

Contenuti metrici della Carta di Roma scala 1:5000 del 1908 e problemi connessi alla sua georeferenziazione

Valerio Baiocchi, Ketì Lelo

DITS – Area Geodesia e Geomatica, “Sapienza” Università di Roma, Via Eudossiana, 18- 00184 Roma,
Tel. +390644585068, Fax. +390644585515, email: valerio.baiocchi@uniroma1.it

Riassunto

La georeferenziazione di cartografie storiche viene eseguita usualmente collimando punti riconoscibili anche su cartografie contemporanee, ma sulla cartografia utilizzata in questo caso di studio i risultati che si ottengono non sono soddisfacenti, in quanto si possono osservare residui con valori incompatibili rispetto alla scala di rappresentazione. Per tale ragione si è deciso di cercare di ricostruire il Datum a cui fu riferita la cartografia, e di stimare dei parametri di trasformazione verso Datum più recenti. Per far ciò si è dovuta ripercorrere la complessa storia dei primi sistemi geodetici utilizzati in ambito nazionale.

Abstract

First experimentations to georeference maps of early twentieth century realized by Military Geographical Institute (IGM, the Italian geodetic agency) for the city of Rome and its surroundings, reported residual errors bigger than errors observed on similar maps; previous studies performed on maps one or two century older of the same area, showed similar or smaller errors (Baiocchi & Lelo, 2005).

The history of geodetic systems used in Italy in that period is complex and this, in the past, has leaded some researcher in misinterpretation of the systems used. Also the parameters of the projection used for this maps are not sure, so a reprojection is the only way to the correct the georeferenciation of these documents. For this reason a full explanation of geodetic systems used in Italy in the XX century is reported.

Introduzione

L'estensione della città di Roma ha subito nella sua storia parecchie variazioni, ovviamente legate al numero di abitanti le cui variazioni furono influenzate da fenomeni economici e migratori ma anche naturali, quali il ben noto evento sismico del 1703. Si può comunque semplificare l'evoluzione della città ricordando che essa ha avuto uno sviluppo massimo quando nel periodo imperiale raggiunse la cifra stimata di circa un milione e duecentomila abitanti, valore mai più raggiunto fino al ventesimo secolo, durante il quale ha quasi triplicato la sua popolazione e, di conseguenza, la sua estensione. Si capisce quindi come disporre di una cartografia tecnica dell'inizio del XX secolo sia di strategica importanza per tutta una serie di ricerche, tra cui ovviamente quelle geologiche, geomorfologiche, idrauliche e, ovviamente, archeologiche. Ai tempi dello Stato Pontificio furono più volte realizzate delle cartografie dell'area urbana anche con buone caratteristiche geometriche quali la “Carta del Censo” ed il “Nolli” (Baiocchi & Lelo, 2005); dopo l'unificazione con lo stato italiano, il neonato “Istituto Geografico Militare” (IGM) venne incaricato dal Comune di Roma di redigere una cartografia a scala 1:5000 quale base del piano regolatore per lo sviluppo della città che nel frattempo era divenuta la capitale del nascente stato. L'IGM decise di realizzare una cartografia scala 1:5000, divisa in sei elementi (di estensione 1'47” in latitudine per 3'30” in longitudine ognuno), disposti su due colonne e tre righe ricoprenti l'intero

territorio della città nella sua estensione di allora; i rilievi e la redazione della carta terminarono nel 1908. La carta del 1908 presenta tutte le caratteristiche delle moderne carte tecniche realizzate alla stessa scala, quali il dettaglio degli edifici rappresentati e della morfologia del terreno rappresentato attraverso curve di livello e punti quotati. Ciò che risulta carente sugli elementi cartografici, così come si presentano attualmente è la mancanza di informazioni sul sistema di riferimento geodetico e sulla proiezione cartografica utilizzata, ovvero quelli che attualmente chiameremmo “metadata”. Per georiferire carte più antiche come le già citate “Carta del Censo” e “Carta del Nolli”, anch’esse sprovviste di informazioni sui sistemi di riferimento utilizzati, sono state in passato vantaggiosamente utilizzati algoritmi evoluti di georeferenziazione che permettevano trasformazione geometriche anche complesse dello spazio immagine originale, sulla base di punti di controllo collimati su particolari riconoscibili sulle cartografie storiche e su cartografie contemporanee (Baiocchi & Lelo, 2005). Tale approccio, in mancanza di informazioni certe sul sistema di riferimento utilizzato per la cartografia del 1908, è il primo che è stato tentato su alcuni degli elementi della cartografia stessa. I risultati sono apparsi immediatamente completamente inadeguati, con errori anche dell’ordine di qualche decina di metri totalmente incompatibile con il limite di graficismo previsto in Italia per tale cartografia, pari a 0.2 mm e quindi, a questa scala, equivalente ad un metro. Per georiferire correttamente la cartografia è quindi stato necessario indagare sul sistema geodetico di riferimento della cartografia e sulle possibili cause di deformazione della carta stessa.

