

Misura ed errore nella cartografia storica: Analisi GIS della pianta per il Progetto di Espansione di Firenze di Giuseppe Poggi (1865)

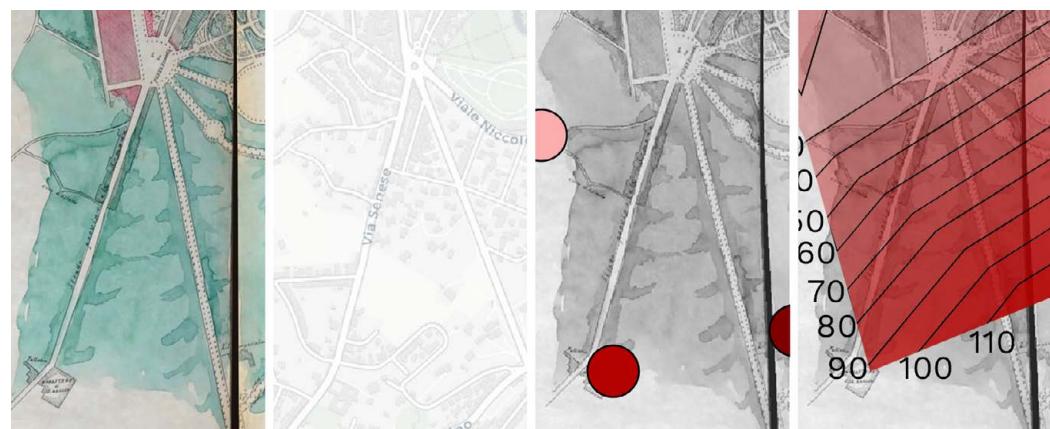
Francesco Cotana

Abstract

La realizzazione di mappe che rappresentano il territorio avviene tramite un processo di misurazione che, articolato su diversi livelli, dall'analogico al digitale, è inevitabilmente soggetto all'insorgenza di errori. Questo articolo indaga il propagarsi degli errori nella stesura, acquisizione e georeferenziazione delle mappe storiche in ambiente GIS. Tra le metodologie per gestire e individuare gli errori, la letteratura enfatizza l'importanza di un approccio integrato che armonizzi le potenzialità offerte dalle tecnologie digitali con l'approfondimento storico e la critica delle fonti. Attraverso lo studio specifico della mappa di Firenze realizzata dall'architetto Giuseppe Poggi, confrontata con una mappa attuale di Firenze e due mappe storiche, si evidenzia un maggiore livello di errore nell'area centro meridionale della città rappresentata. Questo errore è da mettere in relazione con la topografia del territorio, l'alta densità di punti di controllo in quell'area e infine con gli errori accumulati nei vari passaggi che hanno portato alla georeferenziazione. L'analisi di questo caso studio illustra come la sinergia tra metodi storici tradizionali e le tecniche della rappresentazione digitale del territorio possa, non solo arricchire l'interpretazione delle mappe storiche, ma anche fornire nuove prospettive per l'analisi dei paesaggi urbani e territoriali.

Parole chiave

GIS, mappe storiche, incertezza, paesaggio, georeferenziazione.



Introduzione

La capacità di misurare e rappresentare il mondo circostante è una pietra miliare nel progresso umano, essendo la misura e la rappresentazione della realtà fondamentali per l'interpretazione e la trasformazione dell'ambiente. Tuttavia, ogni tentativo di misurare e tradurre la complessità del mondo reale in un modello rappresentativo si scontra inevitabilmente con la presenza di errori e incertezze. La misura, pertanto, è sempre accompagnata da una "dismisura", che può essere intesa, in questo contesto, non solo come eccesso, ma come allontanamento dalla misura, quindi, in senso lato, come errore. "Dismisure", misure errate o imprecise influenzano ogni fase del processo di rappresentazione: dalla concettualizzazione alla rappresentazione grafica, dalla misurazione degli attributi, alla loro conservazione e analisi [Bodenhamer et al. 2010, p. 55]. La tecnologia moderna, nonostante offra strumenti avanzati per la rappresentazione della realtà, non è esente da errori. Questi possono essere ridotti ma non completamente eliminati, ottenendo misurazioni caratterizzate da una determinata componente di incertezza.

