

Accuratezza e precisione di modelli di georeferenziazione applicati alle cartografie storiche

V. Baiocchi (*), Ketil Lelo (**), Maria Vittoria Milone (*), Martina Mormile (*)

(*) DICEA, Area di Geodesia e Geomatica, Università di Roma "la Sapienza", Roma, valerio.baiocchi@uniroma1.it mariavittoria.milone@uniroma1.it, martina.mormile@uniroma1.it

(**) Centro di Ateneo per lo studio di Roma (CROMA), Università degli studi di Roma 3, Via Ostiense 139, 00154 Roma, tel 06/57374016, email : lelo@uniroma3.it

Riassunto

È interessante studiare quale sia la metodologia più corretta per la georeferenziazione di carte storiche qui in particolare vengono studiate quelle in scala 1:5000 realizzate tra il 1908 ed il 1913 per l'area urbana di Roma e dintorni. L'importanza di questo studio è dovuta al fatto che i diversi campi di ricerca che si occupano di analisi territoriale diacronica necessitano di mappe storiche georeferenziate. L'estensione areale di Roma ha subito diverse fasi di evoluzione nel corso della sua storia, infatti la città raggiunse la sua massima estensione durante il periodo imperiale (100-200 dC) quando il numero di abitanti era superiore al milione. Durante il primo Medioevo le colline circondate dalle mura aureliane erano state abbandonate, la popolazione era scesa a 10 000 abitanti, e l'area urbana si limitava per lo più al meandro del fiume Tevere. Lo sviluppo urbano riprese soltanto dopo il ritorno del Papa da Avignone con un forte sviluppo durante il Rinascimento. Dato che le mappe storiche rimangono le uniche fonti per comprendere l'aspetto urbano prima dell'espansione, è importante effettuare una loro corretta georeferenziazione (Baiocchi et al., 2010) ricercando l'algoritmo o gli algoritmi più adatti a minimizzare gli effetti delle notevoli deformazioni che le carte hanno subito; è necessario quindi studiare anche le possibili trasformazioni di datum geodetico tra quelli utilizzati storicamente e quelli moderni. Qui si è voluto sfruttare le nuove caratteristiche fornite dall'ambiente QGIS che rendono possibile stimare separatamente l'accuratezza e la precisione ottenibile dalle carte georeferenziate.

Abstract

The map of the city of Rome 1:5000 scale of 1908 and the map of "Roma e l'agro Romano" that represents a wider area, realized in 1912 have been studied in earlier papers where parameters useful to perform the transformation of the used geodetic system in more modern systems were found. It's very interesting to evaluate the effect of different georeferencing strategies on these maps evaluating separately precision of the model and accuracy of the results.

The geodetic system used the ellipsoid of Bessel oriented locally in the geodetic observatory in Genoa, while for the projection was used conformal Flamsteed one. To be able to exclude that the deformations are mainly due to the different projection in comparison to the transverse of Mercatore used both for the UTM and are for the national system used after 1940, called Gauss-Boaga and based on the Datum Roma40, we decided to study a transformation able to re-project the coordinates of the points with known coordinates as the vertices of the cartographic elements. The reprojection of the maps need use of package with more complex algorithms of those available on the most diffused software to resample the raster images. After the georeferencing step, the residual errors must be studied to assess the complete remove of systematic errors. The map georeferenced using the cartographic reprojection can furnish a valid tool to detect variations as the geomorphologic variations due to natural and human causes within one century. The studied

cartographies are one of the only existing documents that uniformly represents this whole territory and realized according to proper cartographic methodologies.

Dati

La carta utilizzata in questo lavoro è stata prodotta dall'"Istituto Geografico Militare" (IGM), su richiesta del "Comune di Roma" che aveva necessità di una base topografica per l'impianto del Piano Regolatore della città; l'IGM ha quindi prodotto una cartografia in scala 1:5000 composta da sei elementi, ognuno di estensione 1'47" in latitudine per 3'30" in longitudine, disposti su due colonne e tre linee, che coprono tutto il territorio della città (Figura 1). La stampa delle carte si concluse nel 1908, e quattro anni dopo, nel 1912, venne realizzata una nuova versione aggiornata in 12 fogli, che copriva anche il suburbio. In entrambe le carte la rappresentazione di edifici e la morfologia del terreno è molto simile a quella utilizzata in una moderna carta in scala 1:5000.

