

STIMA DEI PARAMETRI DI UNA TRASFORMAZIONE CONFORME 3D

di Ernesto Sferlazza

Il presente articolo vuole illustrare un metodo pratico per determinare i sette parametri di una trasformazione conforme tridimensionale (3D), comunemente utilizzata nelle operazioni di conversione di coordinate tra datum differenti, avendo a disposizione un insieme di punti dei quali siano note le coordinate espresse in entrambi i sistemi di riferimento.

Per esigenze di sintesi si è focalizzata l'attenzione sui passaggi ritenuti più salienti, dandone per scontati altri già di uso frequente nella pratica GIS. Pertanto si è implicitamente assunto che il lettore cui ci si rivolge:

- ▶ sia a conoscenza degli elementi essenziali di geodesia e di cartografia, quali ad esempio il concetto di datum o il significato di coordinate proiettate, geografiche e geocentriche;
- ▶ sia autonomamente in grado di compiere operazioni basilari quali la generazione di un tema di punti a partire da una lista di coordinate, o la conversione da coordinate piane a coordinate geografiche nell'ambito dello stesso datum utilizzando una qualunque applicazione desktop GIS.

Non è richiesto, invece, che il lettore sia altrettanto capace di destreggiarsi operando direttamente con strumenti matematici più sofisticati, quali ad esempio il calcolo matriciale o i metodi di regressione lineare.

Cenni teorici

Uno dei metodi più diffusi per trasformare le coordinate da un sistema geodetico ad un altro è quello della trasformazione conforme 3D, detta anche trasformazione per similitudine, in cui i parametri che consentono di realizzare il passaggio tra i due diversi datum sono in numero di sette, a ciascuno dei quali può essere attribuito un ben determinato significato geometrico.

Considerando per ciascun sistema geodetico la terna cartesiana associata, tre parametri definiscono le componenti del vettore di scostamento lineare tra le origini delle due terne cartesiane, altri tre parametri le componenti di rotazione reciproca tra le due terne, mentre il settimo parametro rappresenta la variazione (isotropa) di scala.

Tra le più diffuse implementazioni di tal genere si annoverano la trasformazione di Helmert a 7 parametri, la trasformazione di Bursa-Wolf e la trasformazione di Molodensky-Badekas.

La figura 1 mostra lo schema geometrico della trasformazione di Bursa-Wolf. I tre assi X_1, Y_1 e Z_1 che costituiscono la terna cartesiana associata al sistema 1 sono ruotati di angoli $\epsilon_x, \epsilon_y, \epsilon_z$ rispetto agli assi X_2, Y_2 e Z_2 della terna cartesiana associata al sistema 2; lo scostamento tra l'origine del sistema 1 e quello del sistema 2 può essere scomposto nelle componenti t_x, t_y e t_z lungo le direzioni degli assi del

sistema 2; \mathbf{l}_1 ed \mathbf{l}_2 sono i vettori delle coordinate del punto P nei rispettivi sistemi, mentre \mathbf{t} è il vettore delle traslazioni. Viene di seguito presentata, ma solo per completezza di esposizione e senza la pretesa di voler entrare nel dettaglio della trattazione matematica rigorosa, la relazione tra le coordinate dei due sistemi, scritta sotto forma di equazioni separate per ciascuna coordinata, cui si giunge nell'ipotesi di valori molto piccoli delle rotazioni, del parametro di variazione di scala ds e delle traslazioni (queste ultime molto piccole anch'esse, se raffrontate ai valori delle coordinate):

$$\begin{aligned} X_2 &= X_1 + Y_1 \epsilon_z - Z_1 \epsilon_y + X_1 ds + t_x \\ Y_2 &= -X_1 \epsilon_z + Y_1 + Z_1 \epsilon_x + Y_1 ds + t_y \\ Z_2 &= X_1 \epsilon_y - Y_1 \epsilon_x + Z_1 + Z_1 ds + t_z \end{aligned}$$

Al fine di ottenere i 7 parametri (traslazioni t_x, t_y, t_z , rotazioni $\epsilon_x, \epsilon_y, \epsilon_z$ e fattore di scala ds) di una trasformazione di Bursa-Wolf è necessario disporre di un insieme di punti dei quali siano note le coordinate in entrambi i sistemi di riferimento (per brevità denominati punti "doppi").

Considerando un insieme di N punti doppi si dispone di 3N equazioni a fronte di 7 incognite (i parametri da determinare).

Nell'ipotesi che gli scarti tra le coordinate note e quelle calcolate con il modello siano trattabili come variabili casualmente distribuite, è possibile applicare tecniche di regressione, come il metodo dei minimi quadrati, che consentono stimare i parametri cercati.

Applicazione ad un caso pratico.

Tra le problematiche che riscuotono un certo interesse in materia di cartografia in ambito nazionale, vi è quella riguardante la trasformazione di coordinate catastali, quando il datum coinvolto utilizza l'ellissoide di Bessel (nella maggior parte dei sistemi catastali in Italia il datum adotta l'ellissoide di Bessel 1841, orientato a Genova per il Nord

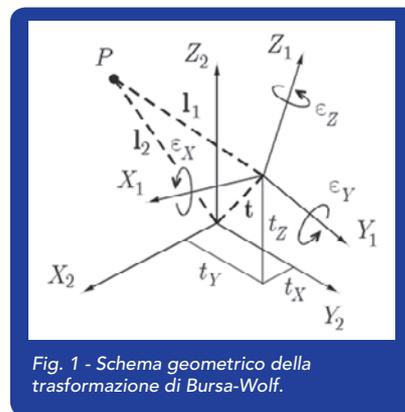


Fig. 1 - Schema geometrico della trasformazione di Bursa-Wolf.

