation parameters for every single cadastral sheet map on the basis of couples of corresponding points with known coordinates in both cartographic systems, couples of corresponding points on boundaries of contiguous maps, and finally a set of fiducial points whose coordinates had been estimated within the regional fiducial network recomposition project.

Introduzione

La Regione Friuli Venezia Giulia ha emanato il 23 febbraio 2007 la legge 23, che tratta i temi dell'urbanistica e dell'attività edilizia e del paesaggio – temi nei quali la cartografia assume un ruolo fondamentale per una ottimale interpretazione e gestione del territorio. In questo contesto è importante disporre di basi di dati cartografici congruenti, la cui integrazione costituisca il supporto decisionale per i pianificatori; in particolare, la legge prevede “l'utilizzo congiunto delle basi cartografiche regionali e delle mappe catastali per la rappresentazione geografica degli strumenti di pianificazione comunale”.

La sovrapposizione della cartografia catastale a quella regionale ha sempre costituito un punto critico, a causa del diverso sistema di rappresentazione, della coesistenza di numerosi centri di emanazione locali in Cassini-Soldner in aggiunta ai due principali esistenti in regione, della strutturazione in fogli catastali dai confini non perfettamente congruenti – problemi questi sentiti ancor maggiormente nella zona in cui vige il catasto ex-austriaco – e delle deformazioni della base cartografica intervenute nel tempo.

In quest'ottica è nato il progetto di georeferenziazione in Gauss-Boaga delle oltre 9000 mappe catastali del territorio regionale. Il progetto ha fatto seguito ad una indispensabile serie di attività, svolte nell'ambito del Protocollo d'Intesa stabilito nel 2005 con l'Agenzia del Territorio, che hanno consentito di ottenere una cartografia catastale completamente vettoriale ed aggiornata all'attualità nel sistema di riferimento Cassini-Soldner.

L'approccio

Il metodo convenzionale utilizzato finora per la georeferenziazione della cartografia catastale regionale in Gauss-Boaga consiste nell'applicazione di una procedura per la conversione di coordinate plano-cartografiche (Di Filippo, 1995; 1996) che sfrutta gli elementi sferoidici che caratterizzano i vertici delle geometrie rispetto all'origine catastale e riduce le coordinate a riferimenti gaussiani, opportunamente dedotti dal sistema geodetico nazionale. La presenza di numerose origini locali le cui coordinate nei diversi sistemi di riferimento mancano, o non sono attendibili, rende la procedura insufficiente rispetto alle nuove aspettative dettate dalla legge regionale sull'urbanistica, dato che non sempre garantiscono la necessaria sovrapponibilità delle mappe catastali alla cartografia regionale.

Gli interventi più frequenti adottati in questo senso da professionisti e pubbliche amministrazioni consistono nell'adattare la carta catastale a quella di origine fotogrammetrica, attraverso trasformazioni – normalmente affini a 6 parametri – calcolate in funzione di una serie di punti doppi le cui coordinate sono estratte direttamente dalle rappresentazioni cartografiche (ad esempio: Brovelli e Zamboni, 2004) oppure appartengono ad una rete di inquadramento determinata topograficamente (Bernabino et al., 2005). Il gruppo di topografia dell'Università di Udine ha sviluppato invece un metodo di ricomposizione cartografica particellare (Beinat e Crosilla, 2002; 2003) che cerca la congruenza della carta catastale numerica mediante l'uso, quasi esclusivo, di dati geometrici ad essa omogenei, quali particelle digitalizzate, rilievi PREGEO, poligoni fiduciali misurati in campagna: dati già presenti nel sistema informativo dell'Agenzia del Territorio. L'idea fondamentale alla base di tale metodo è considerare le varie entità catastali (particelle o loro insiemi) come tessere rigide di un mosaico da ricollocare nel piano della carta in modo da realizzare un tessuto cartografico coerente con la realtà.

Sulla base di considerazioni di natura tecnica e finanziaria, dei dati disponibili da parte dell'Agenzia del Territorio e dei tempi di attuazione, la Regione Friuli Venezia Giulia ha deciso di adottare una soluzione intermedia, in cui l'elemento di lavoro su cui opera la ricomposizione non è la singola particella ma l'intero foglio di mappa. Questa impostazione permette di attuare al meglio i seguenti criteri:

- replicabilità della procedura: la georeferenziazione deve poter essere automaticamente applicata alla singola mappa ad ogni aggiornamento dei dati catastali;
- minimizzazione delle deformazioni della cartografia catastale “trasformata”: il supporto ottenuto deve essere quanto più possibile congruente con quello originale in Cassini-Soldner, tenendo conto in particolare del limite del 5% previsto dai capitoli dell'Agenzia del Territorio per la modifica di una mappa senza necessità di ripubblicazione;
- “mosaicatura” dei fogli catastali: le incongruenze presenti sui bordi esterni delle mappe devono essere ridotte il più possibile, tendenzialmente entro l'errore di graficismo “nominale” della Carta Tecnica Regionale Numerica 1:5000.

