

TRASFORMAZIONE DI DATUM E SISTEMI CARTOGRAFICI PER FILE DI CARTOGRAFIA NUMERICA: LA CONVERSIONE DELLA CARTOGRAFIA DI ROMA DAL SISTEMA GAUSS-BOAGA AL SISTEMA UTM-WGS84-ETRF89

M. Crespi(*), T. Fabiani(**), U. Fabiani(*), U. Filoscia(***)

(* DITS – Area di Geodesia e Geomatica, Università di Roma “La Sapienza” – v. Eudossiana, 18 – 00184 Roma
Tel. ++39-0644585097 – Fax ++39-0644585515 – E-mail mattia.crespi@uniroma1.it, fabiani.ulisse@gmail.com

(**) I.T.S. “Via Palestro”, via Palestro, 38 - 00181 Roma
Tel. ++39-064900300

(***) Cartesia S.p.A. – viale Europa, 190 00144 Roma
Tel. ++39-0636876571 – Fax ++39-0636876530 – E-mail u.filoscia@cartesiaspa.it

Riassunto

Il lavoro illustra le principali caratteristiche di un software (attualmente allo stato prototipale) destinato alla trasformazione di file cartografici numerici vettoriali (SHP e DXF) dal sistema cartografico Gauss-Boaga al sistema cartografico UTM-WGS84-ETRF89. Tale software è stato applicato con successo ad alcuni elementi della cartografia numerica ufficiale del comune di Roma alla scala di 1:2000, realizzata e gestita da Cartesia S.p.A.

Abstract

This paper illustrates the principal features of a software (nowadays at a preliminary state) devoted to numerical cartography vector files (SHP and DXF) transformation from mapping system Gauss-Boaga to mapping system UTM-WGS84-ETRF89. This software was successfully applied to some elements of the official numerical map of Rome municipality at 1:2000 scale, realized and updated by Cartesia S.p.A.

Introduzione

La trasformazione della cartografia numerica esistente, per la maggior parte riferita al sistema cartografico nazionale ROMA1940 - Gauss-Boaga, nel nuovo sistema cartografico UTM - WGS84-ETRF89 riveste notevole importanza in quanto offre la possibilità di recuperare una enorme mole di dati cartografici; inoltre il recupero di dati cartografici permette, all'interno di sistemi informativi territoriali - nei quali possono confluire direttamente tutti gli altri dati georeferenziati sulla base di rilievi GPS - di gestire, integrare e confrontare i dati convertiti. Da ultimo, i dati recuperati possono anche costituire la base cartografica di alcuni SIT.

In particolare, l'Area di Geodesia e Geomatica della Facoltà di Ingegneria dell'Università “La Sapienza” di Roma, ha avviato un progetto di conversione della cartografia ufficiale del comune di Roma (scala 1:2000) realizzata, gestita e rilasciata dalla società Cartesia S.p.A. Tale carta, realizzata mediante usuali metodologie aerofotogrammetriche e successive integrazioni con rilievi topografici a terra, è costituita da fogli in scala 1:2000, con alcune informazioni tematiche proprie della scala 1:1000, tagliati a partire dai fogli della C.T.R. della Regione Lazio alla scala 1:10000. Inizialmente la carta comprendeva anche i comuni di Guidonia e di Fiumicino, le cui rispettive cartografie non vengono però più aggiornate.

Sono evidenti i vantaggi per il comune di Roma di poter disporre della propria cartografia ufficiale nel sistema cartografico UTM - WGS84-ETRF89 (fuso 33): tutti i dati sul territorio del

comune rilevati con strumentazione GPS potranno essere direttamente inseriti in carta senza ulteriori trasformazioni che ne peggiorano comunque l'intrinseca accuratezza; ciò faciliterà anche la diffusione del GPS tra categorie che, pur operando quotidianamente sul territorio, generalmente sono poco propense ad adoperare questo strumento. Per la rilevanza della problematica nell'area romana, si pensi, ad esempio, alla relativa facilità con cui si potrebbe realizzare un sistema WEB-GIS delle emergenze archeologiche del sottosuolo (con correttamente georiferite anche le trincee di scavo per la posa dei cavi dei servizi) e il positivo impatto che questo SIT avrebbe sulla circolazione e sulla durata dei cantieri su strada (Crespi et al. 2005).