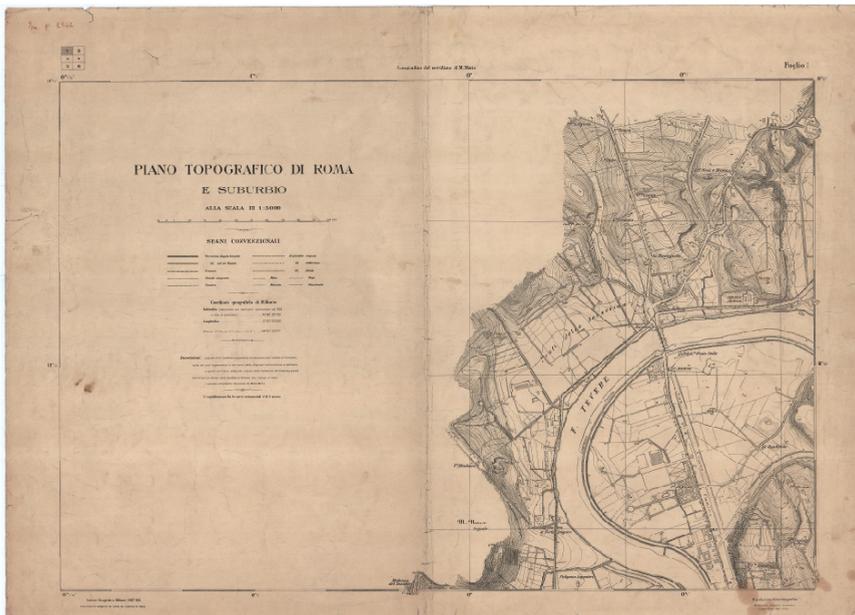


Figura 1. Il primo dei sei elementi delle carte storiche.

Per georeferenziare correttamente simili carte è necessario individuare il datum in cui esse sono state realizzate. Questo studio è già stato eseguito nel corso di precedenti ricerche, qui viene riportato sommariamente solo per completezza, per una trattazione più completa si rimanda alla bibliografia (Baiocchi, Lelo; 2010)

Da letteratura le mappe dell'IGM prodotte prima del 1940 sono generalmente riferite all'ellissoide di Bessel orientato a Genova, questo può essere vero per cartografie prodotte nella parte settentrionale d'Italia, ma, una mappa prodotta dall'IGM nel 1908 per la città di Roma, probabilmente poteva essere riferita all'ellissoide di Bessel orientato a Monte Mario. In questo caso gli effetti della rotazione tra i due sistemi è molto piccola a Roma, tanto da rendere necessario soltanto una traslazione in latitudine, poiché la longitudine convenzionalmente è considerata pari a zero in entrambi i sistemi. La rotazione, che fu misurata rispetto a punti diversi (Monte Cavo per Bessel-Roma e Monte Soratte per Roma40), può essere stimata in circa 5" e quindi può portare a traslazioni minori di un metro (che dovrebbe essere l'errore di graficismo della cartografia in studio secondo gli standard moderni) per distanze fino a cinquanta chilometri dall'origine (che vanno ben oltre l'estensione dell'area di studio).

Risultati

In fotogrammetria è ben noto che la precisione dell'orientamento delle immagini può essere stimata considerando residui di Ground Control Points (GCP), mentre l'accuratezza può essere valutata considerando i residui sui Check Point (CP), punti indipendenti, non utilizzati per stimare i parametri del modello. Esattamente la stessa considerazione può essere fatta per la georeferenziazione delle mappe raster in ambiente GIS, ma quasi tutti i software GIS forniscono solo i residui calcolati sui punti utilizzati per stimare la trasformazione, sovrastimando di fatto l'accuratezza del risultato finale. All'interno delle ultime versioni di QGIS è invece possibile stimare sia la precisione che l'accuratezza, mentre generalmente gli altri software GIS non lo consentono, in quanto non permettono di selezionare punti come Check Point, e quindi, come detto, permettono di stimare unicamente la precisione.

