

## INTEGRAZIONE DELLE CARTOGRAFIE NAZIONALI PER LE AREE TRANSFRONTALIERE. UN CASO APPLICATIVO: L'AREA URBANA DI GORIZIA-NOVA GORICA.

### *CONNECTING MAPS WITH DIFFERENT COORDINATE REFERENCE SYSTEM IN A DIGITAL FORMAT. AN APPLICATION IN THE URBAN AREA OF GORIZIA (ITALY) AND NOVA GORICA (SLOVENIA)*

**Andrea Favretto (\*)**, **Marco Mastronunzio (\*)**

(\*) Dipartimento di Scienze Geografiche e Storiche, Università di Trieste.

#### **Riassunto**

Nel presente lavoro viene elaborata una metodologia mista (manuale ed automatica) per la realizzazione dell'accostamento, in formato digitale, di carte redatte in diversi sistemi di coordinate (Crs: *Coordinate Reference System*).

Nella fattispecie, viene trasformata una carta jugoslava (Crs: D48) nel Sistema Geodetico Italiano (Crs: Gauss-Boaga, Fuso Est). L'area di studio è quella relativa alla regione transfrontaliera di Gorizia e *Nova Gorica*, già oggetto del programma di cooperazione transfrontaliera Interreg IIIA Italia-Slovenia 2000-06 *Gorizia Nova Model Plan*.

Il sistema sviluppato, pur nelle limitazioni collegate alla necessità di aggiornare alcuni parametri quando lo si applica ad altre aree, limita gli errori di trasformazione riscontrati utilizzando le procedure automatiche implementate in alcuni applicativi Gis diffusi in commercio.

#### **Abstract**

*In order to connect, in a digital format, two maps with different coordinate reference systems we developed a mixed methodology (manual and automated).*

*As an instance, we transformed a yugoslavian map (Crs: D48) into a Italian reference system (Crs: Gauss-Boaga, East zone). The study area is the Gorizia and Nova Gorica borderscape, already analysed by the "Gorizia Nova Model Plan" Interreg Project.*

*The proposed method gives a better result (in terms of the measured positional errors) with respect to the main Gis application automated transformation procedures available in the market. Nevertheless the same has some limitations connected to the application of the model to other areas without updating some parameters.*

## 1. Introduzione

Il principale problema che si riscontra nella produzione di cartografia unitaria delle aree trasfrontaliere è dovuto all'eterogeneità delle fonti e alla loro scarsa comparabilità. Un problema di difficile soluzione è quello relativo ai diversi sistemi di coordinate e di proiezione delle cartografie nazionali degli stati contermini (Sestini, 1981).

L'annoso problema dell'eterogeneità delle fonti cartografiche nazionali viene a dipendere sostanzialmente dal fatto che ogni Stato europeo ha un suo sistema di riferimento nazionale (CRS: *Coordinate Reference System*), corrispondente ad un proprio datum geodetico.

E' noto che ogni datum viene "realizzato" da una rete geodetica, calcolata sulla base delle caratteristiche del datum stesso (Robinson *et al.*, 1995). La rete geodetica è costruita in base a misurazioni, che possono essere soggette ad errori, i quali inevitabilmente determinano delle deformazioni nelle maglie. Specialmente le reti geodetiche di vecchia data presentano errori di calcolo e misurazione, che rendono quindi molto difficile l'accostamento delle stesse dopo una loro trasformazione sulla base di elaborazioni numeriche.

Le trasformazioni di datum geodetico sono essenzialmente delle rototraslazioni con o senza fattore di scala (Trasformazione di Helmert o Variante di Molodenskij – cfr.: Manzoni e Cefalo, 2003; Stoppini e Radicioni, 2005). Per carte a piccola scala o per approssimazioni maggiori si possono usare delle trasformazioni piane (ad es.: trasformazioni piane a

4, 6, 12 parametri – cfr.: Iliffe, 2000).

