

LA RICOMPOSIZIONE DI UNA RETE FIDUCIALE CATASTALE DI AMPIE DIMENSIONI: L'ESEMPIO DI TARENTO (UD)

Emiliano SOSSAI

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

Riassunto

L'esperienza descritta in quest'articolo amplia e convalida ulteriormente la sperimentazione sul metodo di ricomposizione procustiana delle reti fiduciali. Nell'occasione si è portato l'algoritmo ad elaborare le informazioni relative ad una rete di estese dimensioni (205 PF su 20 chilometri quadrati) presente nel comune di Tarcento (UD). A sostegno delle elaborazioni si è proceduto ad una campagna di misure satellitari e topografiche nella quale sono state determinate, con elevata precisione, le coordinate di 77 Punti Fiduciali, utilizzati, in parte, a vincolare la rete, in parte, a controllare a posteriori la bontà della ricomposizione. Gli esiti confermano le potenzialità della proposta, come già evidenziato nelle precedenti esperienze di Udine e Gorizia, anche in raffronto ad un approccio di compensazione classico, e fanno auspicare in una adozione estesa del metodo.¹

Abstract

The experiment reported in this paper extends and further validates the testing of the Procrustes method for the fiducial network adjustment. In this circumstance, the procedure has been applied to adjust the measures relative to a large network in the Tarcento municipality (North Italy), consisting of 205 fiducial points spread over an area of 20 squared kilometres. To support the computations, a GPS and topographic survey campaign has been conducted in order to define the accurate position of 77 Fiducial Points. One third of the surveyed vertexes has been employed to constrain the network, the rest has been used to control *a posteriori* the adjustment precision. As already outlined by previous tests performed in the Udine and Gorizia areas, the results confirm the capabilities of the proposed technique, also in comparison with a classical L.S. approach, and suggest an extended implementation of the Procrustes method.

Introduzione

La digitalizzazione delle carte catastali d'origine ha determinato una cartografia numerica che non offre adeguate garanzie di precisione e affidabilità a causa, sia dell'eterogenea qualità delle mappe di partenza, sia delle limitazioni insite nel processo stesso.

Per realizzare un concreto e radicale aggiornamento della cartografia numerica catastale, l'Agenzia del Territorio, con la Circolare Ministeriale n. 2 del 15 gennaio 1987, ha dato avvio all'informatizzazione delle misure eseguite direttamente in campagna dai professionisti, le quali devono ora appoggiarsi ad almeno 3 Punti Fiduciali (PF), materializzati sul terreno, le cui coordinate sono in massima parte desunte dall'iniziale digitalizzazione e risultano, quindi, approssimate ed imprecise.

¹ 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.

Sulla base di questi dati, l'amministrazione catastale ha aggiornato localmente le coordinate di molti Punti Fiduciali, tuttavia la procedura attuata non garantisce risultati omogenei né il conseguimento di soluzioni definitive, se non in una prospettiva temporale molto allungata.

Al fine di ottenere una rete fiduciale finalmente stabile e adeguata agli interessi cartografici, alcuni ricercatori dell'Università di Udine, in alternativa alla proposta di misurare *ex novo* la posizione degli oltre 1.600.000 PF esistenti, hanno sviluppato una procedura procustiana per la compensazione dei poligoni fiduciali, un metodo alternativo che sfrutta completamente l'immenso patrimonio informatico acquisito dall'Agenzia del Territorio: basti pensare che nella sola regione Friuli Venezia Giulia, attualmente, sono disponibili oltre mezzo milione di misure registrate. Per i dettagli e ulteriori approfondimenti sulla proposta, si rimanda a precedenti interventi alla Conferenza Nazionale ASITA e ad altre pubblicazioni (Beinat & Crosilla, 2002; 2003).

Le sperimentazioni, effettuate prima in ambiente simulato e controllato, successivamente su piccole reti poste nei comuni di Udine (Beinat, Clerici & Crosilla, 2002) e Gorizia (Beinat, Crosilla, Furlan & Sossai, 2004), hanno messo in luce che il metodo, una volta fissata la posizione del 10-15 per cento dei PF da ricomporre – in pratica meno di 4 punti per chilometro quadrato – consente di stimare le coordinate della restante parte con errori inferiori alle tolleranze previste dal Catasto.