Sperimentazione

Il progetto sviluppato ha previsto che la sperimentazione venisse condotta in via preliminare sulle geometrie del foglio 37410G, e successivamente sui fogli 36416G, 37407F, 37315B, 38707N, appositamente scelti tra quelli reciprocamente più distanti sul territorio del comune.

Le griglie e gli algoritmi di trasformazione sono stati implementati in un software sperimentale (Transformer), in grado di trasformare singoli punti o file testuali di coordinate nei tre sistemi che interessano il nostro paese (ROMA1940 – Gauss-Boaga, ED1950 – UTM, WGS84 – UTM-WGS84-ETRF89). Da test effettuati precedentemente il software ha caratteristiche di accuratezza compatibili con le esigenze di una carta scala 1:2000 e risulta capace di gestire grandi flussi di dati in maniera sufficientemente veloce. Lo sviluppo e l'utilizzo di un software di conversione si è reso necessario a causa della non elevata precisione (alcuni metri) delle trasformazioni tra i datum che interessano il nostro paese disponibili nei software commerciali (Baiocchi et al., 2004). Lo sviluppo del progetto Transformer prevede non solo la creazione di un software ma anche l'inserimento delle griglie di trasformazione all'interno del software *open-source* GRASS 6.0 (Baiocchi et al., 2005).

I file necessari alla trasformazione tra i sistemi ROMA1940 – Gauss-Boaga e UTM – WGS84-ETRF89, sono stati ottenuti trattando opportunamente i file forniti da Cartesia S.p.A. nei formati SHP e DXF, che costituiscono gli elementi geometrici e testuali della cartografia. La scelta di considerare solo i formati SHP e DXF deriva dalla loro grande diffusione in ambito GIS/CAD, ovvero dalla loro natura "de facto" di formati di interscambio; inoltre la struttura di questi formati è pubblica. L'utilizzo di questi formati è stato dettato anche dalla necessità di gestire opportunamente (e per questo volutamente in contesti separati) gli elementi geometrici e quelli testuali della cartografia. Lo shapefile nasce come formato di file proprietario della ESRI e consiste fondamentalmente di un file principale (SHP), un file indice (SHX) e un *dBASE* file (DBF). Lo SHP è un file a lunghezza variabile nel quale ciascun record descrive una *feature* (ovvero un punto, una polilinea od un poligono) come un *array* di numeri indicanti le coordinate dei vertici. Il *dBASE* file (DBF) contiene gli attributi della *feature*, con una relazione, gestita da un indice numerico, uno a uno tra elemento geometrico (ad es. punto) e relativi attributi (ad es. testo, colore...). Quindi lo *shapefile* gestisce in file separati gli elementi spaziali ed i testi, che esistono solo in virtù della relazione con una *feature* e non come a se stanti. Per questo per gestire accuratamente gli elementi testuali della cartografia si è preferito ricorrere al DXF. Questo file, introdotto dalla AUTODESK, nacque come file di interscambio per operazioni CAD ed ha attualmente amplissima diffusione. Ciò è dovuto alla sua notevole flessibilità, in quanto può gestire tipologie di dati diversi (punti, linee, poligoni, testi) all'interno di un singolo file, senza fare ricorso a database esterni. Inoltre la sua struttura "a blocchi" permette la costruzione di DXF diversi per contenuto e quindi facilmente adattabili a diversi tipi di contesti. La procedura utilizzata per trasformare testi (DXF) e geometrie (SHP) è la stessa.

Le *routine* che compongono complessivamente il software attualmente implementato sono 5 (uno di lettura per SHP e DXF, uno di conversione ed uno di scrittura per SHP e PDF).