La necessità di trasformare in modo automatico e rapido le diverse fonti cartografiche suggerisce l'utilizzo degli algoritmi di trasformazione implementati nei più diffusi applicativi GIS (Baiocchi *et al.*, 2002). Tuttavia la presenza di residui errori di accostamento delle cartografie nazionali determina a volte l'impossibilità di effettuare analisi spaziali a scala elevata in maniera sufficientemente accurata. Ad esempio l'applicativo ERDAS Imagine adotta, per la trasformazione automatica di coordinate, un procedimento che calcola i parametri delle equazioni polinomiali che rettificano le carte (o immagini), sulla base di punti di controllo (GCP: *Ground Control Point*). Tale calcolo viene eseguito sia che si georiferisca un'immagine sulla base di GCP riconosciuti da un'altra carta di riferimento, sia che si usi lo strumento di riproiezione, che in apparenza non richiede il riconoscimento di GCP ma trasforma direttamente una carta in un altro sistema di coordinate. In realtà, anche nel caso della riproiezione, il programma applica alla carta di partenza una griglia di riferimento che corrisponde al sistema di coordinate specificato dall'utente. Sulla base delle intersezioni della griglia è generata automaticamente una serie di GCP sulla carta di partenza, i quali vengono poi trasformati nelle coordinate d'arrivo sulla base delle formule di conversione fra datum, disponibili nella libreria dell'applicativo. Successivamente il programma calcola i parametri delle equazioni polinomiali di trasformazione e rettifica la carta nel nuovo sistema di coordinate (ERDAS,

2005). Nel caso specifico di un cambio di coordinate fra due datum locali è necessario ripetere il processo due volte: una per passare dal datum locale a quello geocentrico (WGS84) e l'altra per il passaggio dal datum geocentrico al datum locale di arrivo. In genere l'intero processo può generare dei cospicui errori di posizione.

Come si è detto, per le trasformazioni piane di aree non estese, accettando una minor precisione di calcolo, è possibile applicare degli algoritmi più semplici. Questi sono anch'essi implementati sugli applicativi GIS (ad es.: ESRI ArcGIS) e prendono generalmente il nome di *warp*. Si basano sul riconoscimento di punti doppi, ovvero sia posizioni territoriali comuni, per le quali si conoscono le coordinate nei due sistemi di riferimento (sono corrispondenti alle due reti geodetiche realizzate dai datum diversi). I punti doppi divengono per l'applicativo i GCP, che servono per stimare i parametri necessari alla trasformazione. Oltre al riconoscimento dei punti doppi e la citata limitazione areale dell'area da trasformare, il metodo è applicabile alla seguente ulteriore condizione: i due sistemi di coordinate devono essere compatibili, nel senso che le forme degli

oggetti nelle due proiezioni devono essere sufficientemente simili. Iliffe a tal riguardo (*op. cit.*) consiglia di controllare il rapporto:  $r = k_a/k_b$  (ove  $k_a$  è il fattore di scala<sup>1</sup> della proiezione di partenza;  $k_b$  è il fattore di scala della proiezione d'arrivo). Se il rapporto considerato è abbastanza costante nell'area considerata, si considera che le due proiezioni abbiano la stessa geometria nella zona da georiferire.

Il presente contributo propone una metodologia mista (in parte automatica ed in parte manuale) per la trasformazione piana di un'area transfrontaliera, su due carte redatte in base a datum locali diversi. L'obiettivo è la realizzazione dell'accostamento, in formato digitale, della cartografia ufficiale italiana e già jugoslava, in relazione all'area di Gorizia (IT) e *Nova Gorica* (SLO).

La cartografia digitale ottenuta è stata nella fattispecie utilizzata nell'ambito di un programma Interreg<sup>2</sup> per la realizzazione di analisi spaziali.

---

## 2. Area di studio

---

L'area di studio è, come detto, quella relativa al Comune di Gorizia (IT) e alle

---

<sup>1</sup> Il fattore di scala si definisce come il rapporto di una distanza fra due punti sulla carta proiettata e la stessa distanza sullo sferoide ( $k = a_b$  sulla carta proiettata/ $a_b$  sullo sferoide; ove  $a_b$  = distanza fra i punti a e b – Iliffe, *op. cit.*)

<sup>2</sup> Programma di iniziativa comunitaria Interreg IIIA Italia – Slovenia 2000-06, *Gorizia Nova Model Plan* - Modelli per lo sviluppo sostenibile nell'area di confine. Il progetto, inerente l'area urbana di Gorizia-Nova Gorica, si propone di preparare misure atte a concatenare la *governance* territoriale ad una dinamica a lungo termine.