Il software QGIS, offre attualmente la possibilità di utilizzare molti algoritmi rispetto ai software GIS in commercio, infatti si può scegliere tra;

- Lineare
- Helmert
- Proiettiva
- Polinomiale dal primo al terzo ordine
- Thin Plate Spline

Inoltre, QGIS offre la possibilità di scegliere l'algoritmo di ricampionamento tra il nearest neighbour, la bilineare, la bicubica, la spline cubica, ecc .. Nelle prove presentate in questo lavoro è stato sempre utilizzato il primo che è il più conservativo e per questo motivo si ritiene sia il più adatto per la cartografia storica.

Sono state condotte diverse prove in modo tale da poter stimare la configurazione o le configurazioni ottimali dei GCP, incrementando così il numero di GCP ed osservando i conseguenti residui sui GCP e sui CP. I risultati di tutte le prove eseguite non potevano essere qui riportati per ragioni di spazio, ma vengono mostrati quelli che si ritengono più rappresentativi.

Si è partiti con il numero minimo di GCP richiesti per ogni algoritmo, e poi questi venivano incrementati di due alla volta. In questo modo si è cercato di trovare una distribuzione omogenea e simmetrica di GCP in ciascuna prova (Figura 2) considerando che gli unici punti a coordinate certe su queste carte sono quelli del bordo della cartografia stessa ove sono riportate le bandelle del sistema di riferimento geografico.

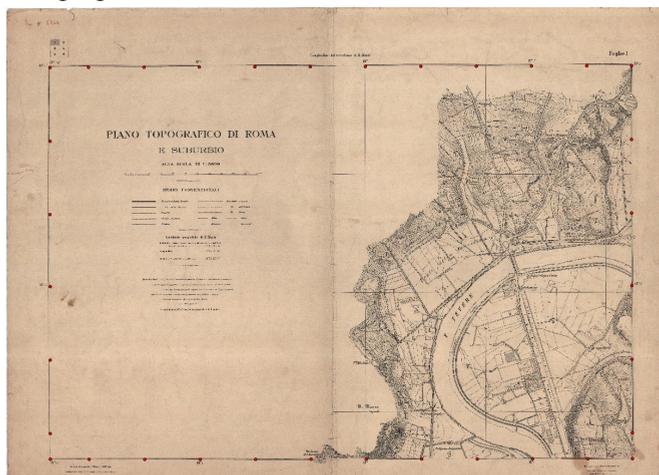


Figura 2. Distribuzione dei punti sulla carta.

Delle numerose prove effettuate per la georeferenziazione di queste cartografie esaminiamo i risultati ottenuti realizzando le prove con le polinomiali del secondo (Fig. 3) e del terzo ordine, le quali dovrebbero essere le più adatte, trattandosi di una carta storica, anche se poi di fatto sono state ripetute le georeferenziazioni per ogni carta con tutti gli algoritmi implementati nel software QGIS. Quando l'andamento dei residui non sembrava molto realistico (sempre Fig. 3), sono state condotte altre prove invertendo o variando l'ordine di inserimento dei GCP sulle varie cartografie.

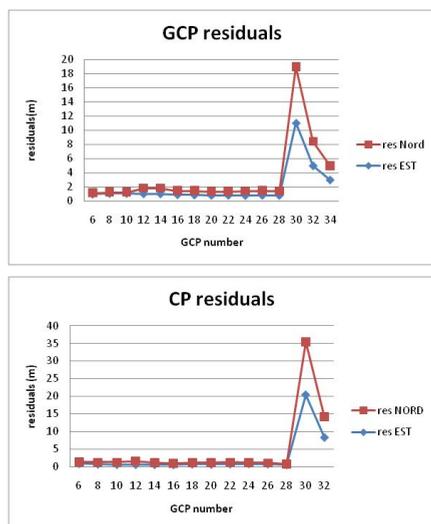


Figura 3. Grafici di precisione e accuratezza ottenuti utilizzando una polinomiale del secondo ordine.