La scelta di realizzare delle *routine* apposite per la gestione dei formati SHP e DXF, pur esistendone diversi sia gratuiti che a pagamento, si lega al fatto che è stato possibile gestire al meglio i processi di lettura/scrittura dei file; per questo motivo non sono state utilizzate librerie precompilate. La realizzazione delle diverse *routine* ha messo in evidenza due metodi diametralmente diversi per realizzare la struttura dei due formati di file, per la lettura dei quali si sono messe in atto strategie differenti: per quanto riguarda gli SHP si è scritto una *routine* ad accesso binario al file, ovvero che legge il file byte per byte; per quanto riguarda i DXF, data la struttura tipo database, ovvero organizzato per sezioni (gli attributi di un database) e campi (i record di un database), si è provisto un accesso attraverso l'interrogazione dei diversi campi di alcune determinate sezioni.

Il linguaggio utilizzato è il Visual Basic, spesso poco considerato, che risulta invece molto potente per la gestione di file e per la realizzazione di piccoli programmi che eseguono poche operazioni in maniera ripetitiva. Il suo uso è così diffuso che tutti i principali software GIS e CAD (ArcGis e Autocad in testa) prevedono la possibilità di integrare *routine* in questo linguaggio.

I dati forniti dalla Cartesia S.p.A. sono stati trattati tramite due *routine* per ciascun tipo di file, appositamente create per eseguire le operazioni di lettura e scrittura delle sole coordinate dei file originali. Una *routine* legge solo le coordinate dei vertici di ciascuna *feature* dei file originali e le scrive in un file testuale di output in formato ASCII. Il file di coordinate (nel sistema ROMA1940 - Gauss-Boaga) così ottenuto è convertito in un secondo file ASCII di coordinate nel sistema UTM-WGS84-ETRF89 (fuso 33) mediante il *software* Transformer. Un'altra *routine* legge quest'ultimo file di coordinate e le scrive all'interno dello SHP (o del DXF) originale. In tal modo si ottiene un file identico a quello di partenza per tutte le altre caratteristiche tranne che per le coordinate, ora non più nel sistema nazionale ROMA1940 - Gauss-Boaga, ma nel sistema UTM-WGS84-ETRF89 (fuso 33).

Si noti che la scelta di estrarre convertire ogni singolo vertice delle polilinee e dei poligoni – operando sempre come se si trattasse di trasformazioni puntuali - permette di non alterare la struttura del file, mantenendo inalterati sia i rapporti tra i vari segmenti che compongono una polilinea e/o un poligono, sia il numero totale delle *feature* trasformate. In questo modo è possibile trasformare anche alcuni milioni di elementi senza rischio che il numero complessivo delle entità di partenza cambi una volta trasformato il file.

Nella sperimentazione sono stati trasformati circa 100.000 *feature*, ovvero alcune centinaia di migliaia di punti in meno di un minuto di tempo per ciascuna operazione (lettura, trasformazione, scrittura). Altre prove sono state condotte con file di qualche milione di punti e tutte le *routine* hanno impiegato alcuni minuti (circa 10/15) per le varie operazioni. Dal punto di vista dell'*hardware*, l'elemento fondamentale è costituito da un processore Pentium IV a 3,2 GHz.

Per valutare la qualità e l'efficienza della procedura implementata si sono effettuati alcuni test sulle entità dei 5 fogli; ne seguito si descrivono e commentano i relativi risultati.

Test sulle distanze cartografiche

Questo test è stato condotto per controllare che la conversione tra datum (ROMA1940 e WGS84-ETRF89) e tra corrispondenti sistemi cartografici (Gauss-Boaga e UTM-WGS84-ETRF89) non introducesse errori sulle distanze incompatibili con la tolleranza della carta sulle distanze.