I sistemi di riferimento utilizzati in Italia dall’unificazione al 1940

Alla fine del XIX secolo, L’“Ufficio Tecnico del Corpo di Stato Maggiore” (primo nucleo del futuro IGM) venne incaricato di unificare i sistemi di riferimento geodetici degli stati preunitari per realizzare un unico sistema di riferimento italiano (Surace, 1998). I lavori di rilievo terminarono alla fine del XIX secolo riferendo tutte le misure all’ellissoide di Bessel con tre differenti orientamenti: Genova, Roma Monte Mario, Castanea delle Furie, per ognuno dei quali venne osservato l’azimuth astronomico. Per quanto riguarda la proiezione cartografica l’IGM decise di usare la policentrica di Flamsteed centrata sul centro di ogni singolo elemento cartografico.

L’IGM proseguì quindi nella realizzazione di un sistema geodetico più moderno e quindi, terminata la fase di rilievo, di tutta la rete decise di ricompensarla tutta per unificare il sistema su di un’unica superficie: l’ellissoide di Bessel orientato a Genova. Ma la mole di calcolo necessaria allora per una simile compensazione suggerì di dividerla in due fasi, la parte a nord di Roma fu terminata nel 1908, quella a sud nel 1919. Nel 1940 la Commissione Geodetica Italiana decise di dotarsi di un nuovo sistema geodetico basato sull’ellissoide di Hayford orientato nell’osservatorio di Monte Mario mediante un’apposita stazione astronomica e, per tanto definito Roma40. Dapprima la realizzazione di questo nuovo sistema fu realizzata mediante semplice trasporto delle coordinate sulle misure della rete precedente senza procedere ad una nuova compensazione, mantenendo quindi i limiti connessi alle tecniche utilizzate. Successivamente vennero ricompensati ed in alcuni casi rimisurati molti elementi della rete arrivando nel 1983 alla definizione di un nuovo sistema di riferimento chiamato IGM83, basato sempre su un’ellissoide di Hayford orientato a Monte Mario secondo le misure effettuate nel 1940. Tale sistema non ha avuto un reale seguito in quanto rapidamente sostituito dall’IGM95.

Ipotesi sul sistema di riferimento della cartografia in studio

La cartografia è stata studiata sugli originali supporti cartacei disponibili per cinque dei sei elementi. I cinque elementi originali sono stati scansionati mediante scanner a rullo A0 *Calcomp*. Il terzo elemento (l’unico mancante in originale) è stato fornito direttamente dall’IGM in formato raster.

In letteratura le carte IGM anteriori al 1940 vengono talvolta genericamente considerate riferite all’ellissoide di Bessel orientato a Genova che forse può esser vero per cartografie realizzate nel parte settentrionale del paese ma, da quanto esposto, si può dedurre che una carta realizzata

dall'IGM nel 1908 per la città di Roma dovesse essere riferita si all'ellissoide di Bessel ma con orientamento Monte Mario; tale ipotesi sembra confermata dalla letteratura dell'epoca (Loperfido, 1908) ove la carta risulta riferita all'origine di Monte Mario per la quale viene riportata una latitudine pari a $41^{\circ}55'25.555''$ ricavata nel 1905 e di cui viene riportato un azimut pari a $131^{\circ}50'29.17''$ rispetto a Monte Cavo. Su una pubblicazione successiva (IGM, 1917) viene confermato che "...le cartografie sono riferite all'ellissoide di Bessel orientato a Roma..." ma per questo orientamento viene riportato un valore leggermente diverso per la latitudine di Monte Mario, pari a: $41^{\circ}55'25.528''$ probabilmente frutto di un successivo ricalcolo e comunque molto più simile al valore precedentemente incontrato rispetto alla latitudine di Roma Monte Mario calcolata rispetto all'ellissoide di Bessel con orientamento Genova, secondo la citata successiva compensazione e pari a $41^{\circ}55'24.399''$. Si è quindi ipotizzato che il valore utilizzato nella redazione della carta in studio sia il primo riportato, in quanto il testo da cui è stato desunto (Loperfido, 1908) sembrerebbe descrivere proprio la realizzazione della carta in studio. Il successivo passaggio è stato quello di calcolare dei parametri che potessero permettere la trasformazione di Datum, dal sistema adottato a sistemi più moderni, tra i quali sicuramente il più interessante è Roma40 al quale sono riferite ancora molte cartografie realizzate fino ai giorni nostri. Tra i vari metodi conosciuti per le trasformazioni di datum geodetici uno dei più utilizzati in ambiti ristretti (stoppini, 1992) è l'applicazione di una traslazione ed una rotazione calcolate su un punto centrale dell'area in studio.