Il metodo adottato in base ai test effettuati esegue la ricomposizione della cartografia catastale stimando i parametri generali di trasformazione – di ogni singola mappa – sulla base di:

- coppie di punti omologhi individuati tra la mappa catastale e la carta tecnica;
- coppie di punti “di legame” individuati sui confini di fogli adiacenti: il vincolo imposto da questi vertici consente da un lato di stimare i parametri di trasformazione anche con un numero insufficiente di punti omologhi, dall'altro di “legare” tra loro i fogli trasformati minimizzando le reciproche incongruenze;
- punti fiduciali le cui coordinate sono state rideterminate nell'ambito del progetto di ricomposizione della rete fiduciale della Regione Friuli Venezia Giulia.

La procedura

La prima fase consiste nell'individuare le coppie di punti omologhi tra mappa catastale e carta tecnica, e viene condotta mediante l'ausilio di un applicativo basato sulla piattaforma AutoCAD . Il software assiste l'operatore nella ricerca delle corrispondenze, utilizzando la carta tecnica come

sfondo sul quale sovrapporre la mappa catastale, che viene traslata, ruotata e scalata mediante una trasformazione conforme i cui parametri si modificano man mano che vengono aggiunte coppie di punti corrispondenti. La procedura di calcolo dei parametri di trasformazione prevede un centinaio di punti doppi per foglio. Tale numero è stato scelto sperimentalmente, considerando che la quantità di corrispondenze deve consentire una ottimale distribuzione dei punti sulla superficie del foglio senza appesantire l'onere computazionale. Dagli esiti delle prove preliminari si è deciso di scartare la possibilità di eseguire una ricerca automatica dei punti omologhi: questa operazione genera un numero eccessivamente elevato – sovradimensionato rispetto al problema – di corrispondenze, che vanno comunque verificate dall'operatore per eliminare gli inevitabili errori grossolani.

La ricerca assistita delle coppie di punti doppi costituisce quindi un passaggio cruciale, nel quale occorre tenere presente alcune importanti considerazioni. Innanzitutto bisogna ricordare che carta catastale e carta tecnica rappresentano tematismi diversi, a causa del differente scopo per il quale sono state create: la prima descrive la proprietà, la seconda la morfologia del territorio; inoltre le due cartografie sono state realizzate in epoche differenti, con metodologie e precisioni diverse.

Queste differenze sono evidenti soprattutto nella rappresentazione dei fabbricati: secondo la linea di gronda nella carta tecnica, in base al perimetro delle murature esterne nella mappa catastale. La conseguenza di tale situazione è che, a rigore, non possono esistere reali corrispondenze tra gli spigoli degli edifici nelle due cartografie, salvo in casi particolari come ad esempio alcuni edifici industriali. Tuttavia le prove effettuate in fase di sperimentazione hanno dimostrato che gli errori commessi utilizzando tali corrispondenze si compensano su un numero sufficientemente elevato di punti – posto che l'operatore deve lavorare evitando dannosi sistematismi nella scelta dei punti, come ad esempio considerare sempre lo spigolo nord dei fabbricati. Le corrispondenze vanno scelte in maniera ponderata, cercando le situazioni più favorevoli ma allo stesso tempo tracciando una distribuzione il più possibile omogenea, compatibilmente con la presenza di punti riconoscibili.

La seconda fase consiste nel riconoscimento dei punti di "legame", rappresentati dai vertici comuni disposti ai bordi di due mappe catastali contigue, e viene anch'essa condotta mediante l'ausilio di un applicativo sviluppato su base AutoCAD™. In questo caso si lavora per coppie di fogli in cui uno dei due viene utilizzato come foglio di riferimento al quale accostare l'altro mediante una trasformazione conforme calcolata iterativamente in base alle coppie di punti scelti. Al riguardo, dopo l'individuazione di almeno due coppie di punti corrispondenti, il software consente di effettuare la ricerca automatica delle altre, specificando il raggio di ricerca e la tolleranza. Per la risoluzione delle corrispondenze è stato implementato un metodo iterativo liberamente ispirato all'algoritmo EM con assegnamento flessibile (Luo e Hancock, 2002), impostando la ricerca come un problema di allineamento di configurazioni prive di struttura topologica e di informazioni semantiche. L'opzione di ricerca automatica consente di velocizzare notevolmente i tempi di lavorazione, nonostante sia comunque imprescindibile una verifica dei risultati.