A tal fine si sono confrontate le variazioni relative (sostanzialmente rappresentabili con un fattore di scala nell'ambito della zona in esame) tra le distanze cartografiche Gauss-Boaga e le corrispondenti UTM-WGS84-ETRF89 determinate con il software di trasformazione e quelle calcolabili impiegando il software VERTO 2 dell'IGM. In particolare, si sono considerate le

distanze tra un punto centrale rispetto alla zona di Roma (punto 170 dell'elemento 37410G) ed oltre 10000 punti situati negli altri 4 elementi.

I risultati non solo appaiono completamente soddisfacenti rispetto alla tolleranza di distanza della carta, ma emerge chiaramente anche la bontà dell'algoritmo di trasformazione utilizzato, rispetto ai valori ottenuti con VERTO 2 ovviamente considerati come riferimento.

Software prototipale (10421 PUNTI rispetto al punto 170 di 37410G)		VERTO 2 (10421 PUNTI rispetto al punto 170 di 37410G)	
Massima	Media	Massima	Media
4.13E-05	2.89E-05	3.48E-05	2.74E-05

Differenza massima	Differenza media
6.50E-06	1.45E-06

Tabella 1 – Variazioni relative sulle distanze sul piano di GAUSS: differenze tra i software di trasformazione

Test su lunghezza, orientamento e direzione delle polilinee

Il test è stato condotto sulle polilinee in quanto costituite da segmenti con orientamento diverso; quindi una verifica sulle polilinee diventa una verifica sulla omogeneità delle eventuali deformazioni nelle diverse direzioni.

Dal punto di vista analitico lo svolgimento del test è identico al precedente; calcolate le lunghezze delle polilinee omologhe si confrontano le differenze e si verifica che rientrano nella tolleranza della carta.

	L < 600 m	L > 600 m
Tolleranza Carta	$0.60 + 0.001 * L(m)$ m	1.20 m
37410G (8845 polilinee)	0.02 m	0.03 m (fino a 1255 m)
36416G (713 polilinee)	0.02 m	0.05 m (fino a 930 m)
37315B (7703 polilinee)	0.02 m	0.03 m (fino a 677 m)
37407F (5439 polilinee)	0.02 m	0.03 m (fino a 747 m)
38707N (2213 polilinee)	0.02 m	0.02 m (fino a 780 m)

Tabella 2 – Differenze medie sulla lunghezza delle polilinee

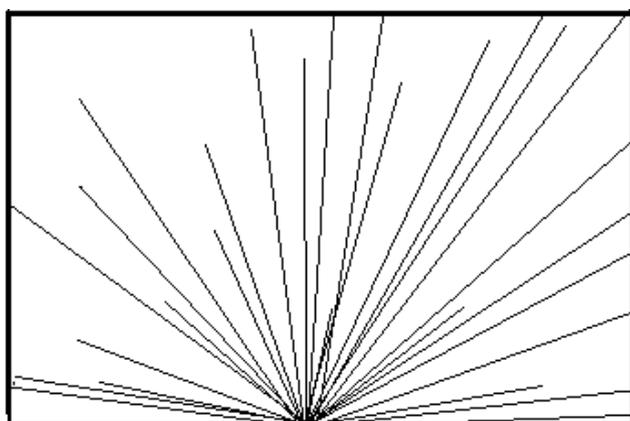


Figura 2 – Distanza tra un punto e tutti gli altri in un foglio

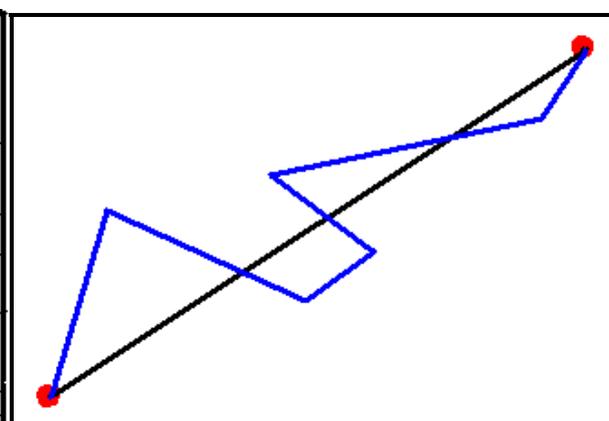


Figura 3 - Differenza tra una polilinea ed una linea

Test sugli azimut

Questo test è stato condotto calcolando gli azimut di tutti i punti rispetto allo stesso punto di riferimento nei due sistemi e poi calcolando le differenze massima e media tra gli azimut corrispondenti.

