

UN METODO PARTICELLARE PER L'AGGIORNAMENTO PROGRESSIVO DELLA CARTOGRAFIA CATASTALE

Alberto Beinat, Fabio Crosilla, Emiliano Sossai

Dipartimento di Georisorse e Territorio, Università di Udine, via Cottonificio 114 - 33100 UDINE
tel. 0432 558702, fax 0432 558700, e-mail: alberto.beinat @uniud.it; interreg.cart @uniud.it

Riassunto*

Alcune porzioni significative della cartografia catastale hanno subito nel tempo un deterioramento geometrico, variamente distribuito e imputabile a molteplici fattori, evidenziato dal raffronto con la realtà odierna e con altri prodotti cartografici recenti. Nel contempo si è accumulata una consistente banca dati di elementi cartografici catastali, di precisione generalmente buona, rilevati direttamente sul terreno dai professionisti, e impiegabile efficacemente per aggiornare la cartografia catastale.

Da queste premesse gli autori hanno tratto lo spunto per sviluppare un metodo sperimentale innovativo, basato su tecniche di morfometria procustiana, per effettuare la ricomposizione cartografica delle particelle catastali, mutuando l'esperienza sviluppata nella compensazione delle reti fiduciali. L'idea di base è quella di considerare la mappa catastale come un mosaico, ossia una partizione geometrica, i cui elementi sono assimilabili alle singole particelle. La procedura proposta individua la mosaicatura ottimale, mediante adattamento conforme ai minimi quadrati, tra le preesistenti entità geometriche presenti in mappa, ed i nuovi rilievi di aggiornamento memorizzati nel sistema Pregeo. L'aggiornamento della carta avviene introducendovi progressivamente i nuovi rilievi "esatti" in sostituzione di quelli preesistenti, e procedendo quindi a un riadattamento conforme a minimi quadrati di tutti gli elementi nuovi e di quelli vecchi rimanenti. L'adattamento opera in maniera da rispettare la forma di tutte le particelle, permettendo solo traslazioni, rotazioni e residue riscalature delle stesse, distribuendo però le eventuali deformazioni prevalentemente tra gli elementi originali della carta.

Ne deriva un processo di ricomposizione particellare globale e simultaneo: l'adattamento non avviene solo localmente ma coinvolge estese porzioni della carta, ed interessa contemporaneamente entità geometriche vecchie e nuove. L'affinamento della precisione della mappa avviene in modo progressivo, man mano procede la sostituzione degli elementi preesistenti con quelli nuovi.

Il lavoro illustra le caratteristiche essenziali del metodo, ed espone gli esiti delle sperimentazioni condotte su esempi simulati. Tali prove hanno evidenziato un andamento virtuoso dei risultati: progressive introduzioni di particelle aggiornate portano a una cospicua riduzione dell'errore di stima delle coordinate dei vertici compensati; l'effetto migliorativo non si limita alle zone interessate dal rilievo ma si propaga in tutta l'area oggetto di mosaicatura.

Abstract

In the past, for different reasons, various parts of the cadastral map came across a geometrical detriment, variably distributed, revealed by the comparison with today situation or with other recent cartography. At the same time, a huge amount of cadastral map updates in numerical form was collected by the Cadastre Administration. This geometric information, directly coming from the professionals' field surveys, being effective and having generally good metric correctness, can be

* La ricerca rientra nell'ambito delle attività previste dal progetto INTERREG IIIA Phare/CBC Italia-Slovenia "Ricomposizione della cartografia catastale e integrazione della cartografia tecnica regionale numerica per i sistemi informativi territoriali degli enti locali mediante sperimentazione di nuove tecnologie di rilevamento" svolto dall'Università di Udine in collaborazione con il Geodetski Inštitut Slovenije di Lubiana.