L'obiettivo è quello di realizzare una griglia di riferimento necessaria ad una pianificazione sostenibile della struttura socio-economica-territoriale di tipo dinamico e di dirigere la successiva pianificazione di dettaglio a livello settoriale e globale.

Municipalità (*Obāine*) di *Nova Gorica* e *Sempeter-Vrtojba* (SLO), analizzato nell'ambito del progetto sopra citato.

La cartografia per quest'area è disponibile nel CRS già jugoslavo (D48)<sup>3</sup>, mentre per il Comune di Gorizia nel Sistema di coordinate piane nazionale (Gauss-Boaga, Fuso Est<sup>4</sup>). Tale area urbana è caratterizzata dall'imposizione, all'indomani del secondo conflitto mondiale, del confine politico italo-jugoslavo. Ciò ha determinato, come noto, la perdita – per Gorizia – di parte del suo territorio comunale e il successivo sviluppo, a ridosso del confine, dell'area urbana di *Nova Gorica*.

---

### 3. Fonte dei dati

---

1. *Državna Topografska Karta SFRJ* [Carta Topografica della Repubblica Socialista Federativa di Jugoslavia] - scala 1:50.000, *foglio n° 316-1 – TRST*,

Vojnogeografski Institut, Beograd, 1971;

2. Carta d'Italia - scala 1: 50.000, *foglio n° 088 - GORIZIA*, IGM, Firenze, Edizione 2, 1982.
3. Carta Regionale Numerica (CRN) - scala 1: 25.000 della Regione Autonoma Friuli-Venezia Giulia, *tavola 110 SE*, Udine, 1988.

---

## 4. Metodologia

---

### 4.1. Pre-elaborazione dei dati: cartografia jugoslava

La carta jugoslava utilizzata era disponibile nel tradizionale formato cartaceo e nel sistema di riferimento D48.

Sono stati riconosciuti, direttamente sulla carta tramite l'utilizzo del coordinatometro, una serie di punti che ricadono nell'area oggetto di studio. Successivamente tale carta è stata digitalizzata

---

<sup>3</sup> Le specifiche tecniche proprie di questo Crs sono:

datum: MGI Hermannskogel - Hundesheimer Berg; ellissoide: Bessel (1841);

proiezione: Gauss-Krüger (conforme cilindrica inversa)

Latitudine di origine: 0° 0' 00"

Meridiano centrale: 15° 0' 00" da Greenwich

Falsa origine: 500.000 m

*False northing*: -5.000.000 m

Fattore di contrazione: 0.9999

Si rimanda alla bibliografia (K.u. leuven research & development – Spatial application division, 2003) per ciò che concerne le specifiche tecniche del sistema di riferimento.

<sup>4</sup> L'area di studio è ricompresa nel territorio del Fuso Est, le cui specifiche sono:

datum: Roma (Monte Mario) 1940; ellissoide: Internazionale di Hayford 1924 orientato a Roma-Monte Mario;

proiezione: Gauss-Boaga (conforme cilindrica inversa)

Latitudine di origine: 0° 0' 00"

Meridiano centrale: 15° 0' 00" da Greenwich

Falsa origine: 2.520.000 m

*False northing*: 0 m

Fattore di contrazione: 0.9996

Si rimanda alla bibliografia (Migliaccio, 2001), per ciò che concerne le specifiche tecniche dei due fusi (Est ed Ovest).

tramite scansione, ottenendola così in formato *raster*.

Si è proceduto quindi alla georeferenziazione della carta raster nel CRS originario (D48). La georeferenziazione, nello specifico, è stata effettuata stimando un sistema di equazioni polinomiali del I ordine, utilizzando come punti di controllo (GCP: *Ground control point*), quelli corrispondenti alla serie di punti riconosciuti sulla carta in formato cartaceo. Il ricampionamento è stato eseguito tramite l'algoritmo *Nearest neighbour*<sup>5</sup>.

Dopo la procedura numerica, la carta jugoslava risulta così essere disponibile in formato digitale *raster*, georiferita nel sistema di riferimento D48.