Le differenze medie così calcolate hanno valori dell'ordine di un 1/10000 di grado e mostrano una dipendenza inversa dalla distanza, nel senso che al crescere della distanza diminuisce la differenza degli azimut (Tabella 3).

Foglio	Differenza massima	Differenza media
37410G	$5.05^{\circ} * 10^{-3}$	$2.71^{\circ} * 10^{-4}$
36416G	$1.85^{\circ} * 10^{-4}$	$1.53^{\circ} * 10^{-4}$
37315B	$1.08^{\circ} * 10^{-4}$	$1.01^{\circ} * 10^{-4}$
37407F	$1.92^{\circ} * 10^{-4}$	$1.49^{\circ} * 10^{-4}$
38707N	$2.58^{\circ} * 10^{-4}$	$2.46^{\circ} * 10^{-4}$

Tabella 3 - Differenze massime e medie tra azimut nei diversi fogli

Test sul numero delle entità

Questo test è un semplice ma fondamentale controllo del numero complessivo delle *feature* (punti, polilinee e poligoni) trasformate, che deve risultare identico a quello di partenza.

La creazione di uno SHP (o DXF) di output avviene tramite la sostituzione delle coordinate originali delle *feature* di partenza con quelle trasformate e non altera i rapporti tra i record (“parti”) di una *feature*, ad esempio un segmento di una polilinea. Questo in teoria garantisce che il numero delle entità trasformate rimanga inalterato dopo la trasformazione: il semplice controllo verifica il corretto funzionamento delle *routine* di lettura/scrittura degli SHP e dei DXF.

Test su posizione, dimensione e forma delle entità

Il test è stato articolato in due prove distinte.

La prima è stata condotta attraverso la creazione di una mappa delle variazioni delle entità coinvolte. A questo scopo si è operata una rototraslazione con variazione anisotropa di scala (trasformazione affine) dei fogli trasformati su quelli originali, utilizzando i quattro vertici dei fogli come punti di controllo. Successivamente, dai file sovrapposti (originale e trasformato), sono stati generati due *raster* a informazione binaria (area occupata da poligono e area vuota) di passo 0.1m. Il *raster* delle variazioni, risultato dalla somma algebrica dei due *raster* di partenza, risulta composto da tre elementi caratterizzati da diversi indici (-1, 0, 1): l'area coincidente (0), l'area del primo *raster* (Gauss-Boaga) che non coincide con nessuna area del secondo (1), l'area del secondo *raster* (UTM-WGS84-ETRF89) che non coincide con nessuna area del primo (-1).

I relativi rapporti percentuali evidenziano come le aree non coincidenti abbiano superficie largamente inferiore alla tolleranza della carta. Inoltre le aree di non-coincidenza sono costituite da pixel isolati e sempre sovrapposti ai bordi, il che induce a ritenere che le piccole differenze rilevate tra le superfici derivino dal processo di rasterizzazione piuttosto che da differenze effettive.

La seconda prova è stata condotta tramite una rototraslazione rigida delle *feature* poligonali trasformate su quelle originali; si è proceduto poi analogamente alla prova precedente (rasterizzazione dei file e creazione della mappa delle differenze non differenze). Si è quindi verificato che la posizione, la forma e la dimensione dei poligoni rimangono pressoché le stesse nel file di partenza ed in quello di arrivo e che le zone di cambiamento sono dell'ordine di 10^{-4} - 10^{-5} rispetto all'area complessiva.

I risultati di queste due prove sono buoni come già risultava prevedibile dai test su distanze ed azimut (Tabelle 4 e 5).