La cartografia contemporanea si muove verso la creazione di mappe interattive, multimediali, interdisciplinari e dettagliate [Ganciu 2022; Cicalò et al. 2021], e i sistemi informativi geografici (GIS) giocano un ruolo cruciale nella gestione e rappresentazione del territorio [Murieta-Flores et al. 2017]. Il GIS integra diverse discipline per offrire una visione interdisciplinare e articolata del paesaggio coniugando, a seconda delle esigenze della rappresentazione, l'architettura, l'urbanistica, la storia, la geologia, l'idraulica ecc. Grazie allo sviluppo di discipline quali l'"Historical Geography" e le "Spatial Humanities" [White 2020; Knowles 2005; Knowles 2014], le metodologie digitali costituiscono ormai una parte integrante della formazione dello storico [Ilniyazovich 2023]. In particolare, gli errori e le incertezze nelle fonti storiche e umanistiche, particolarmente rilevanti per la frequente presenza di inesattezze e ambiguità, sono temi consolidati di ricerca nella comunità GIS [Gregory et al. 2014, p. 174].

Questo articolo esplora specificamente gli errori nel processo di georeferenziazione delle mappe storiche tramite il caso studio di una mappa storica di Firenze, realizzata dall'architetto Giuseppe Poggi in occasione dell'espansione della città per accogliere la capitale d'Italia nel 1865 [Poggi 1865] (fig 1).

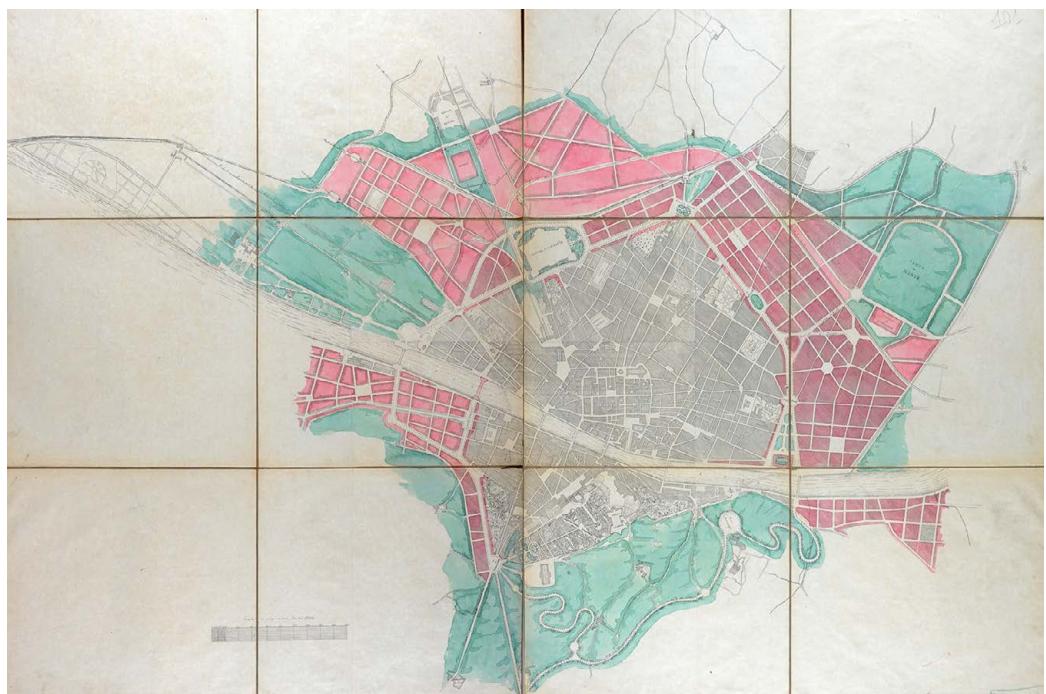


Fig. 1. Pianta realizzata dall'architetto Giuseppe Poggi per il progetto di ampliamento della città di Firenze per ospitare la capitale d'Italia (da: Poggi 1865).