Datum utilizzati nella zona di Roma			
	Bessel Roma(1905)	Bessel Genova(1917)	Roma40
Ellissoide	Bessel	Bessel	Hayford
Orientamento	Roma Monte Mario	Genova	Roma Monte Mario
Coordinate di Monte Mario			
Latitudine	$41^{\circ}55'25.555''$	$41^{\circ}55'24.399''$	$41^{\circ}55'25.51''$
Longitudine	0°	$03^{\circ}31'51.131''$	0°
Azimut misurati			
	$131^{\circ}50'29.170''$	$06^{\circ}35'04.96''$	$06^{\circ}35'00.88''$
	su "Monte Cavo"	su "Monte Soratte"	su "Monte Soratte"
Parametri per la Datum trasformazione Bessel Roma-> Roma40			
Assumendo anche una rotazione di $5''$ tra Bessel Roma and Roma40 (probabilmente inferiori), si possono utilizzare tali parametri di traslazione tra questi datum nell'area in studio, con un errore inferiore al graficismo :			
	Δ Longitudine= 0°	Δ Latitudine= $-0.045''$	

Tabella 1 – Datum utilizzati nell'area di Roma e parametri di trasformazione utilizzati

Tale metodo non viene di solito utilizzato per distanze maggiori di qualche decina di km a causa delle deformazioni delle reti che ne costituiscono la materializzazione, della rotazione conseguente ai differenti orientamenti e dell'uso di diversi ellissoidi. Nel caso in studio, però, si deve considerare che Monte Mario è il punto di emanazione di entrambi i sistemi, che esso è contenuto all'interno delle cartografie in studio e che, da quanto precedentemente esposto, le reti che materializzano i due sistemi dovrebbero aver utilizzato, almeno fino ad una certa epoca, le stesse misure. Assumendo come punto di riferimento proprio l'osservatorio di Monte Mario la trasformazione di Datum dovrebbe quindi essere principalmente condizionata dalla differenza di coordinate nel punto stesso:

in pratica solo della Latitudine in quanto la longitudine viene convenzionalmente considerata convenzionalmente pari a zero in entrambi i sistemi. La rotazione, che non può essere immediatamente stimata in quanto l'orientamento dei due Datum è stato riferito a punti differenti (Monte Cavo per Bessel Roma e Monte Soratte per Roma40), se ipotizzata anche dell'ordine di 5" (probabilmente inferiore) porterebbe a traslazioni inferiori al metro (limite di graficismo della cartografia in studio) sicuramente fino a distanze pari a 50 km ben maggiori dell'estensione dell'area in studio. (tab. 1)

Possibili cause delle deformazioni osservate sulla carta

Le citate deformazioni osservate sulla carta durante gli iniziali tentativi di georeferenziazione basati sulla collimazioni di particolari riconoscibili sulla carta in studio e su carte contemporanee, potrebbero essere dovute a deformazione del supporto cartaceo, al differente sistema di proiezione o alle metodologie di rilievo. Le deformazioni del supporto cartaceo, in base a precedenti sperimentazioni su cartografie storiche (Baocchi & Lelo 2005), solitamente portano ad errori che variano con continuità sulla superficie della carta, nel caso in studio, invece, le deformazioni variano molto in valore, direzione e segno anche in aree molto prossime sulla cartografia. In ogni caso la georeferenziazione con contestuale ricampionamento che è stata operata sulla cartografia, come di seguito illustrato, avrebbe messo in luce particolari deformazioni locali del supporto cartaceo che, invece, non sembra si siano osservate. Per quanto riguarda il sistema di proiezione, non molto è possibile dire, in quanto la proiezione allora in uso da parte dell'IGM, come è noto, è la già citata Flamsteed policentrica, che deve essere riferita ad un punto centrale; per per le carte a scala inferiore realizzate in quel periodo (es. "Fogli" 1:100000) era solitamente il centro della carta, ma in questo caso non è definito quale sia se il centro del singolo elemento cartografico o dell'intera rappresentazione o del centro del "Foglio" scala 1:100000 in cui la zona è contenuta. In ogni caso data la limitata estensione dell'area si possono adottare le stesse considerazioni fatte dall'IGM stesso allorché dovette trasformare proprio le carte Flamsteed nella più moderna proiezione Gauss-Boaga (Folloni, 1978), essi osservarono infatti che se le proiezioni erano state studiate in maniera di mantenere le deformazioni relative inferiori al limite di graficismo le due cartografie potevano essere considerate sovrapponibili, fatte le opportune considerazioni sul sistema di riferimento. Considerando inoltre che le già citate tecniche di georeferenziazione e ricampionamento, che sono state utilizzate, permettono di variare profondamente la geometria dell'immagine, non si ritiene che l'effetto della diversa proiezione possa avere influenza su una corretta georeferenziazione.