Italia, a Monte Mario - Roma - per alcune zone dell'Italia centrale, a Castanea delle Furie - Messina- per gran parte dell'Italia centrale e per il Sud Italia).

Tra i dati a disposizione reperibili (cavilli burocratici a parte) vi sono le monografie dei punti di impianto della rete catastale, nelle quali si trovano contestualmente riportate le coordinate proiettate nel sistema catastale e le coordinate Gauss Boaga (in realtà molte volte si tratta di coordinate provvisorie, in quanto non ancora corrette mediante compensazione della rete all'epoca dell'impianto dei punti stessi).

Nel presente esempio si vuol pervenire alla determinazione dei parametri di *Bursa-Wolf* tali da realizzare in maniera speditiva, nell'area interessata dall'insieme dei punti doppi, la trasformazione di coordinate dal sistema catastale al *datum* WGS84.

La figura che segue mostra i valori delle coordinate desunti dalle monografie di un insieme di punti distribuiti sull'area di interesse, trascritti in un foglio di calcolo.

Comune	Nome Punto	Ordine	Y_Cassini	X_Cassini	Y_GaussB	X_GaussB
Agrigento	Agnellaro	1	-5118,92	-13889,53	6136788,60	2390267,36
Agrigento	Agrigento	1	-11020,46	-17489,62	6130936,50	2394143,40
Agrigento	Aquilata	1	-5997,129	377,139	6135727,22	2412079,52
Agrigento	Barruggani 1	1	-7749,69	-15486,60	6139391,69	2390311,72
Agrigento	Barruggani 2	1	-2229,78	-17664,65	6138820,28	2394289,74
Agrigento	Belavia Petrosa	1	-8975,49	-13489,61	6133824,97	2398354,49
Agrigento	Barra	1	-627,45	-28304,00	6130268,56	2392225,20
Agrigento	Burraino	1	-13997,40	-7694,94	6123964,22	2404000,15
Agrigento	Cese Barra	1	-7284,13	-28350,20	6138839,37	2393342,33
Agrigento	Rupe Abene	1	-12020,82	-14239,72	6129917,50	2395589,94
Alessandria della Rocca	Bongiorno	2	6488,89	-21975,74	6152473,94	2394220,97
Alessandria della Rocca	Boschetto	2	18297,91	-35635,39	6160374,50	2391609,29
Alessandria della Rocca	Carlisi	2	14843,79	-29242,20	6166500,29	2392921,88
Alessandria della Rocca	Caltvo	2	19387,87	-29411,45	6162488,32	2392829,52
Alessandria della Rocca	Civino	2	14792,42	-29941,27	6167927,68	2392225,18
Aragona	Aragona Chiesa	1	-796,11	-14249,63	6141333,32	2397729,80
Aragona	Aragona Montagna	1	738,78	-14641,60	6142672,74	2395822,02
Aragona	Barruggani	1	-9452,95	-17222,91	6138295,74	2394174,79
Aragona	Rocca del salto	1	6295,62	-15099,10	6147927,68	2399462,53
Bivona	Acqui Bianche	3	25907,48	-35481,55	6160658,50	2397885,15
Bivona	Bagascia	2	12816,12	-34428,88	6164719,65	2377125,63
Bivona	Galata	2	11390,20	-38009,71	6153404,14	2374129,42
Bivona	Bivona	2	20081,63	-38881,79	6163393,32	2383195,62

Fig. 2 - Foglio di calcolo contenente dati inerenti un insieme di punti di impianto di un sistema catastale locale.

Sequenza operativa

Una volta acquisite le monografie e trascritti in un foglio di calcolo i valori delle doppie coordinate, la procedura si sviluppa attraverso i seguenti passaggi, qui sinteticamente elencati e successivamente trattati in maggior dettaglio:

- 1) definizione dei sistemi di riferimento di partenza e di arrivo e conversione delle coordinate da piane a geografiche;
- 2) generazione di temi vettoriali (punti) in formato *shapefile* a partire dalla lista di coordinate geografiche;
- 3) ricerca di eventuale presenza punti anomali (*outliers*);
- 4) sfoltimento (*thinning*), per rendere la distribuzione spaziale dei punti quanto più possibile sparsa, minimizzando la presenza di "grappoli" (*cluster*) di punti;
- 5) conversione dei temi nel formato vettoriale gestito da ILWIS;
- 6) stima dei parametri della trasformazione di Bursa-Wolf mediante ILWIS.

Le fasi di ricerca degli *outliers* e di sfoltimento dei *cluster*, pur se importanti per quanto riguarda l'attendibilità dei risultati, non sono propedeutiche per lo svolgimento delle fasi successive.

Definizione dei sistemi di riferimento e conversione delle coordinate da piane a geografiche.

Il metodo proposto richiede che le coordinate in entrambi i sistemi di riferimento siano espresse mediante i valori di longitudine e di latitudine riferiti ai rispettivi *Datum* di competenza.

Il passaggio dalle coordinate Gauss Boaga alle coordinate geografiche espresse nel sistema WGS84 si può realizzare in maniera precisa e al contempo speditiva per mezzo del servizio WCTS offerto dal Geoportale Nazionale (<http://www.pcn.minambiente.it/wctscient/>), avendo cura di rispettarne i limiti legali di utilizzo.