Errori nelle mappe

Gli errori insiti nelle mappe possono scaturire da molteplici fattori, ognuno dei quali complica significativamente il processo di digitalizzazione e interpretazione dei dati storici. Molte informazioni storiche provengono da mappe che potrebbero non essere accurate, e la rappresentazione delle caratteristiche di queste mappe nel GIS sarà accurata al più quanto la fonte originale [Gregory 2003, p. 13]. Possono verificarsi casi in cui sia dubbia la natura stessa delle caratteristiche rappresentate. Ciò può essere dovuto a diversi motivi: come danni alla mappa storica che ne compromettono la leggibilità; incompletezza o assenza totale della legenda; difficoltà di rappresentazione di alcune categorie di informazioni [Schaffer et al. 2015, p. 103]. Le mappe possono riportare caratteristiche in modo vago e ambiguo, ciò può essere dovuto alla difficoltà di rappresentare il dato stesso, oppure può essere causato dallo scarso interesse del cartografo per l'accuratezza di quell'elemento [Schaffer et al. 2015, p. 95]. Le mappe storiche possono anche essere incomplete; per stimare la completezza delle informazioni di mappe storiche gli studiosi si servono di varie tecniche comparative: come la comparazione con foto aere, note di viaggio o l'integrazione di più fonti [Schaffer et al. 2015]. L'accuratezza delle mappe può essere stimata tramite dei parametri statistici di cui il più comune è il Root Mean Squared Error, RMSE (errore quadratico medio) [Schaffer et al. 2015, p. 100].

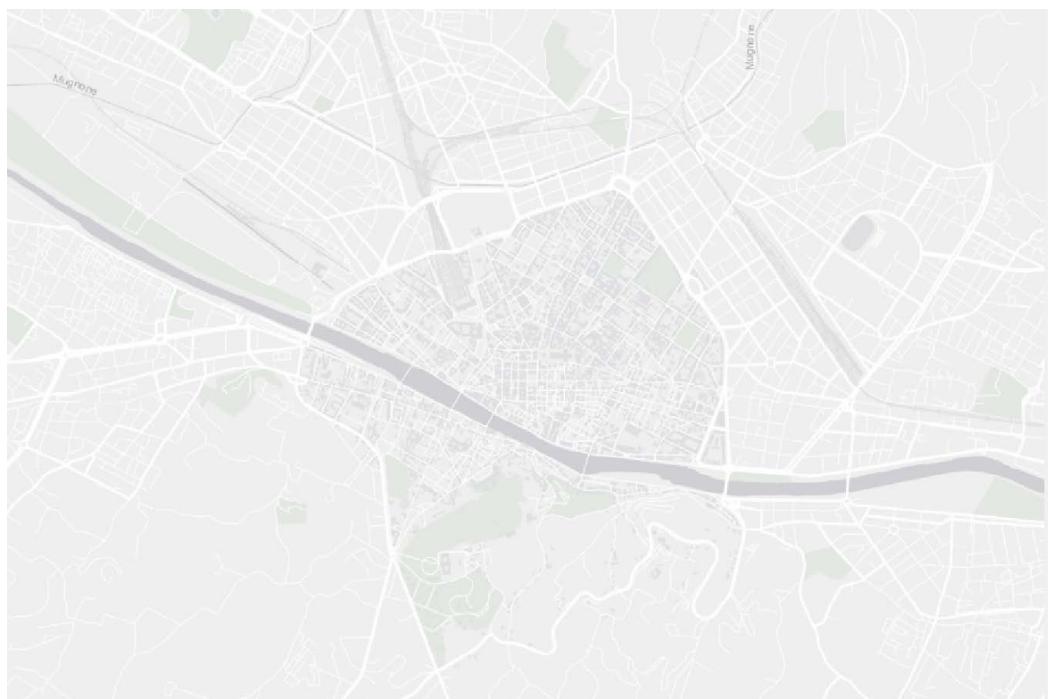


Fig. 2. Pianta attuale della città di Firenze georeferenziata e disponibile come cartografia di base nel software QGIS (da: CatoDB 2014).

Errori nelle acquisizioni delle mappe

La digitalizzazione della mappa è il primo passo per consentirne l'utilizzo in ambiente GIS. Non è sempre possibile limitare gli errori nel processo di digitalizzazione, sia per la geometria della mappa, che potrebbe essere stata piegata o arrotolata e quindi difficile da digitalizzare, sia per distorsioni dovute alla strumentazione di digitalizzazione, quali scanner o macchine fotografiche. La digitalizzazione degli attributi è solitamente più semplice rispetto alla cattura del dato spaziale [Gregory 2003, p. 38]. La ricerca sta tendendo all'automatizzazione della digitalizzazione delle mappe storiche per facilitare l'estrazione di dati tramite processi

di *deep learning* [Altawee 2022]. Gli algoritmi per estrarre informazioni semantiche dalle mappe storiche possono essere molto efficaci, ma come gli altri processi di acquisizione non sono esenti da errori [Budig 2018, p. 3].