Una successiva indagine sugli archivi numerici dell'Agenzia del Territorio (file .taf e .dis) ha evidenziato che la proposta trova in Friuli Venezia Giulia un ampio bacino di possibile applicazione e gran parte dei Punti Fiduciali presenti in regione può essere compensata in maniera procustiana, con evidente risparmio di mezzi e risorse (Beinat, Crosilla & Sossai, 2004).

Nell'ottica di un auspicabile utilizzo del metodo, è stata eseguita una nuova sperimentazione, i cui risultati sono illustrati in questo lavoro, portando la procedura ad operare su una rete fiduciale di estese dimensioni, quale quella presente nel comune di Tarcento (205 PF distribuiti in un'area di 20 chilometri quadrati). L'articolo illustra le problematiche di attuazione del metodo, con particolare accento alla scelta ottimale dei punti di vincolo, espone i risultati conseguiti, valutati mediante confronto diretto tra coordinate compensate e corrispondenti misurate con tecniche satellitari e topografiche, e analizza le potenzialità della proposta procustiana in raffronto al metodo di compensazione classico ai minimi quadrati.

La ricomposizione procustiana e la sua applicazione

Lo scopo della procedura proposta è stimare le coordinate più probabili di una rete di punti fiduciali mediante ricomposizione-compensazione, basata sulle tecniche di analisi procustiana, dei poligoni fiduciali componenti. Questi, considerati non già come un insieme disgiunto di distanze, bensì come un unico oggetto non disaggregabile, vengono trasformati in maniera conforme, in modo da adattarsi al meglio gli uni rispetto agli altri, secondo il principio dei minimi quadrati, al fine di determinare la forma più probabile della rete fiduciale

Definita la zona oggetto di studio, e i rispettivi Punti Fiduciali da compensare, le specifiche del metodo richiedono allora l'individuazione dei poligoni fiduciali ad essi afferenti. A partire dai dati dell'archivio numerico catastale, file .taf e .dis nello specifico, una procedura completamente automatica ne consente la ricostruzione e la georeferenziazione diretta attraverso le coordinate presenti nella TAF. Nel caso esaminato, le informazioni a disposizione hanno consentito la generazione di 1167 poligoni fiduciali.

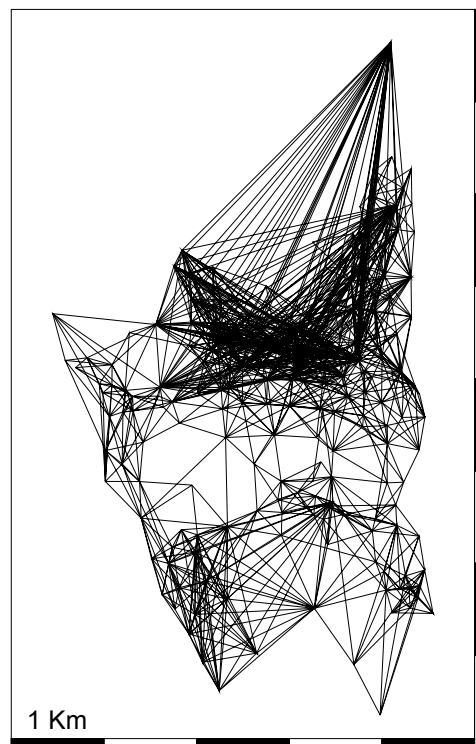


Figura 1 - La rete fiduciale di Tarcento

Per poter essere utilizzato nella compensazione, ciascun poligono fiduciale deve essere concatenato agli altri, deve, cioè, possedere almeno 2 punti di legame con la restante parte della rete: un'analisi basata sugli identificativi dei PF ne ha riconosciuti 1166 idonei.

L'aggregato di questi 1166 poligoni fiduciali ricostruiti, georeferenziati e concatenati topologicamente fra loro, porta alla definizione di una prima approssimazione della rete da compensare, illustrata in figura 1.