#### 4.2. Pre-elaborazione dei dati: cartografia IGM

Analoga procedura di pre-elaborazione è stata effettuata per la carta IGM utilizzata: riconoscimento sul formato cartaceo di una serie di punti ricadenti nell'area oggetto di studio e registrazione delle coordinate tramite coordinamento; digitalizzazione automatica (scan-

ner), georeferenziazione del *layer raster* così ottenuto.

Anche in questo caso la georeferenziazione è stata effettuata stimando un sistema di equazioni polinomiali del I ordine e utilizzando come punti di controllo la serie dei punti riconosciuta sulla carta in formato cartaceo. Il ricampionamento è stato eseguito tramite l'algoritmo *Nearest neighbour*.

Dopo la procedura numerica, la carta IGM risulta così essere disponibile in formato digitale *raster*, georiferita nel sistema di riferimento Gauss-Boaga (Fuso est).

#### 4.3. Elaborazione dei dati

Dopo la pre-elaborazione, le due carte si presentano quindi in formato digitale *raster* e nel loro CRS originario.

L'area di interesse per il presente studio è comune alle due carte; è stato quindi possibile riconoscere in essa una serie di punti doppi. Per tali punti è disponibile una doppia serie di coordinate di riferimento: una nel sistema D48 sulla carta jugoslava e l'altra nel sistema Gauss-Boaga sulla carta IGM (tabella 1 e figure 1 e 2).

GCP	D48		Gauss-Boaga, Fuso Est	
	Long. (Est - X)	Lat. (Nord - Y)	Long. (Est - X)	Lat. (Nord - Y)
1	5395800.25	5093271.95	2415492.43	5092224.52
2	5393066.55	5091955.13	2412793.22	5090889.14
3	5394472.14	5090742.43	2414231.62	5089685.05

TABELLA 1 - Valori metrici dei punti doppi utilizzati nei due differenti CRS.

<sup>5</sup> Per un approfondimento sui metodi di ricampionamento nelle procedure di georeferenziazione si veda, tra gli altri, Lillesand & Kiefer (1999).

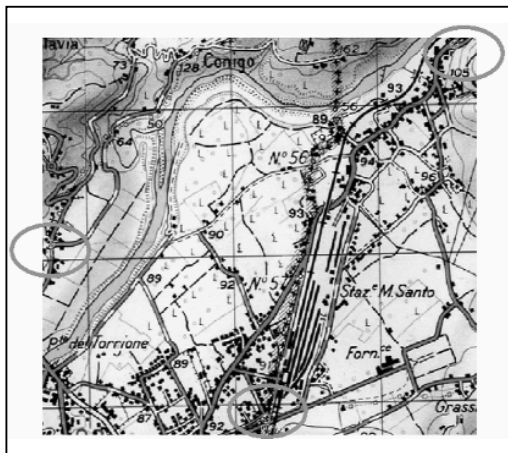


FIGURA 1 - Carta IGM. Punti doppi – GCP nel sistema Gauss Boaga.

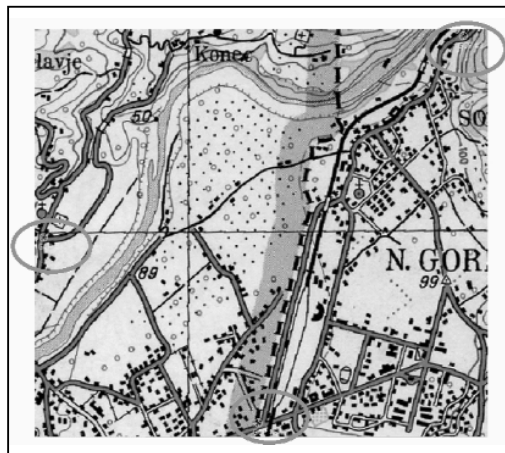


FIGURA 2 - Carta jugoslava. Punti doppi – GCP nel sistema D48.