In particolare, praticamente su tutti i grafici si osserva un picco che rappresenta un innalzamento dei residui sui CP e sui GCP, che suggeriva la presenza di *outlier* su specifici punti ma, controllate le coordinate cartografiche e la collimazione sull'immagine, si è proceduto, come detto, alla inversione o eliminazione dei punti che potevano aver originato l'anomalia ma questo ha portato frequentemente ad ottenere lo stesso risultato, come mostrato in figura 4.

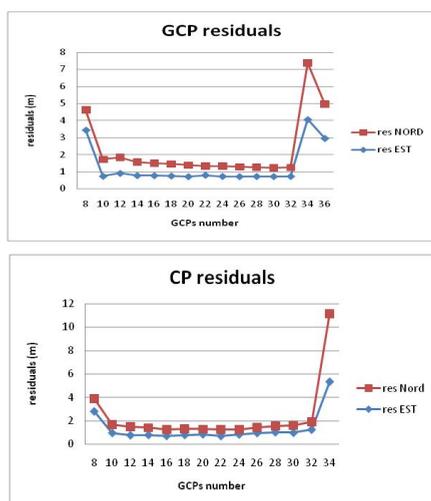


Figura 4. Grafici di precisione e accuratezza ottenuti utilizzando una polinomiale del secondo ordine_seconda prova.

Anche in questo caso si nota un picco, nonostante non ci sia un errore in un punto specifico. Pensando che fosse a causa di un problema del software con questo algoritmo specifico la prova è stata ripetuta con una polinomiale del terzo ordine (Figura 5).

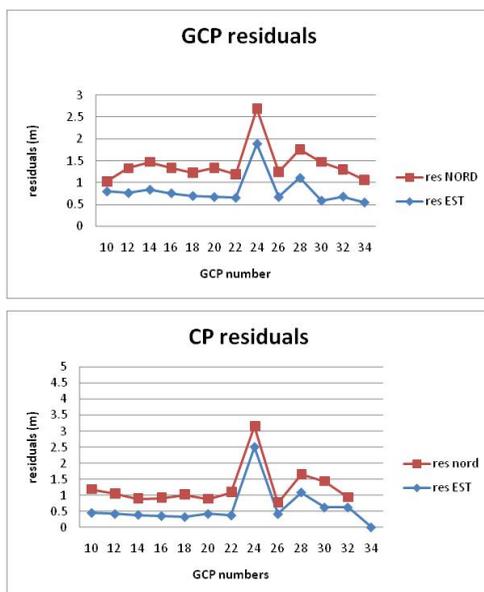


Figura 5. Grafici di precisione e accuratezza ottenuti utilizzando una polinomiale del terzo ordine.

Utilizzando la funzione polinomiale del terzo ordine si ottiene ancora una volta un anomalo andamento dei residui sui GCP e CP, è infatti presente ancora un “picco” intorno ai 25 GCP. Per escludere ulteriormente qualunque influenza di outlier nei dati questa prova è stata ripetuta utilizzando il software ArcGIS 9.3, con gli stessi dati, nello stesso ordine e con gli stessi algoritmi. I risultati ottenuti, in soli termini di residui sui GCP (ArcGIS non consente l’utilizzo di CP), risultano notevolmente diversi da quelli corrispondenti ottenuti con il software QGIS, confermando l’ipotesi della presenza di un *bug* all’interno del software QGIS. Di seguito sono riportati alcuni dei risultati ottenuti con QGIS ed ArcGIS (Tabella 6)

<i>RMSE of residuals (m)</i>	<i>Arc GIS 9.3</i>	<i>QGIS 1.8</i>
Second order	1.05	3.66
Third order	0.55	0.88

Tabella 6. Confronto tra le precisioni ottenibili con Arc GIS e con QGIS.