Per quanto riguarda il sistema di riferimento geodetico catastale, preliminarmente è necessario adottare un *datum* "personalizzato" che utilizza l'ellissoide di *Bessel 1841*, impostando sempre l'origine delle longitudini a *Greenwich*. La conversione di coordinate da proiettate a geografiche nell'ambito del *datum* catastale si realizza impostando i seguenti parametri:

- metodo di proiezione: Cassini;
- valori di falso Est e falso Nord: coordinate piane catastali del centro di sviluppo (0, 0);
- meridiano centrale: longitudine rispetto a *Greenwich* del centro di sviluppo (sul *datum* catastale);
- latitudine dell'origine: latitudine del centro di sviluppo (riferita al *datum* catastale);
- fattore di scala: 1.00

Talvolta può accadere che non siano noti tutti i parametri necessari per definire compiutamente la proiezione. In tali casi il problema si complica un po'.

Infatti, nel caso in cui non sia possibile risalire alle coordinate geografiche "vere" (cioè riferite al *datum* effettivo) del centro di sviluppo del sistema catastale locale rispetto a *Greenwich*, si possono assumere delle coordinate approssimate.

Nel caso, ad esempio, dei centri di sviluppo dei sistemi catastali di piccola estensione, nel sito <http://www.fiduciali.it> è possibile reperire le coordinate geografiche approssimate riferite al *datum* "Genova1902", basato sull'ellissoide Bessel 1841 orientato a Genova I.I.M. secondo la definizione astronomica del 1902 e con meridiano di riferimento passante per *Greenwich*.

Il fatto di assumere per il centro di sviluppo valori delle coordinate geografiche leggermente diversi da quelli riferiti al *datum* effettivo equivale ad adottare un *datum* catastale fittizio leggermente diverso.

Tale evenienza non incide in maniera apprezzabile l'accuratezza del modello di trasformazione se si considera che i valori realmente significativi e di interesse pratico nella cartografia catastale si riferiscono alle coordinate piane e non alle coordinate geografiche.

Ciò in quanto queste ultime, riferite al *datum* catastale, costituiscono solo valori di calcolo intermedi, meramente strumentali nell'ambito del modello di trasformazione in questione.

Nel presente esempio sono stati utilizzati dati desunti dalle monografie di punti della rete di inquadramento catastale nel territorio della Provincia di Agrigento.

Il centro di sviluppo locale è Monte Castelluccio, per il quale è possibile reperire in letteratura (Trevisani M., 2003) le coordinate i valori delle coordinate riferiti al *datum* catastale *Bessel-Castanea delle Furie*.

Combinando tali dati con quelli relativi al centro di emanazione (Clifford J. Mugnier, C.P., C.M.S.,2005) si perviene alla determinazione delle coordinate di Monte Castelluccio nel *datum* catastale, con la longitudine riferita a *Greenwich* Latitudine: 37°24'52.480" Nord (37.414577777778° N), Longitudine: 13°46'50.295" Est (13.780637500000° E - meridiano di rif. *Greenwich*).

Con i dati a disposizione è possibile definire compiutamente la proiezione dei dati in coordinate catastali, uti-

lizzando una delle codifiche utilizzate nell'ambito del repertorio dei sistemi di riferimento disponibile nel sito web <http://spatialreference.org/>.

La definizione appena creata può anche essere resa disponibile nel sito suddetto, effettuando l'upload nella lista dei sistemi di riferimento proposti dagli utenti (spatialreference.org/ref/sr-org/7848/).

```
PROJCS["Cassini_MCastelluccio_Castanea",
GEOGCS["GCS_Bessel_Castanea",
DATUM["<custom>",
SPHEROID["Bess
el_1841",6377397.155,299.1528128]],
PRIMEM["Greenwich",0.0],
UNIT["Degree",0.0174532925199433]],
PROJECTION["Cassini"],
PARAMETER["False_Easting",0.0],
PARAMETER["False_Northing",0.0],
PARAMETER["Central_Meridian",13.780637500000],
PARAMETER["Scale_Factor",1.0],
PARAMETER["Latitude_Of_Origin",37.4145777777778],
UNIT["Meter",1.0]]
```

Nella definizione di cui sopra i parametri "Central_Meridian" e "Latitude_Of_Origin" altro non sono che le coordinate geografiche, rispettivamente longitudine e latitudine, del centro di sviluppo del sistema catastale in esame.

Una volta definito il sistema di proiezione cartografica è possibile convertire da coordinate piane a coordinate geografiche. Se si preferisce operare utilizzando temi vettoriali, bisogna prima generare il tema di punti in coordinate piane catastali e poi convertirlo in coordinate geografiche utilizzando, ad esempio, l'utility *ogr2ogr* di *FWTools*.

Nell'esempio, il file (di input) dei punti in coordinate piane catastali è stato denominato "XY_7848.shp", mentre al file di output, in coordinate geografiche sul datum catastale è stato assegnato il nome "LonLatBessel.shp"; le definizioni dei sistemi di rappresentazione di partenza (-s_srs) e di arrivo (-t_srs) possono essere impostate come segue:

```
Ogr2ogr -s_srs "+proj=cass
+lat_0=37.4145777777778
+lon_0=13.780637500000 +x_0=0.0000
+y_0=0.0000 +k_0=1.000 +ellps=bessel
+units=m +no_defs" -t_srs "+proj=longlat
+ellps=bessel +no_defs" LonLatBessel.shp
XY_7848.shp
```

In alternativa è possibile operare direttamente sulla lista delle coordinate, memorizzata come sequenza di righe di testo (valori dell'ascissa e dell'ordinata, separati da uno spazio) nel file di testo "XY_7848.txt".