La rete, compresa tra la strada statale 13 "Pontebbana", a ovest, e il torrente Torre, a est, tra i monti Faeit e Campeon, a nord, e i comuni di Cassacco e Tricesimo, a sud, presenta 205 Punti Fiduciali e si estende per una superficie di 20 chilometri quadrati comprendente, oltre il capoluogo Tarcento, le frazioni di Ciseriis, Coia, Collalto, Collerumiz, Loneriaco, Segnacco e Zomeais.

La rete dei Punti Fissi

La procedura proposta richiede la conoscenza delle coordinate "esatte" di alcuni Punti Fiduciali della rete (i Punti Fissi), in ordine del 10-15 per cento del totale; essi fungeranno da vincolo durante la compensazione, da controllo nell'individuazione di poligoni affetti da errori grossolani, inquadreranno la rete fiduciale ricomposta nel datum definitivo e ne consentiranno l'immediato aggancio con le reti confinanti.

Di norma, si assumono come fissi Punti Fiduciali omogeneamente distribuiti, appartenenti al contorno disegnato dalla topologia della rete: questa è, infatti, la zona più complicata da ricomporre e in cui, da sperimentazioni eseguite, gli effetti del vincolo hanno maggiore influenza nella compensazione. Ovviamente le peculiarità di ciascuna rete possono richiedere l'aggiunta di criteri più specifici: nella nostra esperienza è stato necessario porre, oltre che nei bordi, un vincolo interno all'incirca ogni 4 chilometri quadrati.

Nella rete di Tarcento, sono stati scelti pertanto 29 Punti Fissi.

Qualora le coordinate dei Punti Fissi non fossero note a priori, come nel nostro caso, è necessaria un'apposita campagna di misura eseguita con strumentazione satellitare.

La materializzazione dei Punti Fiduciali (spigoli di fabbricati o assi di campanili), rendendo molto difficile lo stazionamento diretto con antenna GPS, obbliga a procedere con metodologia mista: posizionamento GPS in due stazioni ausiliarie fuori centro (A e B) e loro collegamento al Punto Fiduciale attraverso misura di distanze e angoli, secondo lo schema in figura 2.

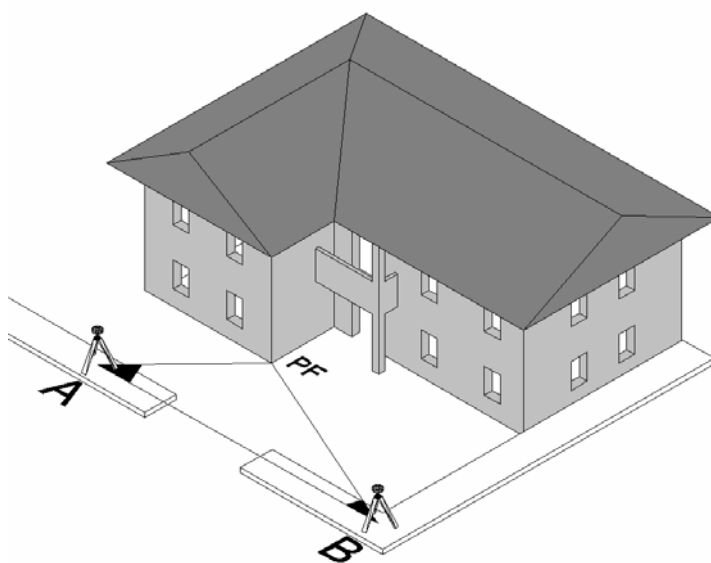


Figura 2 - Schema operativo per la determinazione dei PF mediante GPS

La parte topografica è stata realizzata mediante stazione totale, con o senza riflettore mentre, nel caso del GPS, si è operato in posizionamento relativo, in modalità statico-rapida, con frequenza di

acquisizione pari a 5 secondi, e una durata di ogni sessione, determinata in funzione della distanza dal master locale e dalla qualità di GDOP, comunque superiore ai 10 minuti.