efficiently utilised to update and to improve the accuracy of the cadastral map. From these basis, the authors started developing an innovative method for the cadastral map parcels updating, based on Procrustes morphometrics algorithms, employing the knowledge developed for the fiducial point network reassembling. The basic idea is to consider the cadastral map as a mosaic of disaggregated and independent elements: the parcels. The proposed procedure performs the optimal assembling of the individual parcels by way of a least squares conformal adjustment, merging the new map entities, directly surveyed in the field, with the old ones extracted from the digital map. The map update is performed by progressively substituting the “old” parcels with the “new” ones, more accurate and actual, and by adjusting all the elements together, after assigning a proper weight to all of them. The conformal realignment aims at preserving the form of the parcels, by letting only translations, rotations and residual scaling among them, but distributing the possible residuals mainly on the “old” elements of the map. The major effect is a global and simultaneous map parcel reassembling. The parcel fit, in fact, is not only local but it propagates to the surrounding areas of the map, involving new and old geometric entities. In this way, the map accuracy progressively increases as the substitution of the old parcel geometries with the new ones goes on. The paper recalls the basics of the method, and shows some of the results obtained on simulated examples. The tests performed prove the increasing efficacy of the method, furthermore they show how the progressing introduction of updated parcels lead to a significant mitigation of the errors in the estimates of the adjusted vertex coordinates of the whole map.

Introduzione

L'impiego congiunto di carte tecniche numeriche, ortofoto digitali e carte catastali, nella progettazione urbanistica, civile e stradale, e nelle attività di gestione del territorio da parte degli enti preposti, richiederebbe supporti cartografici precisi, aggiornati e geometricamente congruenti tra loro. Nella pratica si presenta spesso la situazione opposta: malgrado la rimozione delle diversità sistematiche legate alle diverse proiezioni impiegate, restano spesso incongruenze non trascurabili tra le varie cartografie numeriche; questi inconvenienti sono dovuti in molti casi alla disuniforme qualità delle carte catastali. La maggioranza di queste è frutto della digitalizzazione di supporti cartacei non originali, deformati dal tempo e dall'uso, contenenti aggiornamenti (ad es. i fabbricati) tracciati talvolta accuratamente altre volte in maniera speditiva, secondo le necessità del momento. Si tratta di una questione nota da tempo, che continua a indurre professionisti e amministrazioni pubbliche a porvi rimedio adottando soluzioni eterogenee. Gli interventi più frequenti per rendere congruenti le varie cartografie operano mediante trasformazioni geometriche, in genere non-conformi, tra i diversi sistemi di riferimento, i cui parametri sono determinati sulla base di una serie di punti omologhi estratti dalle corrispondenti rappresentazioni (ad es. Brovelli e Zamboni, 2004) o misurati topograficamente sul terreno. Oltre alle finalità e ai contenuti alquanto dissimili tra la carta tecnica e quella catastale, che rendono difficile la ricerca di elementi esatti di corrispondenza tra i due prodotti, si aggiunge a volte l'elevato onere delle verifiche e dei rilievi topografici sul terreno. In molti casi questo approccio non costituisce ancora la soluzione definitiva.

In questo quadro, da alcuni anni il gruppo di ricerca di topografia dell'Università di Udine sta sviluppando un metodo di ricomposizione cartografica originale e innovativo (Beinat e Crosilla, 2002; 2003), già sperimentato per la compensazione delle reti di punti fiduciali con esiti sempre favorevoli. A differenza delle altre proposte, che ricercano ad es. la sovrapponibilità cartografica adattando in vari modi la cartografia catastale alle altre cartografie, nel metodo sviluppato la piena congruenza è conseguenza diretta della sola elaborazione di dati cartografici catastali già disponibili nel sistema informativo dell'Agenzia del Territorio.