Per ottenere i valori delle coordinate geografiche riferite all'ellissoide di Bessel (utilizzato dal datum catastale), si può utilizzare il seguente comando "cs2cs" nella shell di *FWTools*, come mostrato nella successiva figura.

```
cs2cs -f %.9f +proj=cass
+lat_0=37.4145777777778
+lon_0=13.780637500000 +x_0=0.0000
+y_0=0.0000 +k_0=1.000 +ellps=bessel
+units=m +no_defs +to +proj=longlat
+ellps=bessel +no_defs < XY_7848.txt > Lon-
LatBessel.txt
```

I valori della coordinate geografiche, ottenuti applicando all'inverso (da proiettate a geografiche) le formule della proiezione di Cassini, vengono quindi scritti come sequenza di righe di testo nel file di output "LonLatBessel.txt" (il parametro "-f %.9f" serve per impostare il formato decimale per le misure angolari nel file di output).

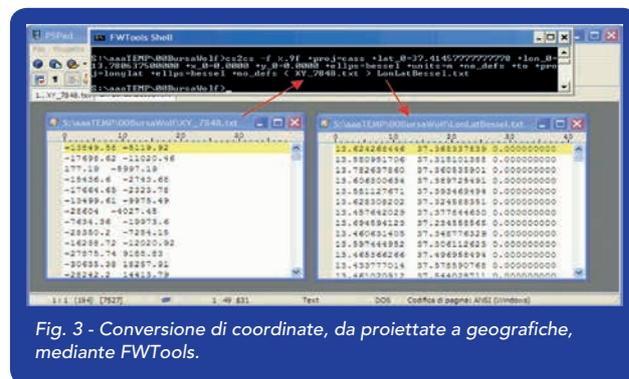


Fig. 3 - Conversione di coordinate, da proiettate a geografiche, mediante FWTools.

Infine, si possono importare i dati dal file di testo al foglio di calcolo e generare i temi vettoriali in coordinate geografiche.

Ricerca dei punti anomali

Viene qui solo accennato un metodo empirico che può essere di aiuto nella ricerca di eventuali outliers.

Inizialmente vengono calcolate le differenze di latitudine e di longitudine che si riscontrano nel passaggio dal datum catastale a quello di arrivo, per tutti i punti noti dell'insieme. A ciascun punto del tema di partenza risultano in tal modo associati i valori delle funzioni di trasformazione (scostamento di latitudine e scostamento di longitudine) che consentono di effettuare le conversioni da un sistema all'altro. Considerando separatamente le due funzioni di trasformazione possono essere generate, per interpolazione, due differenti superfici virtuali: una per lo scostamento delle latitudini ed una per lo scostamento delle longitudini.

Se si sceglie un metodo di interpolazione che genera superfici con scostamenti molto ridotti o nulli in corrispondenza dei punti noti (ad esempio *tensioned spline* o TIN) è possibile rilevare irregolarità localizzate, come nella figura che si riferisce agli scostamenti in longitudine.

Tali anomalie possono verosimilmente indicare un errore nella determinazione o nella trascrizione delle coordinate del punto noto intorno al quale si localizzano, che così può eventualmente essere scartato nel calcolo del modello di trasformazione, avendolo considerato come outlier. Le superfici generate nuovamente dopo averle depurate dalla presenza dei presunti outlier risultano avere un andamento piuttosto regolare in corrispondenza della "nuvola" di punti che le ha generate.

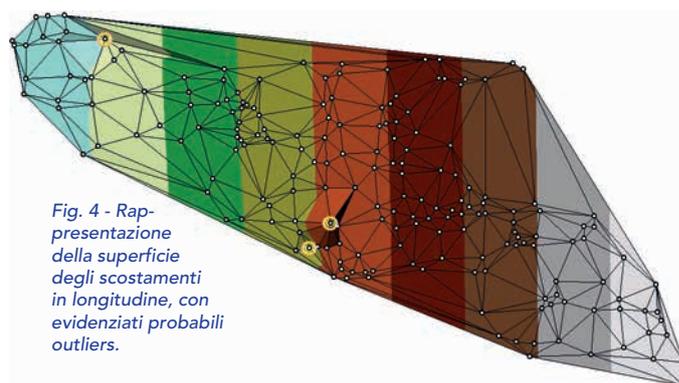


Fig. 4 - Rappresentazione della superficie degli scostamenti in longitudine, con evidenziati probabili outliers.

Un approccio più rigoroso può essere condotto applicando i metodi della statistica ai vettori che rappresentano gli scostamenti.

Sfoltimento dei cluster

Dall'esame visivo della figura precedente è possibile anche intuire la presenza di *cluster*, per cui sarebbe ulteriormente necessario effettuare un'operazione di sfoltimento (*thinning*), argomento che tuttavia non viene trattato nel presente testo.

Cenni sull'utilizzo di ILWIS

ILWIS, acronimo di "Integrated Land and Water Information System", è un software libero avviato nel 1984 con un progetto sovvenzionato da parte del Ministero della Cooperazione allo Sviluppo olandese, sviluppato inizialmente da un istituto di istruzione superiore autonomo (ITC), cui è successivamente subentrato 52North, un consorzio di sviluppatori *open source*.