Dalla documentazione dell'epoca (Loperfido, 1908) si può invece desumere che la cartografia in oggetto, realizzata mediante la tecnica della tavoletta pretoriana "...data l'urgenza con cui il municipio di Roma richiese il lavoro..." "non può soddisfare ... a qualsiasi esigenza dell'Ingegneria civile..." ma le "...compete un alto grado di precisione relativa...". In altre parole sembrerebbe di capire che, così come per altre cartografie più moderne (quali quelle catastali), il limite di graficismo è rispettato localmente come precisione relativa tra elementi presenti nella stessa zona ma non in termini di accuratezza della georeferenziazione della mappa stessa, né di distanza relativa tra elementi più lontani.

Sperimentazione eseguita

Il test ha riguardato principalmente due dei sei elementi in cui è divisa la carta in particolare il primo ed il quarto riguardanti rispettivamente la parte nord occidentale e centro orientale della città, coincidente quest'ultima con buona parte del cosiddetto "centro storico".

Si è dunque deciso di georiferire le cartografie rispetto ai punti dei quali erano indicate le coordinate nel sistema geodetico della carta. In particolare sono state utilizzate le bandelle sul bordo della carta (geographic thick marks) poiché il reticolato cartografico non è con certezza definibile in quanto, come già illustrato, non è inequivocabilmente individuabile il sistema di proiezione. Sulla base delle coordinate note delle bandelle visibili (alcune sono coperte da elementi disegnati oltre la squadratura della carta) è stata applicata una georeferenziazione con contestuale rettifica e

conseguente ricampionamento dell'immagine, utilizzando un algoritmo polinomiale di terzo grado che, tra quelli previsti dal software utilizzato (IRAS-B by Intergraph) dovrebbe assicurare una soddisfacente correzione geometrica delle deformazioni presenti sull'immagine rasterizzata, per la formulazione di tale ben noto algoritmo si rimanda alla letteratura (Baiocchi, 2000). Gli scostamenti osservabili dopo la georeferenziazione rispetto alle bandelle stesse, e quindi indicativi della precisione ma non dell'accuratezza, in quanto calcolati rispetto ai punti utilizzati per stimare i parametri della georeferenziazione stessa, hanno fornito risultati decisamente più accurati rispetto a quelli ottenuti utilizzando, con gli stessi algoritmi, dettagli riconoscibili dell'urbanizzato. Per le due immagini testate sono stati utilizzati circa 20 punti, in funzione della già citata visibilità delle bandelle sui singoli elementi cartografici, con una ridondanza di circa il 50% in quanto, com'è noto per una georeferenziazione polinomiale di terzo ordine sono richiesti un minimo di dieci punti. Tale ridondanza garantisce la significatività dei risultati che hanno mostrato, ad esempio sul quarto elemento cartografico, georiferito utilizzando le 19 bandelle visibili, uniformemente distribuite sul bordo della carta, una media dei valori assoluti degli scostamenti pari a 0.7 m., con un valore assoluto massimo di 1.5 sul bordo sud e un valore assoluto minimo di 0.1 m sul bordo est.



Figura 2- In rosso stralcio della carta 1:5000 del 1908 confrontata con la carta 1:2000 del 2003; il lato orizzontale dello stralcio è lungo circa 350 metri.