I fondamenti della ricomposizione cartografica procustiana

Come impostazione, il metodo considera la carta catastale numerica assimilabile a un mosaico di elementi geometrici irregolari e indipendenti, coincidenti in prima approssimazione con le singole particelle o con aggregati limitati di queste. Per generare integralmente una carta, la descrizione

analitica delle varie tessere componenti è tratta, di preferenza, dagli elaborati tecnici Pregeo prodotti dai professionisti, a seguito dei rilievi topografici di verifica o di aggiornamento da essi compiuti. Nel caso tali rilievi non siano sufficienti a riprodurre *ex novo* l'intera cartografia, gli elementi mancanti vengono estratti provvisoriamente dalla cartografia originale. Questa opzione è valida nel transitorio, infatti, non appena un nuovo elemento cartografico si rende disponibile, questo va a sostituire quello d'origine.

La creazione della carta catastale avviene ricomponendo in maniera ottimale tutti gli elementi descritti. Mediante un algoritmo di compensazione, basato sulle tecniche dell'analisi procustiana generalizzata (Goodall, 1991; Dryden e Mardia, 1998), si effettua il miglior adattamento reciproco conforme, ai minimi quadrati, dei vari rilievi locali e degli elementi pre-esistenti al fine di ricreare un tessuto cartografico nuovo o quanto meno rinnovato. L'intero processo si realizza per fasi, ognuna delle quali genera un risultato cartografico immediatamente fruibile.

Le fasi della ricomposizione cartografica procustiana

Compensazione della rete dei punti fiduciali

Il primo passo serve a definire le coordinate dei vertici della rete fiduciale di inquadramento, esprimendole nel datum definitivo (es. UTM/WGS84). Si procede pertanto alla compensazione della rete fiduciale, secondo il metodo procustiano, vincolandola a un insieme limitato di punti fissi (10%-15% del totale) dedotti dalle monografie catastali o definiti sul terreno mediante GPS.

Questo processo, importantissimo e cruciale, è stato descritto e sperimentato in altre esperienze degli autori (Beinat, Crosilla e Clerici, 2002; Beinat, Crosilla, Furlan e Sossai, 2004; Sossai, 2005). Si sottolinea il fatto che la rete fiduciale viene ridefinita trattando non già le singole distanze tra PF, valutate in maniera disgiunta l'una dall'altra come avviene in una compensazione classica a minimi quadrati (vedi ad es. le esperienze di Conia et al., 1992; Crespi e Reina, 2004), bensì trattando ogni singolo poligono fiduciale nella propria integrità, considerato come entità geometrica non disaggregabile, con vertici interconnessi tra di loro da legami rigidi.

La soluzione che si ottiene ha due importanti conseguenze: innanzi tutto, permette di individuare, stimare e risolvere gli eventuali sistematismi presenti nei dati di partenza; inoltre, preservando la forma delle geometrie coinvolte, evita l'insorgenza di deformazioni anisotrope nel tessuto cartografico e mantiene inalterate le mutue relazioni metriche tra i PF e i rilievi di aggiornamento ad essi riferiti. Una ulteriore verifica sperimentale delle prestazioni rese dalla procedura procustiana, anche rispetto a quella classica, è contenuta negli atti del presente convegno (Sossai; 2005).

Inserimento dei rilievi Pregeo

Definito il datum cartografico come risultato della compensazione e dei punti fiduciali di vincolo, il passo successivo prevede l'inserzione dei rilievi Pregeo all'interno della maglia fiduciale ricomposta. L'operazione è diretta e avviene rototraslando e scalando di una quantità residua i rilievi eseguiti dai professionisti per inserirli all'interno dei poligoni fiduciali rispetto ai quali sono stati originariamente appoggiati. Già al termine di questa fase è possibile apprezzare l'elevata qualità metrica della carta prodotta, anche per raffronto con altri prodotti cartografici di riferimento. Un'esperienza importante in tal senso è stata sviluppata recentemente dagli autori: la Figura 1 riporta come esempio alcuni dei risultati conseguiti (Beinat, Crosilla e Sossai; 2005).