Il pacchetto di installazione può essere scaricato al link seguente:

<http://52north.org/communities/ilwis/ilwis-open>

Il software integra funzionalità vettoriali e *raster* in un unico pacchetto software, ma in questa sede si esamineranno solo le funzionalità che servono al presente scopo.

La versione qui utilizzata è la 3.8.3.0.

Dopo aver avviato l'applicazione, è possibile esaminare il contenuto delle cartelle presenti negli archivi del computer, dopo avere attivato la scheda "Navigator" del pannello delle operazioni ("*operations*") dell'interfaccia.

Una volta selezionata la cartella attiva, la relativa finestra che ne mostra il contenuto verrà aperta nell'area di lavoro a destra del pannello.



Fig.5 - Scheda di navigazione attiva nella finestra di lavoro di ILWIS.



Fig. 6 - Avvio del comando "New Coordinate Sistem".

Impostazione dei sistemi di riferimento

A ciascun tema geografico dev'essere associato il sistema di riferimento che gli compete, collegandolo ad un "oggetto" di ILWIS denominato, appunto "Coordinate System".

Tale oggetto viene creato la prima volta utilizzando il comando *createcsy*, presente come voce (*Coordinate System*) del sottomenù *Create* del menù *File*, oppure attivabile mediante l'icona corrispondente (*Create -> New Coordinate System*) presente

nella scheda *Operation-Tree* del pannello delle operazioni.

Lanciando il comando si apre la finestra *Create Coordinate System*, nella quale si inserisce il nome da assegnare al nuovo sistema di riferimento, una eventuale breve descrizione ed infine la tipologia.

Se il sistema di riferimento è geografico (latitudine e longitudine), la tipologia da impostare è *LatLon*.

Una volta confermati i dati inseriti, si apre una nuova finestra, nella quale bisogna specificare gli ulteriori parametri, relativi all'ellissoide ed eventualmente al *datum*.

Nel caso in esame il sistema di riferimento per il tema in coordinate geografiche catastali è basato sull'ellissoide di *Bessel-1841*, mentre per il tema di arrivo il sistema di riferimento da creare è basato su *WGS84*, già presente nella lista dei *datum* pre-impostati.

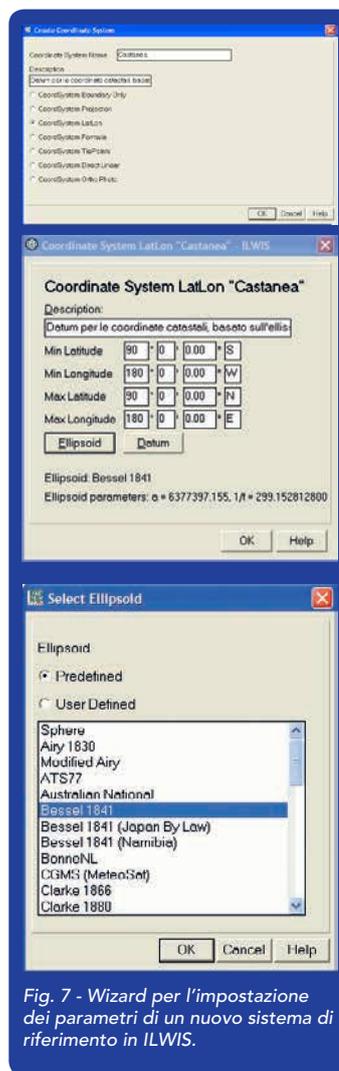


Fig. 7 - Wizard per l'impostazione dei parametri di un nuovo sistema di riferimento in ILWIS.

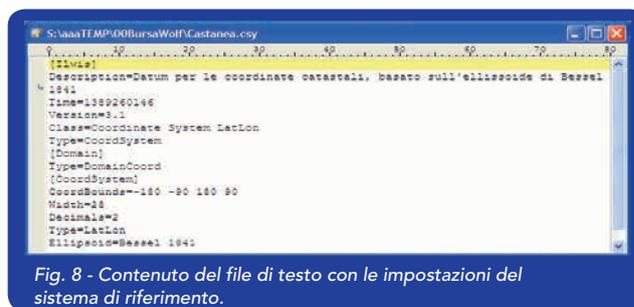


Fig. 8 - Contenuto del file di testo con le impostazioni del sistema di riferimento.

Al termine della procedura, per ciascuno dei sistemi di riferimento creati, le impostazioni verranno memorizzate su disco all'interno di un file di testo avente il nome dell'oggetto creato ed estensione ".csy".

Importazione dei temi puntuali in ILWIS.

I temi puntuali precedentemente creati in formato *shapfile* devono essere importati in ILWIS.



Fig. 9 - Avvio del comando "Import Map".

A tal fine si utilizza il comando *import*, disponibile nel sottomenù *Import/Export* del menù *Operations*, oppure attivabile mediante l'icona corrispondente (*Import/Export -> Import Map*) presente nella scheda "Operation-Tree" del pannello delle operazioni.



Fig. 10 - Finestra per l'importazione di temi vettoriali da formati vari al formato di ILWIS.