Le coordinate del master locale, situato in posizione centrale della rete, così da contenere le distanze della linea di base sotto i 4 km, sono state determinate in funzione del punto IGM 025702, ubicato a Magnano in Riviera, e l'intero rilievo GPS è stato così inquadrato nel datum WGS84.

L'uso del programma Verto2, e del grigliato relativo al suddetto vertice IGM, ha permesso la successiva trasformazione nel sistema di riferimento italiano Gauss-Boaga.

La compensazione dei poligoni fiduciali

A partire dall'iniziale rete approssimata, ciascun poligono fiduciale, considerato come un unico elemento non disaggregabile nelle sue distanze componenti, viene ruotato, traslato e scalato in modo tale da adattarsi al meglio, secondo il principio dei minimi quadrati, sia al resto della rete, sia ai vincoli rappresentati dai Punti Fissi. Il processo viene iterato sino a quando l'entità dei singoli parametri di trasformazione non assume valori trascurabili. Terminata la compensazione, la stima della posizione di un generico Punto Fiduciale verrà data dal baricentro delle coordinate dei suoi vertici omologhi, ora disposti nella configurazione a dispersione minima.

Analisi dei risultati

A compensazione avvenuta, i dati conseguiti permettono, innanzi tutto, di testare le potenzialità assolute della proposta, ma consentono anche il confronto tra i livelli di precisione ottenibili applicando i due metodi alternativi: quello conforme procustiano, che agisce su poligoni fiduciali indeformabili, e quello classico, che va ad operare sulle distanze tra PF ottenute dalla disgiunzione dei poligoni stessi; a tal fine, si è voluta compensare la rete di Tarcento anche con questo secondo approccio, utilizzando il programma Columbus™ (<http://www.bestfit.com>).

L'accuratezza dei risultati è valutata in funzione della differenza residua tra le coordinate ottenute dai due metodi di compensazione e quelle "esatte", appartenenti ad una rete di 48 punti di controllo e determinate da apposita campagna di misura eseguita con modalità analoghe a quelle precedentemente descritte; le entità di tali residui sono riportate nei grafici di figura 3 e 4.