Adattamento degli elementi geometrici

Con questa operazione si procede a compensare le eventuali discrepanze tra elementi adiacenti, e a realizzare l'adattamento conforme tra geometrie nuove e vecchie, nelle parti in cui ciò si renda necessario al fine di colmare le lacune della carta. Nelle zone in cui i rilievi Pregeo coprono tutta la superficie della carta, questa operazione rappresenta la fase terminale dell'intero processo di ricomposizione.

E' evidente che l'efficacia e l'applicabilità del metodo sono strettamente legate alla disponibilità di rilievi d'aggiornamento; va anche detto però che la situazione tende autonomamente nella direzione favorevole. Le aree più interessate a possedere una cartografia aggiornata e precisa sono quelle, in

genere, dove più intensa è l'attività urbanistica ed economica, e questo implica automaticamente una maggiore ed estesa quantità di rilievi Pregego già disponibili. Viceversa, aree di interesse cartografico secondario, caratterizzate da un limitato interesse commerciale ed edilizio, presentano una densità più bassa di rilievi d'aggiornamento. Quanto espresso è già previsto dall'art. 11 del D.M. 28/1998, che prevede precisioni topometriche differenziate della carta catastale, in funzione della conformazione orografica del territorio e della diversa rilevanza urbanistica ed economica dei terreni.

L'obiettivo delle attuali ricerche è quello di governare la situazione transitoria, nella quale si impiegano contenuti della vecchia cartografia per completare le lacune di quella nuova, e analizzare come evolve la geometria di questa mano a mano che i singoli elementi sono sostituiti nel tempo da quelli nuovi ed "esatti". Importante a tal fine è stato comprendere a partire da quale livello di aggiornamento il processo di inserimento non produce più variazioni significative nel tessuto cartografico, ovvero quando la carta progressivamente rielaborata raggiunge la configurazione geometrica stabile e definitiva. I primi esiti di quest'indagine provengono da una ricerca specifica, nella quale questa componente del processo di ricomposizione è stata messa a punto e validata, facendola operare come procedura a sé stante su dati simulati (Lavarini; 2005).