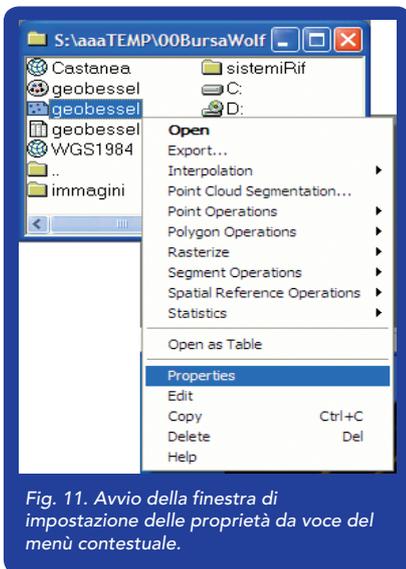


Fig. 11 - Avvio della finestra di impostazione delle proprietà da voce del menù contestuale.

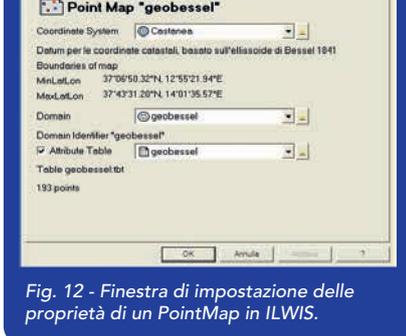


Fig. 12 - Finestra di impostazione delle proprietà di un PointMap in ILWIS.

Lanciato il comando, si apre la finestra di import, che consente di selezionare lo *shapefile* e di assegnare il nome (preferibilmente breve) del tema importato. Ne risulterà un "Point Map", che in ILWIS rappresenta l'equivalente dello *shapefile* puntuale.

Tra le proprietà che competono a quest'ultimo, è necessario assegnare il sistema di riferimento. A tale scopo si può selezionare il tema di punti ed aprire, tramite menù contestuale, la finestra di impostazione delle proprietà.

Nella finestra delle proprietà va, infine, selezionato il sistema di riferimento, tra quelli precedentemente creati ed elencati nella lista della casella *Coordinate System*.

Se si effettua un doppio click sull'icona di un *PointMap* si apre una nuova finestra, nella quale viene mostrata la mappa (o vista) con la rappresentazione geografica del tema puntuale.

Sulla stessa mappa è possibile caricare anche il secondo tema puntuale,

come mostrato nella figura che segue, dove si può osservare lo scostamento tra la rappresentazione dei punti nei due diversi sistemi di riferimento.

Stima dei parametri della trasformazione di Bursa-Wolf
 Arrivati a questo punto tutto è pronto per poter effettuare la stima dei parametri della trasformazione cercata. A tal fine si utilizza il comando *finddatumparms*, disponi-



Fig. 13 - Rappresentazione in mappa di due Point Map, relativi al medesimo insieme di punti, ma con coordinate espresse in due differenti sistemi di riferimento.

bile nel menù *Operations*, sottomenù *Spatial Reference Operations*, sotto- sottomenù *Coordinates*, oppure attivabile mediante l'icona corrispondente (*Spatial Reference Operations -> Coordinates -> Find Datum Parameters*) presente nella scheda "Operation-Tree" del pannello delle operazioni.

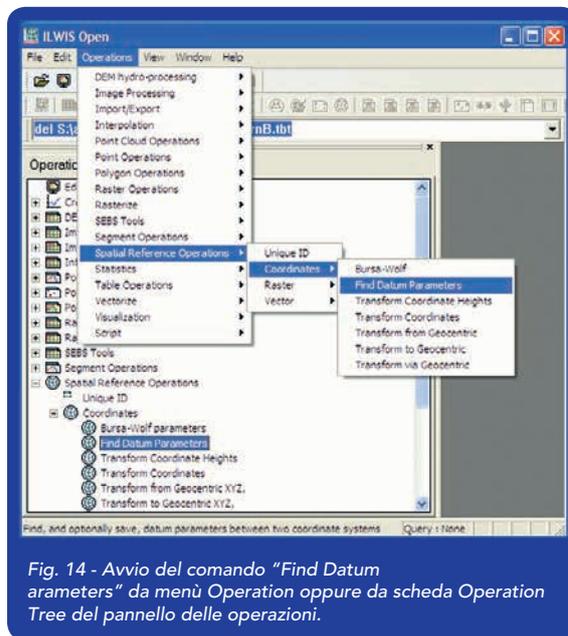


Fig. 14 - Avvio del comando "Find Datum Parameters" da menù Operation oppure da scheda Operation Tree del pannello delle operazioni.

Lanciando il comando si avvia la procedura guidata (*wizard*) *Find Datum Parameters from Control Points*.

Nella prima finestra che si apre l'utente deve specificare i nomi del tema di partenza (*Point Map with Local Datum*) e di quello di arrivo (*Point Map with Global Datum*); se sono note anche le quote ellissoidi occorre attivare la corrispondente opzione (*Use Heights*).

Proseguendo in avanti, deve scegliere l'opzione relativa al metodo di trasformazione desiderato (*Bursa-Wolf*, nel caso in esame).

La successiva finestra, relativa al passaggio finale, mostra i risultati dell'elaborazione. Cliccando sul pulsante *Fine* la finestra si chiude.

Il contenuto (*report*) dell'ultima finestra che mostra i risultati dell'operazione di stima dei parametri può essere selezionato, copiato negli appunti e memorizzato successivamente in un file di testo.