Questa fase risulta più immediata rispetto a quella per il riconoscimento dei punti omologhi sulla carta tecnica, in quanto generalmente non dà adito a problemi di interpretazione salvo eccezioni, come ad esempio al confine tra fogli appartenenti a sezioni censuarie diverse, o con scala di rappresentazione diversa – tipicamente, sviluppi e allegati rispetto al foglio madre – o ancora nel caso di parziali sovrapposizioni presenti tra un foglio e l'altro.

Una volta individuati i punti doppi e di legame per tutti i fogli di un comune, un ulteriore modulo software permette di passare alla terza fase, ossia il calcolo dei parametri di trasformazione. Il programma importa innanzitutto le informazioni geometriche catastali, riassunte in particolari file di tipo ASCII realizzati con apposita procedura a partire dai più noti file catastali CXF. L'insieme delle informazioni contenute in questi file compone la configurazione – o centroide – del foglio di mappa. In secondo luogo il programma importa i punti doppi e di legame individuati nelle fasi precedenti e strutturati in appositi file ASCII, ed infine i Punti Fiduciali, anch'essi elencati in file ASCII contenenti gli identificativi dei punti, opportunamente codificati, e le coordinate cartografiche rideterminate mediante misura diretta o per compensazione della rete fiduciale. A differenza delle altre corrispondenze, individuate e controllate a monte, quelle dei Punti Fiduciali

vengono risolte dal programma stesso grazie al confronto degli identificativi. Per evitare la presenza di errori grossolani, in fase di importazione viene eseguito un controllo secondo un criterio geometrico-statistico basato sulla mutua distanza tra punti, al fine di individuare la presenza di eventuali *outliers*. Una volta importate tutte le informazioni necessarie, il programma esegue una verifica di congruenza, controllando che le corrispondenze individuate rispettino il modello di funzione biettiva, e suggerisce il tipo di trasformazione più idoneo da applicare a ciascun foglio, in base al numero e al tipo di corrispondenze. È sempre possibile cambiare il tipo di trasformazione da applicare a ciascun foglio, escluderne alcuni dalla ricomposizione, o anche considerarne uno come fisso: quest'ultimo verrà trasformato in base ai propri punti doppi e non sarà più modificato durante il processo di ricomposizione, costituendo un vincolo vero e proprio. Le trasformazioni possibili sono: roto-traslazione (3 parametri), conforme (4 parametri) e affine (6 parametri); se il numero complessivo di corrispondenze per un foglio è insufficiente, questo viene automaticamente escluso dal processo di ricomposizione. Prima di effettuare la ricomposizione definitiva, il programma esegue l'inquadramento dei fogli di mappa, cioè determina un insieme di parametri di trasformazione che permette di trasferire, seppur in maniera grossolana, le informazioni catastali dal datum originale a quello di destinazione. Questa fase è indispensabile affinché i punti doppi svolgano correttamente la loro funzione di vincolo durante il processo di compensazione. Terminato l'inquadramento, è possibile procedere alla ricomposizione: ciascun foglio viene trasformato, in base alle impostazioni effettuate, in modo da adattarsi al meglio, secondo il principio dei minimi quadrati, non solo ai vincoli rappresentati dai punti doppi, ma anche ai fogli adiacenti attraverso i punti di legame; in questa fase è possibile assegnare un peso diverso alle varie tipologie di punti omologhi. Il processo viene iterato sino a convergenza. Un confronto tra le configurazioni prima dell'inquadramento e dopo la ricomposizione consente la determinazione dei parametri ottimali di trasformazione.

Nella fase finale, i parametri così calcolati vengono utilizzati all'interno di due applicativi per la conversione dei dati cartografici da Cassini-Soldner a Gauss-Boaga e per l'analisi statistica dei risultati della trasformazione. I due database prodotti permettono di eseguire in ambiente GIS il controllo *a posteriori* sulla scelta delle coppie di punti omologhi e dei punti di legame – in particolare sulla loro correttezza e distribuzione spaziale – e la verifica dei risultati della trasformazione. Queste operazioni vengono svolte sia in modo visuale, sovrapponendo le geometrie catastali trasformate alla carta tecnica, sia con il supporto di informazioni statistiche: scarto medio, minimo e massimo dei punti omologhi; distanza media, minima e massima dei punti di legame prima e dopo la trasformazione; deformazione superficiale dei fogli.