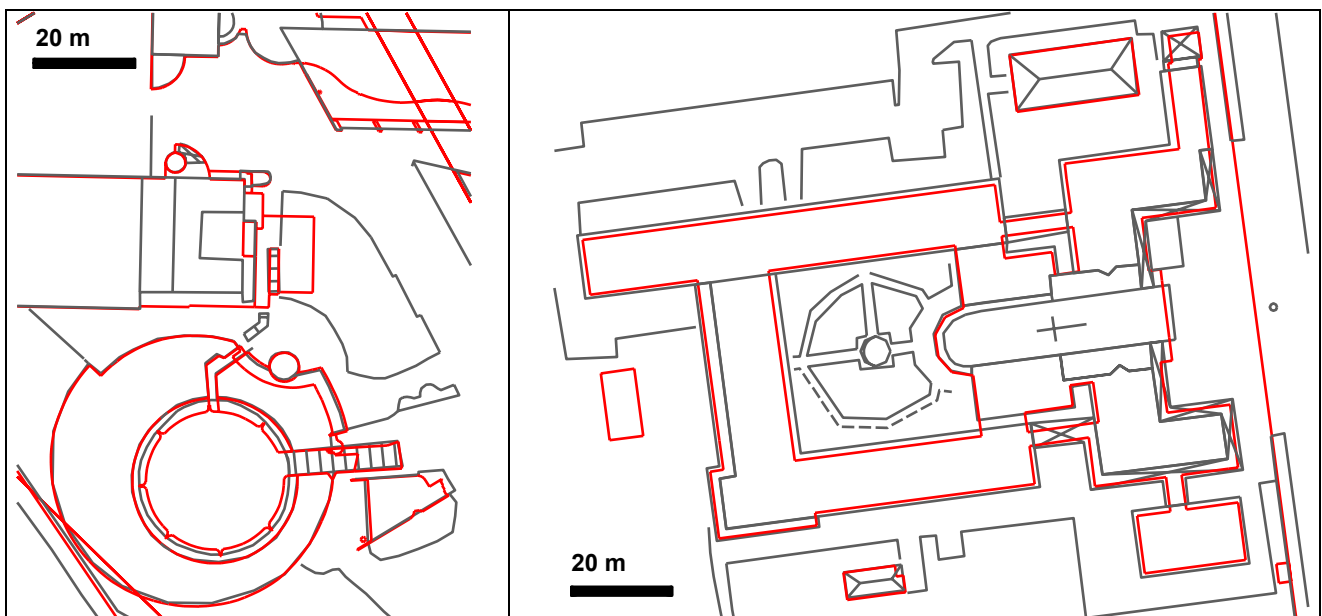


Figura 1 – Rilievi Pregego (in rosso) inseriti nella rete fiduciale ricomposta, e sovrapposizione con i corrispondenti elementi (in nero) della CTRN del Friuli Venezia Giulia

La ricomposizione particellare progressiva

Innanzitutto, è stata sviluppata una procedura matematica per effettuare l'adattamento a minimi quadrati tra configurazioni geometriche di punti (le particelle) tale che:

- le particelle "nuove" possano essere ruotate e traslate in modo conforme nello spazio 2-D della carta al pari delle "vecchie", ma conservando le dimensioni;
- le eventuali deformazioni introdotte dalla compensazione si distribuiscano in prevalenza sulle "vecchie" particelle, tramite riscalatura residuale delle stesse.

E' stato impiegato a tal fine l'algoritmo dell'Analisi Procustiana Generalizzata (GPA), introducendovi gli adattamenti necessari. Nella GPA canonica, si ricerca il miglior adattamento reciproco contemporaneo tra un insieme di configurazioni pesate di punti, mediante un processo iterativo che prevede la trasformazione di similitudine di ogni configurazione per conformarla all'insieme delle altre, fino a convergenza, ovvero, secondo una formulazione alternativa, per adattarla ad una configurazione intermedia incognita ideale (il centroide o *consensus*) che meglio si accorda simultaneamente con tutte le altre.

Le variazioni introdotte al processo iterativo fanno sì che:

- le particelle vecchie si adattano tra di loro e nei confronti di quelle nuove, mediante trasformazioni di similitudine, in cui intervengono traslazioni, rotazioni e riscalature;
- le particelle nuove si adattano alle altre solo per traslazione e rotazione, senza subire variazioni di scala. In questo modo sono in grado di muoversi liberamente nello spazio mantenendo inalterate forma e dimensioni;
- la forma geometrica più probabile della carta (il centroide), ossia l'insieme dei vertici che delimitano i perimetri dei vari oggetti, è calcolato, al termine delle varie fasi della GPA mediante media aritmetica ponderata delle coordinate dei vertici omologhi. Nello specifico, le coordinate dei vertici delle geometrie relative a ipotetici rilievi Pregeo assumono un peso molto elevato.

I dati e la sperimentazione

L'algoritmo è stato messo a punto e applicato a una serie di esempi simulati, su cui si sono riprodotte diverse situazioni di deformazione conoscendo, nel contempo, la soluzione "esatta". Il caso più investigato ha riguardato una carta catastale ideale costituita da 11×11 particelle quadrate adiacenti. Le configurazioni geometriche sperimentali sono state prodotte introducendo errori controllati sulle coordinate di ciascuno dei 144 vertici. Le situazioni deformative analizzate riguardavano errori solo casuali, estratti da una distribuzione normale a estremi troncati, oppure errori casuali e sistematici, questi ultimi prodotti applicando traslazioni e rotazioni di lieve entità a insiemi di vertici contigui.

Sulle configurazioni così generate si è andati poi a sostituire progressivamente un numero crescente di particelle deteriorate con le corrispondenti esatte e a effettuare nel contempo il riadattamento globale delle vecchie e delle nuove, mantenendo sempre la rete vincolata a un numero limitato di vertici fissi (12), assunti lungo il perimetro e in corrispondenza dei quattro spigoli della carta.