Nella prima parte è possibile leggere le informazioni relative al numero di punti effettivamente utilizzati per la stima rispetto al totale di punti validi dei temi di input, seguite dai valori dei parametri cercati:

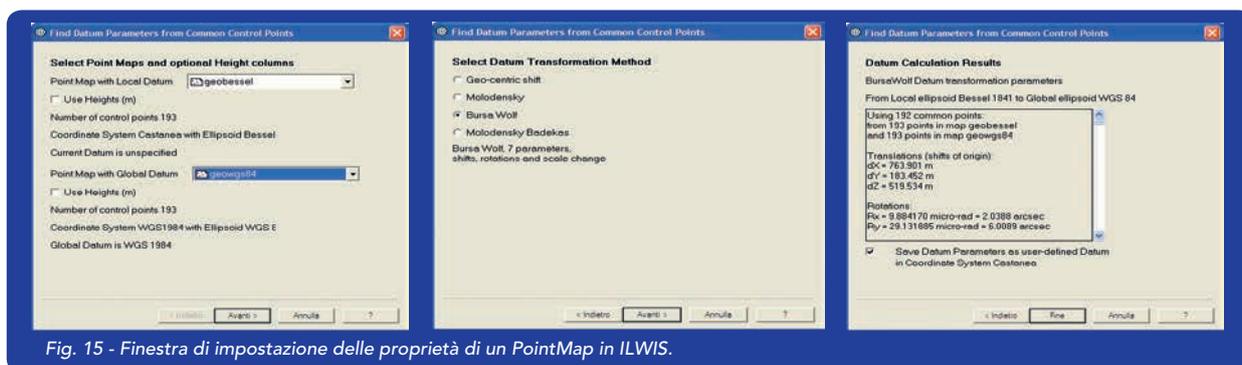


Fig. 15 - Finestra di impostazione delle proprietà di un PointMap in ILWIS.

Using 192 common points:
 from 193 points in map geobessel
 and 193 points in map geowgs84
 Translations (shifts of origin):
 dX = 763.901 m
 dY = 183.452 m
 dZ = 519.534 m
 Rotations:
 Rx = 9.884170 micro-rad = 2.0388 arcsec
 Ry = 29.131885 micro-rad = 6.0089 arcsec
 Rz = 34.904274 micro-rad = 7.1995 arcsec
 Scale difference:
 dScale = -0.000035296542 = -35.296542 ppm

A seguire sono riportate le informazioni sull'accuratezza della trasformazione espressa in termini di differenze la posizione di ciascun punto stimata sul datum di arrivo applicando la trasformazione la posizione reale (coordinate note) sullo stesso datum . Tali valori sono espressi in millimetri, nelle direzioni della latitudine, della longitudine e della quota ellissoidica. Se ne riporta in appresso uno stralcio di esempio.

Accuracy for Lat, Lon and Height:
 using 192 common points,

Deviations: (dLat, dLon, dHeight) in mm
 WGS 84 (transformed from Bessel 1841) --
 (minus) WGS 84 (given)
 Pointnr
 nr 1: 126.050498 125.583109 6.576730
 nr 2: -114.914384 -138.405466 -0.100479
 nr 3: 80.811086 192.799856 7.840075
 [...]
 nr 191: -101.613824 7.838668
 4.660289
 nr 192: -111.854506 10.886164
 4.371160
 out of 193 valid control points.
 by retransforming the active points through
 CTS conversion.

Purtroppo la numerazione dei punti effettivamente utilizzati non corrisponde alla numerazione dei punti del tema di input, per cui non è possibile individuare immediatamente quali punti sono stati effettivamente scartati nel calcolo. Le ultime righe riportano le statistiche sugli scarti rilevati tra le coordinate calcolate mediante la trasformazione e le coordinate note che esse invece hanno realmente nello stesso sistema di riferimento:

R3 UrbanTools
 VEDERCI CHIARO
 SUL TERRITORIO

www.r3-gis.com/urbantools/

R3 TREES
 MANUTENZIONE
 EFFICIENTE DEL
 VERDE PUBBLICO

www.r3-gis.com/trees/

R3 EcoGIS
 MONITORAGGIO CO₂
 E PIANI D'AZIONE

www.r3-gis.com/ecogis/

R3 TechNET
 GESTIONE DELLE
 RETI TECNOLOGICHE

www.r3-gis.com/technet/

R3 STAT
 DATI STATISTICI
 SU MAPPA

www.r3-gis.com/stat/

R3 SIGNS
 GESTIONE DELLA
 SEGNALETICA
 STRADALE

www.r3-gis.com/signs/



www.r3-gis.com



```
RMS_Lat = 0.004275742 arcsec (= ~ 131.96735935 mm)
RMS_Lon = 0.006764383 arcsec (= ~ 165.48836367 mm)
RMS_Height = 10.253 mm
Max_Lat_Error = 0.013234342 arcsec (~
408.46733952 mm) at pnt 181
Max_Lon_Error = 0.012348983 arcsec (~
302.11372462 mm) at pnt 100
Max_Height_Error = 34.087 mm at pnt 93
```

Se si sceglie di memorizzare i parametri del metodo di trasformazione all'interno della definizione del datum locale (quello di partenza), attivando la specifica opzione presente nella finestra, il file .csy relativo al datum locale viene riscritto. In coda, la singola riga con il nome dell'ellissoide dell'esempio viene sostituita dalle seguenti:

```
Datum=User Defined
Ellipsoid=Bessel 1841
[Datum]
dx=763.900676039530
dy=183.452353725742
dz=519.533519812506
Type=User Defined BursaWolf
rotX=0.0000098842
rotY=0.0000291319
rotZ=0.0000349043
dS=-0.0000352965
```

Va rilevato che, a seguito della modifica del sistema di riferimento locale, al successivo riavvio di ILWIS il tema di punti di partenza apparirà trasformato "al volo" e pertanto sovrapponibile (con gli scarti minimi di cui si è detto) al tema dei punti noti in coordinate WGS84.