Georeferenziazione delle mappe

Dopo la fase di digitalizzazione, la mappa viene georeferenziata nel software GIS. Questo processo può essere suddiviso in quattro fasi principali: *feature detection* (individuazione delle caratteristiche), *feature matching* (abbinamento delle caratteristiche), *transform model estimation* (stima del modello di trasformazione) e *image resampling and transformation* (ri-campionamento e trasformazione dell'immagine) [Zitova et al. 2003].

Le prime due fasi consistono nell'individuazione di punti comuni alla mappa da georeferenziare e a una già georeferenziata conosciuti come *control point* (CP). Quando è presente un reticolo nella mappa, questo può essere usato per individuare punti di controllo, in alternativa si ricorre ad altre caratteristiche facilmente riconoscibili su entrambe le mappe [Schaffer et al. 2015, p. 100]. La fase successiva è quella di *transform model estimation* in cui si valuta preventivamente quale modello di trasformazione può essere necessario alla mappa da georeferenziare per adattarsi alla mappa georeferenziata. Pertanto, è importante interrogarsi su quali trasformazioni geometriche siano necessarie, valutando se sia sufficiente solo traslazione e ingrandimento proporzionale della mappa, oppure se siano necessarie anche rotazioni, o deformazioni più complesse. Nella *feature detection* e *matching* possono insorgere errori, sia nel *matching* tramite coordinate, a causa di errori nelle coordinate, sia in un *matching* manuale a causa degli errori dovuti all'imprecisione del cursore [Gregory 2003, p. 37]. Inoltre, anche la scelta del modello di trasformazione potrebbe risultare poco adeguata alla mappa da georeferenziare.

Metodologie per affrontare l'errore

Nel campo della ricerca storica, le metodologie tradizionali delle discipline umanistiche, come l'analisi testuale approfondita e l'interpretazione minuziosa di risultati e tendenze, sono fondamentali e mantengono un valore cruciale anche nell'era degli strumenti digitali. Queste pratiche, che includono la comparazione con altre fonti per affrontare l'incertezza, sottolineano l'importanza di una lettura critica e di una riflessione dettagliata sui materiali di studio. Utilizzando sia informazioni desunte da archivi storici, sia mappe contemporanee con simbologie simili, o osservazioni dirette sul campo, gli storici possono arricchire l'interpretazione della mappa con maggiore affidabilità e dettaglio [Schaffer et al. 2015, p. 102; Gregory et al. 2014, p. 174].

In aggiunta, l'adozione di soluzioni tecniche basate su approcci statistici per quantificare l'incertezza e i suoi effetti, rappresenta una direzione sempre più esplorata. Questi metodi statistici, pur essendo distanti dagli approcci tradizionali delle discipline umanistiche, offrono nuovi strumenti per affrontare l'incertezza delle fonti, contribuendo a una più solida interpretazione dei dati storici [Gregory et al. 2014, p. 174].

Le varie stime degli errori possono portare ad adeguare le tecniche con cui le informazioni sono riportate nel modello GIS. Alcune informazioni potrebbero venire ridotte, accorpando categorie dubbie o semplificandole, per ridurne l'incertezza [Schaffer et al. 2015, p. 102]. Oppure, alcune informazioni possono essere riportate all'interno del GIS con un proprio grado di incertezza come in Grossinger [Grossinger et al. 2006] che assegna tre valori di incertezza ai dati riportati.

Caso studio: georeferenziazione di una pianta del progetto Poggi

Il caso di studio preso in esame riguarda la georeferenziazione della mappa di Firenze realizzata da Poggi intorno al 1865 [Poggi 1865] (fig. 1) rispetto a una mappa attuale della

città di Firenze georeferenziata [CartoDB 2014] (fig. 2). La mappa storica illustra il progetto elaborato dall'architetto Giuseppe Poggi per l'espansione della città di Firenze in vista dell'assunzione del ruolo di Capitale d'Italia tra il 1865 e il 1870, come delineato nel piano regolatore approvato nel 1865. L'analisi è stata condotta partendo dalla mappa originale realizzata da Poggi per il piano regolatore. La mappa è stampata in scala 1:57.000 e poi acquerellata a mano, misura 1600×970 mm ed è composta da 12 fogli di 350×330 mm incollati su tela marrone. Esaminando la pianta è possibile notare alcune piccole variazioni progettuali rispetto alla versione della stessa Pianta inserita da Poggi nella sua relazione a stampa sui lavori di ingrandimento di Firenze [Poggi 1889-1990].