Si ricorda che tali valori sono stimati sulla base di punti utilizzati per stimare il modello e quindi danno un'indicazione sulla precisione del modello stesso, residui calcolati su punti non utilizzati per stimare il modello potrebbero dare un'indicazione della precisione estratta dalla cartografia stessa. I valori di scostamento rientrano nell'80% dei casi nel limite di graficismo considerato per le carte di primo impianto a questa scala (1m.) e nel 100% nel limite accettato per aggiornamento (2 m.);

considerando che gli elementi cartografici datano a più di un secolo fa difficilmente si potrà estrarre una maggiore precisione da questi elementi utilizzando tali metodologie. Da un'analisi delle direzioni degli scostamenti non sembrano emergere sistematismi o direzioni preferenziali, la rappresentazione grafica di tali vettori pertanto non viene di seguito riportata. Di maggior interesse si ritiene un'analisi dettagliata dell'accordo tra la cartografia scala 1:5000 così georiferita nel sistema Roma40 e una cartografia scala 1:2000 realizzata nello stesso sistema quasi un secolo dopo (Fig. 2).

Gli scostamenti osservabili negli edifici rimasti invariati hanno valori variabili ed, in alcuni casi, molto elevati, si noti ad esempio la parte nord orientale dello stralcio dove sono stati misurati scostamenti fino a dieci metri, mentre nella parte opposta della piazza gli scostamenti (almeno nella compente est) sembrano grandemente ridotti. Si consideri che, a causa della differente scala, le due rappresentazioni non sono direttamente confrontabili, nella carta contemporanea al 2000 sono infatti rappresentati particolari di dettaglio come ad esempio i marciapiedi che al 5000 non erano rappresentati. Si consideri inoltre che la piazza rappresentata ha subito parecchi rifacimenti nel corso del XX secolo, ma esempi simili di scostamenti variabili anche in zone limitrofe della rappresentazione, possono essere osservate su parecchie zone della carta. Tali scostamenti, decisamente maggiori come valore assoluto e molto più discontinui di quelli osservati sui margini della carta, nei punti utilizzati per la georeferenziazione, sembrano confermare che la non elevata accuratezza assoluta di georeferenziazione sia da ascrivere allo specifico metodo di rilievo utilizzato al tempo della redazione della carta.

Conclusioni e prospettive di sviluppo

La georeferenziazione di cartografie storiche può risentire delle tecniche di rilievo utilizzate alla momento della loro realizzazione, in funzione delle applicazioni per cui la cartografia era stata pensata. In tali casi è di particolare importanza un attento studio bibliografico, possibilmente su documenti contemporanei alla cartografia, poiché le informazioni sui sistemi utilizzati possono rivelarsi lacunose. La cartografia studiata presentava deformazioni anche elevate dovute presumibilmente proprio alla tecnica di rilievo, conseguentemente la tecnica di georeferenziazione utilizzata è l'unica che permette di estrarre tutta la precisione metrica contenuta nel documento stesso. Su alcuni documenti recentemente rinvenuti, sembrerebbero identificati i punti della rete rispetto a cui tutte le misure effettuate per la realizzazione della carta sarebbero state riferite. Se ciò fosse confermato e i punti risultassero identificabili in numero sufficiente si potrebbe verificare se gli scostamenti mostrino scostamenti variabili allontanandosi ed approssimandosi a tali punti, potendo in realtà stimare l'accuratezza della georeferenziazione stessa. Resta inoltre da valutare l'accuratezza metrica di un DEM estraibile da tale cartografia, confrontando con aree invariate rispetto a cartografie moderne alla stessa scala.

Bibliografia

- Baiocchi, V., Barbarella, M. (2000), Problemi di calibrazione di file raster e vettoriali in un sistema informativo territoriale. *Bollettino della Sifet*, 50(1), pp. 23-32
- Baiocchi, V., Lelo, K. (2005), Géoréférencement des plans historiques (du XVIIIe au XIXe) de la ville de Rome, et leur comparaison avec des cartes actuelles. *Géomatique expert*, 45, p. 42-47
- Folloni, G. (1978), *Principi di topografia*. Bologna: Pàtron Editore
- Istituto Geografico Militare (1914), *Elementi geodetici dei punti conosciuti nel Foglio 150 (Roma) della Carta d'Italia*. Firenze: Alfani e Venturi
- Loperfido, A. (1908), *Rilevamento topografico per il piano regolatore di Roma*. Firenze: Alfani e Venturi
- Stoppini A. (1992), Procedimento per la trasformazione diretta e inversa delle coordinate piane dal sistema catastale al sistema nazionale. *Rivista del Catasto e dei Servizi Tecnici Erariali*, n.1/1992
- Surace, L. (1998), La georeferenziazione delle informazioni territoriali. *Bollettino di Geodesia e Scienze Affini*, LVII (2), pp. 181-234.