Tutti i parametri sono archiviati e possono essere riutilizzati ad ogni nuovo aggiornamento dei dati catastali.

Lo stato di avanzamento dei lavori

La procedura è stata impiegata in una fase iniziale di sperimentazione che ha coinvolto una decina di comuni della Regione Friuli Venezia Giulia. Visti i risultati positivi, l'attività è stata estesa a tutto il territorio regionale. Ad oggi sono stati completati tutti i comuni che ricadono sotto il catasto cosiddetto "ex-austriaco" (province di Gorizia e Trieste e alcuni comuni della provincia di Udine), e parte dei rimanenti che ricadono sotto il catasto "italiano", per un numero complessivo di 107 comuni, 4514 mappe, e circa 250.300 punti doppi e 153.500 punti di legame identificati. Si prevede di concludere i lavori, completando i 218 comuni della Regione, per gennaio 2010.

Come è facile intuire, l'operazione di riconoscimento dei punti omologhi risulta essere la più critica e dispendiosa, sia a causa della quantità di elementi da individuare, sia a causa delle difficoltà di interpretazione e di reperimento di vertici adatti, in particolare all'interno di fogli poco o affatto urbanizzati nei comuni delle aree montane e del Carso. La presenza dei punti di legame consente la georeferenziazione di una mappa anche in assenza di punti omologhi, tuttavia è consigliabile individuarne almeno 4-5, soprattutto nei fogli sul confine comunale sui quali potrebbero trasferirsi eccessive deformazioni.

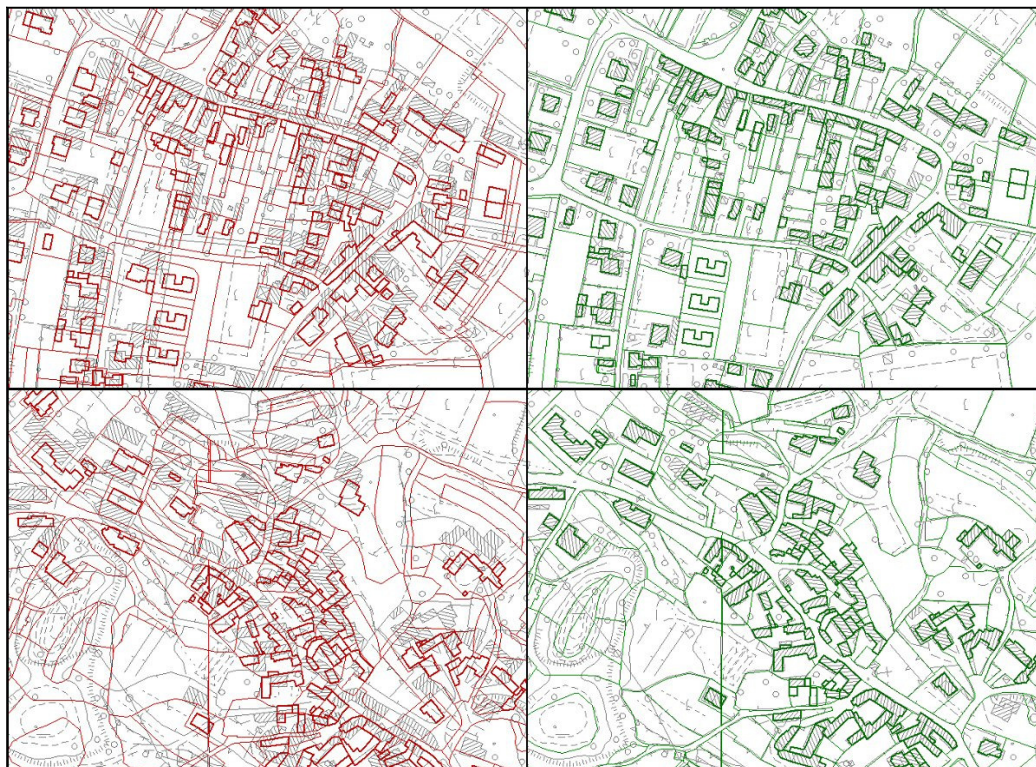


Figura 1. Sovrapposizione tra cartografia catastale e CTRN nei comuni di Pordenone (in alto) e Sgonico (in basso) dopo georeferenziazione in Gauss-Boaga con procedura convenzionale (a sinistra) e mediante ricomposizione dei fogli di mappa (a destra).