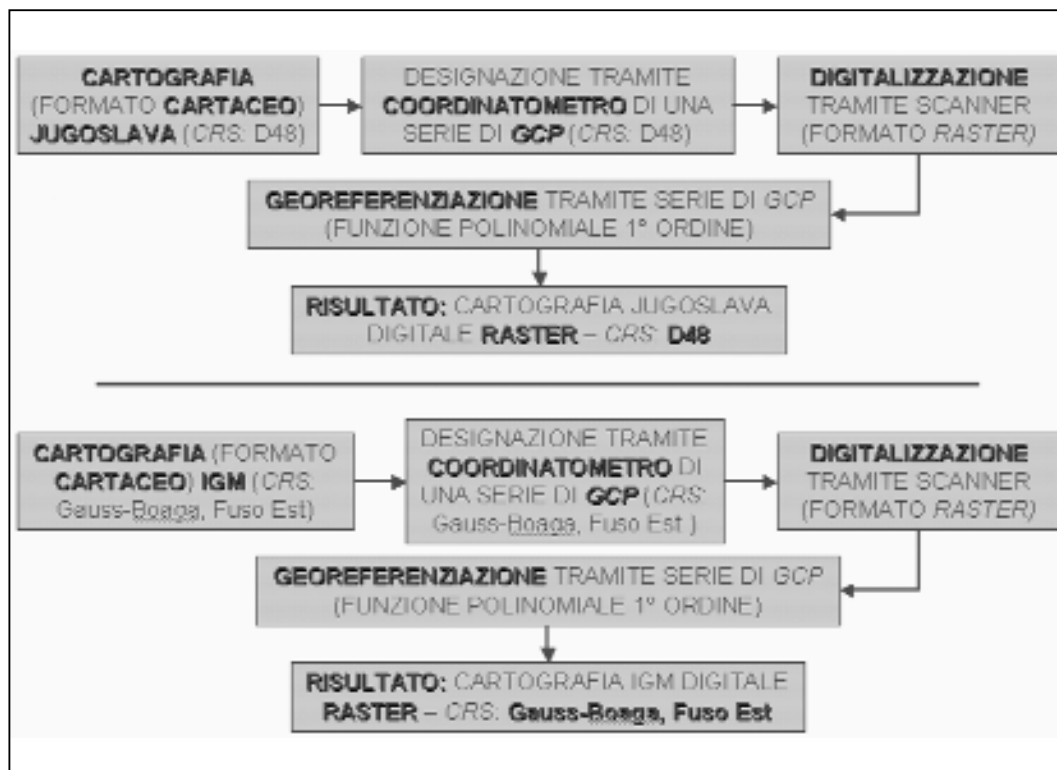


FIGURA 3 - Pre-elaborazione dei dati – Georeferenziazione tramite punti doppi.

La carta jugoslava (in D48) è stata quindi rettificata con i valori metrici in Gauss-Boaga designati dalla carta IGM, risultando così georiferita – solo ora – nel sistema Gauss-Boaga. La georeferenziazione, nello specifico, è stata effettuata stimando un sistema di equazioni polinomiali del I ordine, utilizzando come GCP la tabella costituita dalla serie di punti doppi. Il ricampionamento è stato eseguito tramite l'algoritmo *Nearest neighbour*.

Per una miglior comprensione delle metodologie adottate nelle varie fasi sopra descritte, si vedano i diagrammi relativi (figure 3 e 4).

Per operare un primo controllo dei risultati ottenuti, si è poi sovrapposto il *layer* vettoriale della CRN (vedi sopra: fonte dei dati) su quello *raster* jugoslavo, georiferito in Gauss-Boaga dal sistema di equazioni stimato (figura 5). Come si può vedere dalla figura, si riscontra una buona sovrapposibilità dei due strati. Purtroppo, non essendo disponibile un *layer* vettoriale anche per l'area slovena (la CRN ricopre il solo territorio italiano), la sovrapposizione è attuabile per la sola area del Comune di Gorizia.