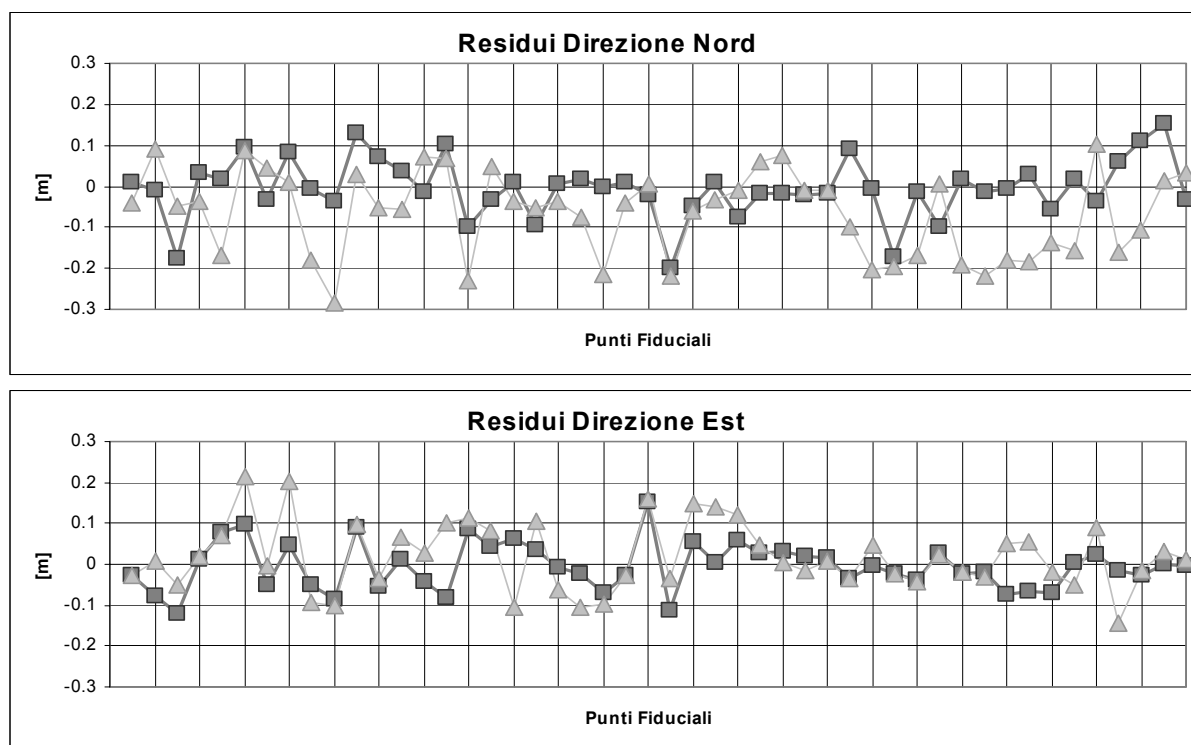


Figure 3 e 4 - Residui ottenuti dai due metodi di compensazione (classico ▲, procustiano ■)

Nella seguente tabella andiamo inoltre a sintetizzare il significato di tali valori, riportando media e mediana lungo le due coordinate e per ciascun tipo di compensazione.

	Compensazione Procustiana		Compensazione Classica	
	Nord	Est	Nord	Est
Media [m]	-0.005	-0.005	-0.066	0.019
Mediana [m]	-0.005	-0.006	-0.044	0.007

Tabella 1 - Medie e mediane delle differenze di coordinate per i metodi di compensazione procustiano e classico nelle due direzioni

Dai risultati contenuti nella Tabella 1, si evince che le componenti Nord ed Est di media e mediana, nel caso della soluzione procustiana, risultano praticamente coincidenti, mentre la soluzione classica fornisce valori che differiscono fra loro di circa un ordine di grandezza: è evidente una simmetria decisamente migliore nella distribuzione dei residui generata dagli algoritmi procustiani. Inoltre, i valori di media e mediana ottenuti dai due metodi permettono di constatare che la procedura proposta recupera gran parte, se non tutta, la componente d'errore sistematico, cosa che non accade utilizzando la compensazione classica.

Una visione ancor più efficace dei risultati ottenuti dai due tipi di compensazione può essere apprezzata nell'istogramma di figura 5.