In tutte le circostanze l'andamento può essere riassunto da quello del grafico di Figura 2. Le curve sperimentali sono state ottenute inserendo casualmente, in maniera incrementale, gruppi di 3 particelle per volta, eseguendo la compensazione e valutando la distanza dei vertici dalla configurazione esatta. Come si vede dal grafico, al crescere del numero di nuovi elementi diminuisce proporzionalmente il numero di punti la cui posizione supera un errore di soglia prestabilito. Significativo che il 50% circa di elementi sostituiti renda praticamente nulla la percentuale di punti con errore di posizione superiore al 10% dell'errore iniziale, e confini al 25-30% (secondo i casi) la numerosità di quelli per i quali l'errore supera il 5% del valore di partenza.

Conclusioni

L'esperienza riporta gli esiti positivi della simulazione di una ricomposizione progressiva della cartografia catastale basata sulla sola riagggregazione conforme di particelle vecchie e nuove.

Tale procedura costituisce una delle fasi terminali del metodo procustiano generale, e gli esempi analizzati riguardano possibili situazioni limite particolarmente labili. Il processo completo di ricomposizione, succintamente descritto nel presente lavoro, determina in aggiunta l'instaurarsi di una struttura di vincoli molto più estesa ed efficace, in grado di dirigere favorevolmente il processo di convergenza. Questi legami sono costituiti da tutti i rilievi Pregeo inseriti direttamente nella rete fiduciale compensata. In quanto tali, essi non sono suscettibili di deformazioni né di movimenti significativi all'interno della carta, e fungono, in tal modo, da nuclei stabili di aggregazione per tutti gli altri elementi geometrici (vecchi e nuovi) ad essi contigui.

In un lavoro successivo, in corso di completamento, si illustreranno gli esiti di una ricomposizione completa, eseguita secondo la procedura integrale, di alcuni fogli di mappa reali relativi ad un'area della città di Udine.