Attraverso una serie di misurazioni per alcuni elementi cartografici del *layer* raster e di quello vettoriale sovrapposto

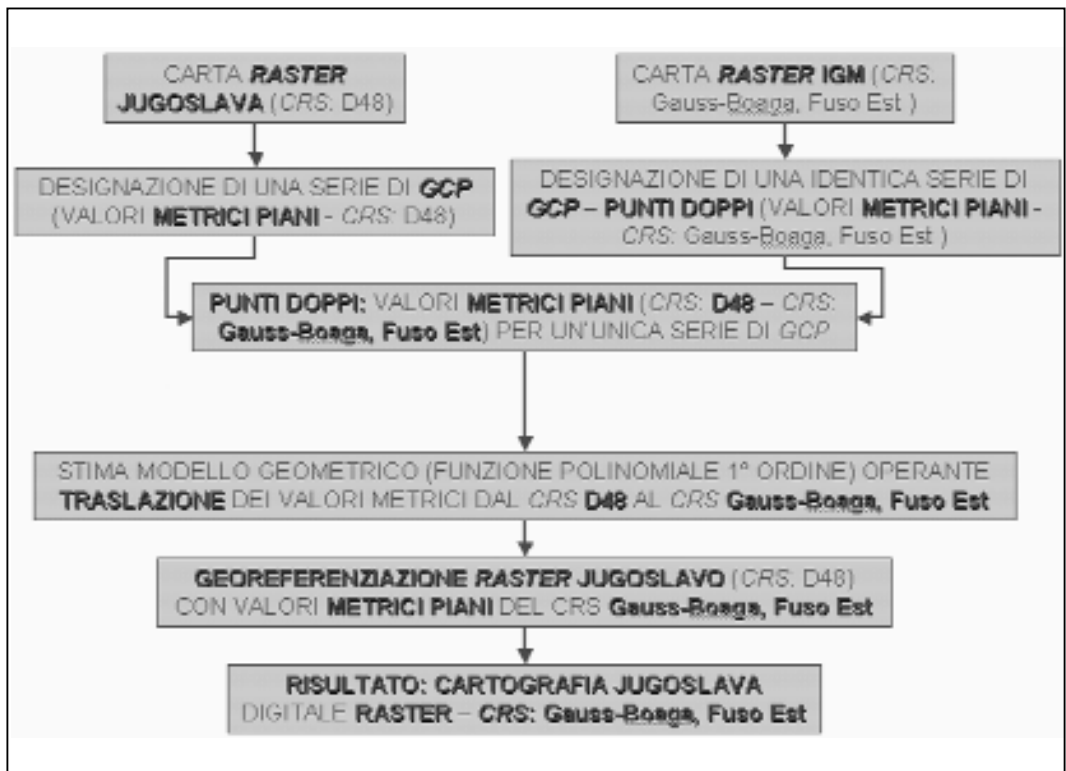


FIGURA 4 - Elaborazione dei dati – Georeferenziazione tramite punti doppi.



FIGURA 5 - Overlay della Crn (in grigio chiaro) sulla carta jugoslava georiferita nel sistema Gauss Boaga.

(applicativo utilizzato: ESRI ArcGIS 8.2, mediante gli strumenti resi disponibili dall'applicativo stesso), si è constatato che l'errore, all'interno del triangolo formato dai punti doppi di controllo utilizzati, è limitato ad una media di 1,94 m. in longitudine (Est - X) e di 2,94 m. in latitudine (Nord - Y). Tale errore medio è stato individuato dopo una serie di 10 misurazioni campionate all'interno del triangolo costituito dai punti doppi.

## 5. Considerazioni finali

Come si è visto, nell'analisi presentata si è cercato di realizzare l'accostamento,

in formato digitale, di due carte relative ad un'area confinaria. Dette carte sono disponibili in due diversi sistemi di coordinate: D48 (per la carta jugoslava) e Gauss-Boaga, Fuso Est (per la carta IGM).

Prima di applicare il metodo proposto, al fine di operare un confronto dei risultati, si è utilizzato l'algoritmo *warp*, disponibile in ESRI ArcGIS. L'elaborazione ed i risultati dell'applicazione dell'algoritmo vengono omessi in questa sede per motivi di spazio; si desidera però riportare l'entità degli errori registrati.

Come ricordato, la trasformazione diretta da D48 a Gauss-Boaga non è implementata nell'applicativo utilizzato; è



quindi necessario trasformare dapprima le carte nel sistema geocentrico globale WGS84 e poi nuovamente nel sistema voluto (Gauss-Boaga, Fuso Est, nel nostro caso). Dopo l'applicazione della procedura di *warping*, si sono registrati degli errori elevati (fino ad 8 m.), distribuiti in maniera totalmente casuale nello spazio<sup>6</sup>.