Dai risultati della quale ci sembra di poter confermare l’ ipotesi di un bug nel software QGIS. Tale anomalia sembra sia stata già riscontrata da altri ricercatori (Crăciunescu; 2012) ed è probabilmente da ascrivere alle librerie “Gdal”, si è deciso quindi di segnalarela agli sviluppatori che al momento stanno provvedendo alla sua risoluzione.

Nonostante gli anomali andamenti dei residui sui GCP e CP, le prime sperimentazioni di sovrapposizione tra le carte storiche georeferenziate e le cartografie attuali scala 1:2000 della stessa area mostrano una buona corrispondenza (Fig. 7).

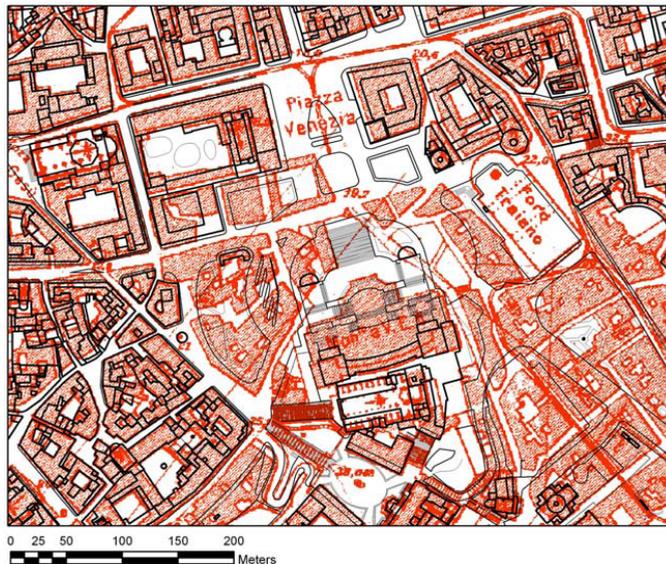


Figura 7. La carta storica 1:5000 (in rosso) sovrapposta alla carta moderna 1:2000 raffiguranti la stessa area.

Conclusioni e sviluppi futuri

Le recenti versioni del software QGIS, vista la vasta scelta di algoritmi di georeferenziazione e ricampionamento permettono di poter effettuare ricerche approfondite sulla ricerca degli algoritmi più idoneo per i vari campi di studio, tra cui la georeferenziazione di cartografie storiche: resta comunque da indagare più approfonditamente quali siano le potenzialità del software una volta che saranno implementati i necessari *fix*.

Qualora l'interfaccia del software rimanesse la stessa, lo sviluppo di un modulo esterno o implementato nell'ambiente, potrebbe facilitare lo studio della stima dei residui in particolare sui CP che attualmente richiede una procedura *off-line* abbastanza laboriosa.

Riferimenti bibliografici

- Baiocchi V., Lelo K., (2010), "Accuracy of 1908 high to medium scale cartography of Rome and its surroundings and related georeferencing problems", *ACTA GEODAETICA ET GEOPHYSICA HUNGARICA*, vol. 45, p. 97-104, ISSN: 1217-8977, doi: 10.1556/AGeod.45.2010.1.14
- Crăciunescu V. (2012), comunicazione verbale
- Folloni G. (1978), *Principi di topografia* (in Italian). Patron Editore, Bologna
- Højbjerg (1997) *Practical Geodesy*, Springer
- IGM (1914), *Elementi geodetici del Foglio 150 (Roma) della "Carta d'Italia"*. Alfani e Venturi, Firenze
- Inghilleri G. (1974), *Topografia generale*, UTET, Torino
- Loperfido A. (1908), *Rilievo della nuova carta di Roma*, Alfani e Venturi, Firenze
- Surace L. (1998) *Bollettino di Geodesia e Scienze Affini*, 57, 181-234.