Conclusioni

I test condotti su 5 elementi della carta tecnica ufficiale del Comune di Roma, prodotta e gestita da Cartesia S.p.A., hanno mostrato che il software per la trasformazione dei file vettoriali SHP e DXF dal sistema cartografico Gauss-Boaga al nuovo sistema cartografico nazionale UTM-WGS84-ETRF89, per ora implementato a livello prototipale, permette di conseguire risultati pienamente soddisfacenti sia dal punto di vista geometrico (errore medio sulle distanze dell'ordine di 1.5 mm/km, errore medio sugli azimut dell'ordine del decimillesimo di grado) sia dal punto di vista semantico (numero delle entità), con ottime prestazioni dal punto di vista computazionale.

In un prossimo futuro si ritiene indispensabile sviluppare prove ancora più consistenti, considerando un maggior numero di elementi della carta di Roma ed anche altre cartografie numeriche.

36416G				
Area totale (m ²)	Area (m ²)	%	Indice	Count (n pixel)
2.396.563,89	11,63	0,000485	-1	1.163,00
	2.396.539,62	99,998987	0	239.653.962,00
	12,64	0,000527	1	1.264,00
37315B				
Area totale (m ²)	Area (m ²)	%	Indice	Count (n pixel)
2.404.088,83	137,67	0,005726	-1	13.767,00
	2.403.811,44	99,988462	0	240.381.144,00
	139,72	0,005812	1	13.972,00
37407F				
Area totale (m ²)	Area (m ²)	%	Indice	Count (n pixel)
2.399.831,85	109,82	0,004576	-1	10.982,00
	2.399.611,35	99,990812	0	239.961.135,00
	110,68	0,004612	1	11.068,00
38707N				
Area totale (m ²)	Area (m ²)	%	Indice	Count (n pixel)
2.407.728,21	18,98	0,000788	-1	1.898,00
	2.407.690,09	99,998417	0	240.769.009,00
	19,14	0,000795	1	1.914,00

Tabella 4 - Rapporti percentuali tra aree

36416G				
Area totale (m ²)	Area (m ²)	%	Indice	Count (n pixel)
2.396.557,14	63,86	0,002665	-1	6.386,00
	2.396.429,41	99,994670	0	239.642.941,00
	63,87	0,002665	1	6.387,00
37315B				
Area totale (m ²)	Area (m ²)	%	Indice	Count (n pixel)
2.404.065,76	280,33	0,011661	-1	28.033,00
	2.403.498,25	99,976394	0	240.349.825,00
	287,18	0,011946	1	28.718,00
37407F				
Area totale (m ²)	Area (m ²)	%	Indice	Count (n pixel)
2.399.825,37	383,89	0,015997	-1	38.389,00
	2.399.059,56	99,968089	0	239.905.956,00
	381,92	0,015914	1	38.192,00
38707N				
Area totale (m ²)	Area (m ²)	%	Indice	Count (n pixel)
2.407.723,52	26,04	0,001082	-1	2.604,00
	2.407.670,79	99,997810	0	240.767.079,00
	26,69	0,001109	1	2.669,00

Tabella 5 - Rapporti percentuali tra aree

Bibliografia

Baiocchi V., Brovelli M.A. Crespi M., Negretti M., Rossi L., 2004. "Trasformazione tra datum e sistemi cartografici in ambito nazionale: implementazione di un software in ambienti Windows e Grass". Atti della Conferenza ASITA 2004, pp. 205-211.

Crespi M., De Vendictis L., Fabiani U., Luzietti L., Mazzoni A., 2005. "The archaeological information system of the underground of Rome: a challenging proposal for the next future". Proceedings del XX convegno C.I.P.A., Torino, settembre 2005 (in stampa).

Baiocchi V., Crespi M., De Vendictis L., Fabiani U., Macciachera P., Zatelli P., 2005. "Implementazione di trasformazioni di datum in ambito nazionale nel software open-source GRASS: metodologie, problemi e sperimentazioni", Geomatics Workbooks n. 5 (<http://geomatica.como.polimi.it/workbooks/>) (in stampa).