Come si è visto, nel presente lavoro si è pensato pertanto di stimare *ad hoc* il sistema di equazioni polinomiali che trasforma i valori delle coordinate da D48 a Gauss-Boaga, direttamente utilizzando una serie di punti doppi di riferimento (nella fattispecie, 3 punti doppi, necessari per la stima di una funzione polinomiale di I grado), ripresi in un'area comune alle due carte.

L'applicazione del sistema di equazioni così stimato alla carta digitale jugoslava ha fatto rilevare un buon risultato all'interno del triangolo formato dai punti doppi di controllo utilizzati. In tale area, infatti, l'errore medio risulta essere limitato ad una media di 1,94 m. in Longitudine (Est - X) e di 2,94 m. in Latitudine (Nord - Y).

Al di fuori del triangolo identificato dai GCP prescelti, la trasformazione eseguita non ha prodotto risultati soddisfacenti, in quanto l'errore riscontrabile cresce sensibilmente (fino a 25 m.) e si distribuisce in modo completamente casuale nello spazio.

Ciò significa che il sistema di equazioni stimato non è applicabile ad un'area esterna a quella delimitata dai punti

doppi prescelti e questo comporta la necessità di stimare, volta per volta, un sistema di equazioni *ad hoc*, sulla base di punti calcolati su carte con aree in comune, oppure, in mancanza di supporti cartografici adatti, con strumentazione GPS mediante campagna di rilievo di punti di controllo a terra.

---

## Bibliografia

---

- BAIOCCHI V., CRESPI M.T., DE LORENZO C., "Trasformazione di datum e di coordinate per scopi cartografici: analisi delle prestazioni di alcuni software", in *Atti della 6° Conferenza Nazionale ASITA - Geomatica per l'ambiente, il territorio e il patrimonio culturale*, Milano, 2002.
- CEFALO R., MANZONI G., *GPS, principi ed applicazioni*, Edizioni Goliardiche, Trieste, 2003.
- DORLING D., FAIRBAIRN N., *Mapping*, Harlow, Longman, 1997, pp.28-34.
- ERDAS, *Imagine Field Guide*, Atlanta 2005.
- ESRI, *Using ArcView GIS*, Redlands USA, 2000.
- ILIFFE J.C., *Datums and map projections*, Caithness, Whittles Publishing, 2000.
- K.U. LEUVEN RESEARCH & DEVELOPMENT – SPATIAL APPLICATION DIVISION (a cura di), *Spatial data infrastructures in Slovenia: state of play Spring 2003*, Leuven, 2003, pp.10-14.
- KENNEDY M., KOPP S., *Understanding*

---

<sup>6</sup> Si rimanda a ESRI, 2000 per un'approfondimento della procedura implementata da ArcGIS. Per un confronto fra diversi applicativi GIS in materia di trasformazioni di coordinate, si veda Baiocchi *et al.*, op. cit.

- Map Projections*, Redlands, ESRI, 2000, pp.23-26.
- LILLESAND T.M., KIEFER R.W., *Remote sensing and image interpretation*, John Wiley & Sons, NYC, 1999.
- MIGLIACCIO F., *Cartografia tematica e automatica*, Milano, Clup, 2001.
- PERSI P., *Una cartografia per il territorio*, Istituto di Geografia, Università di Urbino, 1991.
- ROBINSON A. H., MORRISON J. L., MUEHRCKE P.C., KIMERLING A. J., GUPTILL S.C., *Elements of Cartography*, Wiley & Sons, New York, 1995.
- SESTINI A., *Cartografia generale*, Patron Ed., Bologna, 1981.
- STOPPINI A, RADICIONI F, *Trasformazioni di datum e coordinate*, in: Corso di Topografia I, Fac. Di Ingegneria, Università di Perugia, 2005.

Il presente lavoro è stato realizzato in piena collaborazione tra gli Autori. Tuttavia, a fini concorsuali, a Marco Mastro-nunzio si deve l'elaborazione dei dati, ad Andrea Favretto il resto del contributo.