Conclusioni

La trasformazione di coordinate tra datum differenti può essere attuata utilizzando diversi approcci.

Tra questi, i metodi basati su una trasformazione conforme 3D sono normalmente implementati nei moderni applicativi GIS e consentono, il più delle volte, di conseguire buoni livelli di accuratezza.

Anche nei casi in cui si renda necessario pervenire a modelli ancora più performanti, quali i grigliati di scostamenti, la determinazione della trasformazione conforme 3D al netto delle distorsioni rimane un passo obbligato, seppure intermedio, dell'intera procedura.

In taluni casi, che riguardano aree di limitata estensione (come può essere un singolo territorio comunale) è possibile verificare che il modello conforme a sette parametri risulta già sufficiente per le precisioni richieste a scala nominale anche grande (ad esempio 1:2000).

Un'applicazione di interesse generale riguarda la stima dei parametri di una siffatta trasformazione per la cartografia catastale, nei casi in cui sia reperibile un insieme di punti in doppie coordinate ben distribuiti su una determinata area di interesse.

La procedura proposta è indubbiamente alla portata di un buon numero di operatori ed esperti GIS, in considerazione anche della disponibilità di applicativi *Open Source* adeguati allo scopo e di semplice utilizzo.

Rimane ancora l'auspicio che a ciò possa seguire anche una concreta apertura dei dati geografici, tra cui quelli riguardanti la cartografia catastale, in modo da poter favorire lo sviluppo di nuove applicazioni dedicate ed il superamento dell'attuale momento di crisi, economica ma anche culturale.

Parole chiave

GIS; CONVERSIONE COORDINATE; TRASFORMAZIONE 3D; BURSA-WOLF; WGS84

Bibliografia

Deakin R.E. (2006). A note on the Bursa-Wolf and Molodensky-Badekas transformations - *School of Mathematical & Geospatial Sciences RMIT University* - <http://user.gs.rmit.edu.au/rod/files/publications/Similarity%20Transforms.pdf>
 Trevisani M. (2003). Cenni sui Sistemi Informativi Territoriali con appunti di geodesia, topografia e cartografia - *Università degli studi di Pisa* - http://www.di.unipi.it/~mogorov/Dispensa_Cartografia_Trevisani.pdf
 Clifford J. Mugnier, C.P., C.M.S. (2005) Grids and Datums - Italian Republic - *PHOTOGRAMMETRIC ENGINEERING & REMOTE SENSING* - August 2005, pagg. 889-890. <http://www.asprs.org/a/resources/grids/08-2005-italy.pdf>
 Timar G., Baiocchi V., Lelo K. (2011). Geodetic datums of the italian cadastral systems. - *Geographia Technica*, No. 1, 2011, pp. 82 to 90. http://sas2.elte.hu/tg/patrick_it/08_gabor_timar_valerio_baiocchi_keti_lelo_geodetic_datums_of_the_italian_cadastral_systems.pdf
 Camiciottoli F., Surace L. (2008). Trasformazioni planimetriche di coordinate in ambito catastale: il caso della Provincia di Arezzo. - *Atti della 23a conferenza ASITA*, -21-24 ottobre. 2008, L'Aquila. <http://www.attiasita.it/Asita2008/Pdf/371.pdf>
 Sferlazza E., Falciano A. (2009). Trasformazione della cartografia catastale mediante grigliati NTV2 - *Atti della 13a conferenza ASITA*, -1-4 dicembre. 2009, Bari - <http://www.attiasita.it/Asita2009/Pdf/083.pdf>

Abstract

THE AIM OF THIS MONOGRAPH IS TO EXPLAIN A PRACTICAL METHOD TO FIND THE SEVEN PARAMETERS OF A CONFORMAL THREE-DIMENSIONAL (3D) TRANSFORMATION, COMMONLY USED FOR COORDINATE CONVERSION BETWEEN DIFFERENT DATUMS, GIVEN THE COORDINATES OF A SET OF POINTS EXPRESSED IN BOTH REFERENCE SYSTEMS.

THIS ISSUE, IN PARTICULAR, DEALS WITH THE BURSA-WOLF TRANSFORMATION'S PARAMETERS, ALSO USED IN THE OPERATION METHODS SUPPORTED BY EPSG TO PERFORM DATUM TRANSFORMATION TO WGS84, BY MEANS OF "TOWGS84" VALUES.

THE TOPIC IS ILLUSTRATED THROUGH A PRACTICAL EXAMPLE, HAVING AS SUBJECT THE TRANSFORMATION USED TO CONVERT COORDINATES RELATED TO A LOCAL CADASTRAL REFERENCE SYSTEM TO THE GLOBAL DATUM WGS84.

OPEN SOURCE SOFTWARE ILWIS (INTEGRATED LAND AND WATER INFORMATION SYSTEM) IS USED TO PERFORM THE CRUCIAL PHASE RELEVANT TO ESTIMATE THE BURSA-WOLF PARAMETERS.

Autore

ING. ERNESTO SFERLAZZA
 E.SFERLAZZA@GMAIL.COM

RESPONSABILE GRUPPO SIT – NODO PROVINCIALE DI AGRIGENTO DEL S.I.T.R. SICILIA