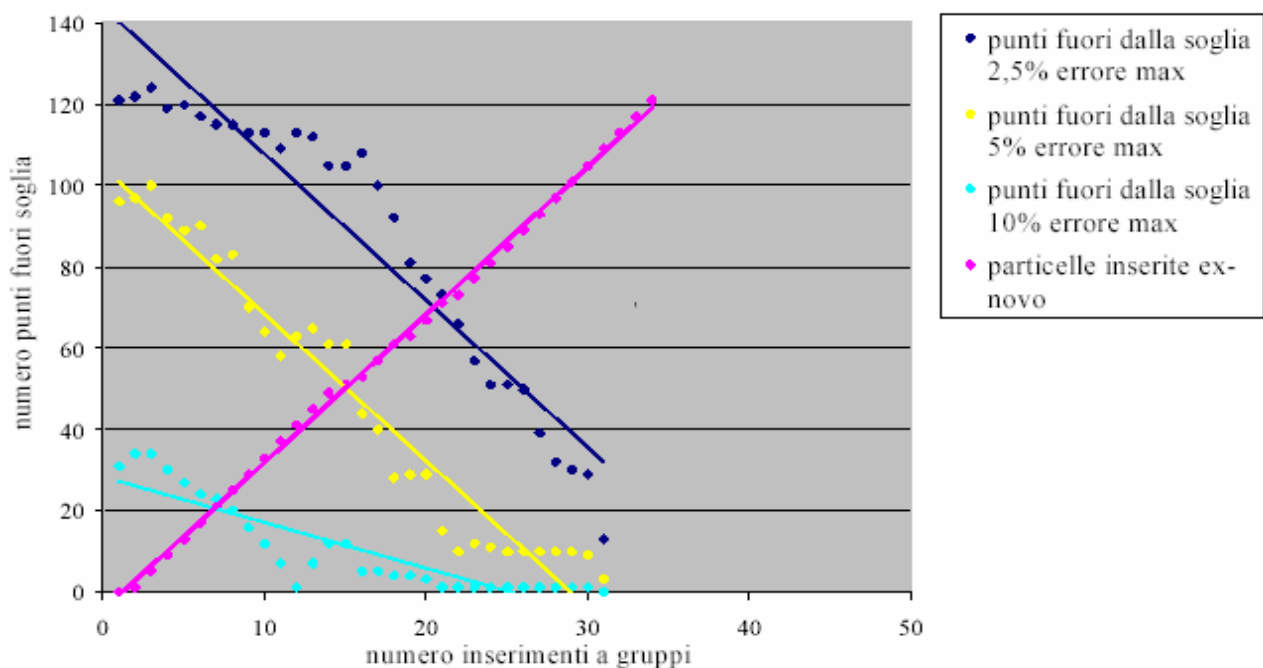


Figura 2 – Numero di vertici con errore di posizione residuo superiore ad una percentuale prefissata dell’errore iniziale (rette discendenti), all’aumentare del numero di particelle “esatte” inserite (retta ascendente) (Lavarini, 2005).

Bibliografia

- Beinat A., Crosilla F. (2002) “Una procedura per la ricomposizione conforme della cartografia catastale digitale”, *Bollettino SIFET*, 1, 17-34.
- Beinat A., Crosilla F., Clerici A. (2002) “Prime sperimentazioni di una proposta innovativa per la ricomposizione cartografica del catasto”, *Atti VI Conf. Naz. ASITA*, Perugia 5-8/11/02, 355-360.
- Beinat A., Crosilla, F. (2003) “Generalised Procrustes Algorithms for the Conformal Updating of a Cadastral Map”, *ZfV-Zeitschrift für Geodäsie, Geoinformation und Landmanagement*, 5, 341-349.
- Beinat A., Crosilla F., Furlan M., Sossai E. (2004) “Ricomposizione procustiana della rete fiduciale catastale mediante dati dell’archivio PREGEO”, *Atti VIII Conf. Naz. ASITA*, Roma 14-17/12/04, 333-338.
- Beinat A., Crosilla F., Sossai E. (2005) “Ricomposizione particellare conforme della cartografia catastale numerica”, *Atti 50° Conv. Naz. SIFET*, Palermo, 29/06-01/07, ISBN 88-901939-1-3
- Brovelli M. A., Zamboni G. (2004) “Adaptive Transformation of Cartographic Bases by Means of Multi-Resolution Spline Interpolation”, XXth ISPRS Congress, Istanbul, Turkey, 12-23/07/04
- Conia G., Del Frate R., Mencancini N., Tuffillaro D. (1992) “Procedura automatica per il controllo della congruenza dei tipi di aggiornamento sulla base di un quadro d’unione della rete dei punti fiduciali e della misura G.P.S. di alcuni lati significativi”, *Bollettino SIFET*, 4, 87-97.
- Crespi M., Reina T. (2004) “Applicazioni non catastali dei punti fiduciali: proposta di una metodologia per l’inquadramento della maglia dei punti fiduciali nel sistema cartografico UTM-WGS84-ETRF89”, *Bollettino SIFET*, 3, 13-22.
- Dryden I., Mardia K. (1998) *Statistical shape analysis*, John Wiley & Sons, Chichester UK, 83-107.
- Goodall C. (1991) Procrustes methods in the statistical analysis of shape, *Journal Royal Stat. Soc.*, Series B-Methodological 53 (2), 285-339.
- Lavarini L. (2005) “Un metodo evolutivo per l’aggiornamento della cartografia catastale numerica”, *Tesi di laurea*, Università di Udine, A.A. 2003-2004.
- Sossai, E. (2005) “La ricomposizione di una rete fiduciale catastale di ampie dimensioni: l’esempio di Tarcento (UD)”, *Atti IX Conf. Naz. ASITA*, Catania 15-18/11/05.