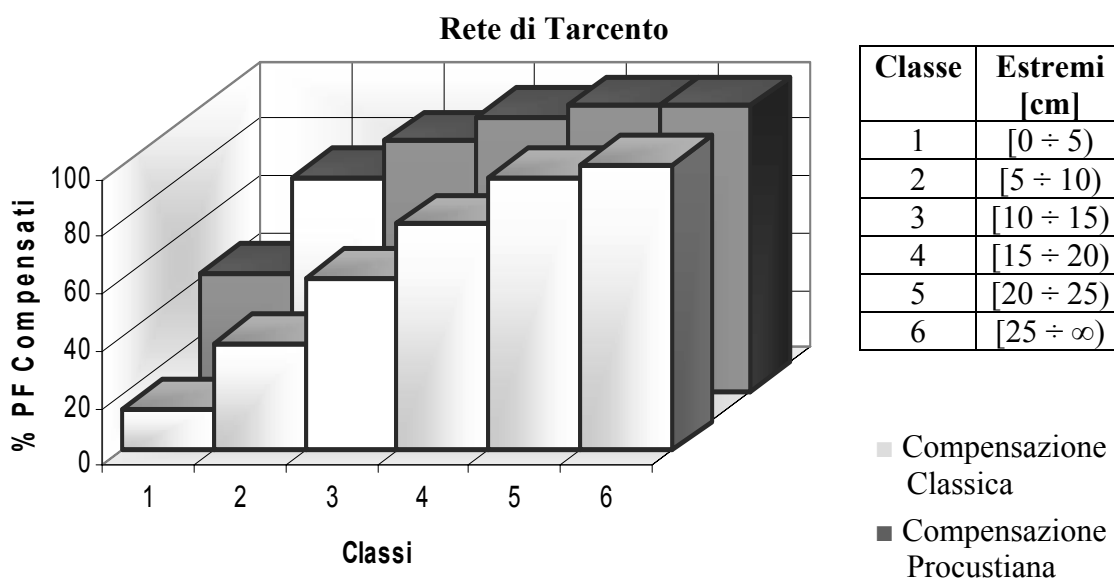


Figura 5 - Iistogramma delle frequenze relative cumulate

In esso andiamo a esporre, attraverso la rappresentazione delle frequenze relative cumulate, la distribuzione delle distanze (errori) tra la posizione vera dei Punti Fiduciali e quella ottenuta prima dalla compensazione procustiana, successivamente dall'approccio classico a distanze disgiunte. Ogni classe ha ampiezza di 5 cm.

Come si può vedere, il metodo proposto riesce a stimare, con un errore inferiore ai 5 cm, la posizione di oltre 4 punti di controllo su 10; nel caso della compensazione classica questa soglia viene superata soltanto a partire dalla terza classe, mentre nella prima ricade solo il 15 per cento delle osservazioni. Osservando la seconda classe si deduce che, nel caso di ricomposizione procustiana, quasi 8 punti su 10 hanno coordinate compensate che distano meno di 10 cm dalla loro posizione esatta, con l'altro metodo, il numero di punti con questa caratteristica si è ridotto a meno della metà. Per passare agli eventi estremi, si può notare come la soglia dei 20 cm di errore sia

superata, nel caso del metodo proposto, da solo il 4 per cento delle osservazioni, nell'approccio classico tale valore si quintuplica.

Analizzando la dislocazione spaziale degli errori all'interno dell'area compensata, risulta che il comportamento dei due metodi si discosta con maggiore evidenza nella porzione centrale della rete, laddove il numero dei poligoni è maggiore e la densità dei punti fissi è minore: il metodo classico produce risultati affetti da un errore nettamente superiore, anche di un ordine di grandezza, rispetto a quello procustiano.

Questo perché, lontano dai bordi, i poligoni fiduciali, costretti nella loro forma, incastrandosi vicendevolmente, auto-vincolano la forma globale della rete in maniera tanto più forte e precisa quanto maggiore è il numero di configurazioni di PF presenti, sempre a meno di errori grossolani. L'approccio a distanze disgiunte, distruggendo la forma originaria, fa venir meno questa condizione dando luogo a delle deformazioni localizzate che possono essere recuperate solo con l'innesto di ulteriori Punti Fissi: il caso del centro di Tarcento è un esempio evidente.

Conclusioni

Il metodo procustiano permette una ricomposizione globale della rete di Punti Fiduciali mantenendo inalterate le forme originarie dei poligoni fiduciali: questo previene l'insorgenza di deformazioni anisotrope che generano smagliature nel tessuto cartografico. Le esperienze di ricomposizione, realizzate prima in ambiente simulato e controllato, in seguito su piccole reti di prova, ora su una rete di estese dimensioni che riproduce le condizioni operative reali, hanno evidenziato la superiorità dell'approccio conforme procustiano nei confronti sia dell'attuale procedura di aggiornamento della TAF, sia di una compensazione classica a distanze disgiunte. La compensazione procustiana, recuperando tutte le componenti di errore, tranne quella accidentale, permette di determinare le coordinate dei Punti Fiduciali con elevata precisione ed affidabilità, il tutto ottimizzando la richiesta di misure topografiche, realizzate *ex novo*, necessarie a vincolare la rete.

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. (2003), "Generalised Procrustes Algorithms for 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: l'esperienza di Gorizia", *Atti VIII Conf. Nazionale ASITA*, Roma, 14-17 Dicembre.
- Beinat A., Crosilla F., Sossai E. (2004), "Analisi della copertura e prime sperimentazioni di concatenamento a scala regionale dei poligoni fiduciali catastali in Friuli Venezia Giulia", *Atti VIII Conf. Nazionale ASITA*, Roma, 14-17 Dicembre.