La tabella che segue riporta i dati statistici complessivi relativi ai comuni finora elaborati. Si può notare come gli scarti quadratici medi ottenuti con la ricomposizione siano inferiori a 2 metri, anche se peggiorano in una certa misura nella zona in cui vige il sistema tavolare. Questa prevedibile diversità tra i due sistemi catastali è giustificabile con le origini storiche e le differenti caratteristiche delle rispettive cartografie. Invece, in entrambi i casi è particolarmente evidente l'avvicinamento dei punti corrispondenti situati sui bordi dei fogli, ottenuto con la ricomposizione. La "mosaicatura" delle mappe viene quindi realizzata anche in quei comuni che presentano addirittura un sistema di coordinate diverso per ogni foglio. Oltre a questo livello, per annullare le discrepanze residue e creare un effettivo continuo cartografico è necessario modificare la geometria delle particelle adiacenti al confine dei fogli.

I valori di deformazione areale sono ben al di sotto del limite del 5% indicato dall'Agenzia del Territorio oltre il quale è richiesta la ripubblicazione del foglio di mappa.

ZONA CATASTO ITALIANO				ZONA CATASTO "EX-AUSTRIACO"			
SQM	DIST MEDIA ORIG	DIST MEDIA TRASF	DEF MEDIA (%)	SQM	DIST MEDIA ORIG	DIST MEDIA TRASF	DEF MEDIA (%)
1.052	4.402	1.382	0.13	1.688	11.511	1.732	1.68

Tabella 2. Dati statistici complessivi relativi ai comuni finora elaborati.

Conclusioni

Grazie a questo progetto, che verrà concluso a breve, tutte le amministrazioni locali della Regione Friuli Venezia Giulia avranno a disposizione per le loro attività di pianificazione territoriale una base cartografica catastale vettoriale, pressoché continua, allineabile alla cartografia tecnica regionale, facilmente aggiornabile all'arrivo di nuovi dati, e comunque conforme a quella originale gestita dall'Agenzia del Territorio.

La naturale evoluzione di questo progetto consisterà nel raggiungimento di una cartografia catastale rispondente alle specifiche INSPIRE e nella sperimentazione di procedure adeguate per la realizzazione del continuum cartografico catastale integrale.

Ringraziamenti

Si ringraziano tutti coloro che con il loro lavoro hanno contribuito alla buona riuscita del progetto: in particolare Fulvio Nodari, Tomaz Spacapan, Flavia Seculin, Lorena Tessaro, Marco Driutti, Alberto Landri, Barbara Picchio e Francesco LoMoro.

Bibliografia

- Beinat A., Crosilla F. (2002), "Una proposta innovativa per la ricomposizione cartografica del catasto", *Atti VI Conf. Nazionale ASITA*, Perugia, 5-8 novembre.
- Beinat A., Clerici A., Crosilla F. (2002), "Prime sperimentazioni di una proposta innovativa per la ricomposizione cartografica del catasto", *Atti VI Conf. Nazionale ASITA*, Perugia, 5-8 novembre.
- Beinat A., Crosilla F., Sossai E. (2005), "Ricomposizione particellare conforme della cartografia catastale numerica", *Atti L Conv. Nazionale Sifet*, Palermo 29 giugno - 1 luglio.
- Beinat A., Crosilla F., Sossai E. (2005), "Un metodo particellare per l'aggiornamento progressivo della cartografia catastale", *Atti IX Conf. Nazionale ASITA*, Catania 15-18 novembre.
- Bernabino F., Caione S., Di Iasio A., Pirrello G. (2005), "L'integrazione tra la cartografia catastale e la carta tecnica della Città di Torino", *Atti IX Conf. Nazionale ASITA*, Catania 15-18 novembre.
- Brovelli M. A., Zamboni G. (2004) "Integrazione di basi cartografiche su grandi aree", *Bollettino SIFET*, 4: 11-31.
- Di Filippo S. (1995; 1996), "Sulla trasformazione delle coordinate plano-cartografiche dalla rappresentazione di Cassini-Soldner alla rappresentazione di Gauss-Boaga e viceversa", *Rivista del Dipartimento del Territorio*, n.3/1995 e n.1/1996.
- Lavarini L. (2005), "Un metodo evolutivo per l'aggiornamento della cartografia catastale numerica", *Tesi di laurea*, Università di Udine, A.A. 2004-2005.
- Luo B., Hancock E. R. (2002), "Iterative Procrustes alignment with the EM algorithm" *Image and Vision Computing* 20, 377-396.
- Sossai E. (2006) "Ricomposizione cartografica mediante integrazione di rilievi Pregeo e di Cartografia Numerica esistente", *Atti 10a Conferenza nazionale ASITA*, Bolzano 14-17 novembre 2006.