L'immagine è stata digitalizzata dal laboratorio fotografico del Gabinetto Vieusseux tramite una macchina fotografica Nikon D700 con obiettivo da 35 mm montato su stativo. A causa del grande formato della pianta, la digitalizzazione è avvenuta tramite due scatti fotografici riuniti digitalmente. L'immagine digitale è composta da 5243×3646 pixel e, con una risoluzione di 300 dpi, arriva a misurare circa 440×310 mm. Nonostante il processo di digitalizzazione abbia comportato una consistente perdita del livello di dettaglio della pianta, l'immagine digitalizzata è comunque sufficientemente leggibile e interpretabile. La tecnica di digitalizzazione, però, ha permesso di mantenere pressoché invariate le proporzioni originali della pianta. Il processo di incollatura dei singoli fogli su tela ha creato alcuni spazi dilatando l'immagine, pertanto, i fogli sono stati riaffiancati digitalmente per porre in continuità le diverse parti della mappa (fig. 3).

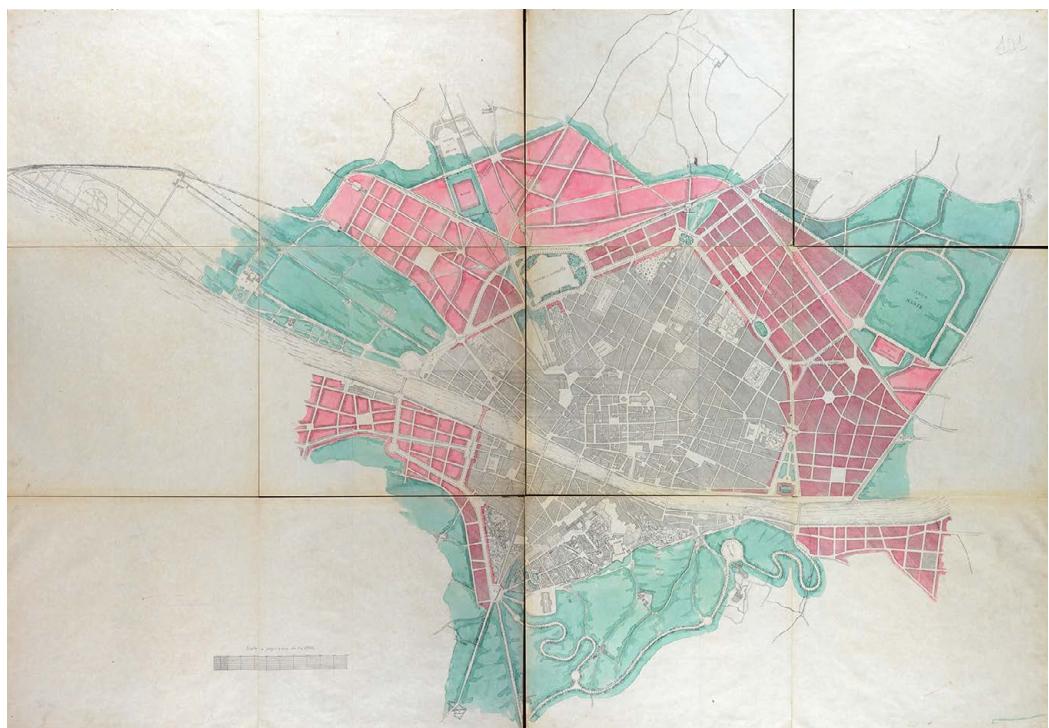


Fig. 3. Pianta Indicativa (da Poggi 1865) modificata digitalmente per minimizzare la distorsione legata ai vuoti dovuti all'incollaggio dei fogli su tela. Elaborazione grafica dell'autore.

Il processo di *feature detection* e *feature matching* è stato eseguito tramite il software QGIS. I punti di controllo selezionati per la georeferenziazione si basano su strade ed edifici indicati nella mappa storica e ancora presenti nella mappa attuale, come la Fortezza da Basso e il Forte del Belvedere.

Per la natura mutevole e in costante sviluppo che ha caratterizzato il progetto di Poggi, non sono stati presi in considerazione elementi progettuali come punti di controllo. Il numero di questi punti è variato a seconda dei modelli di trasformazione sperimentati. Nella trasformazione finale sono stati adottati 18 punti (fig. 4).

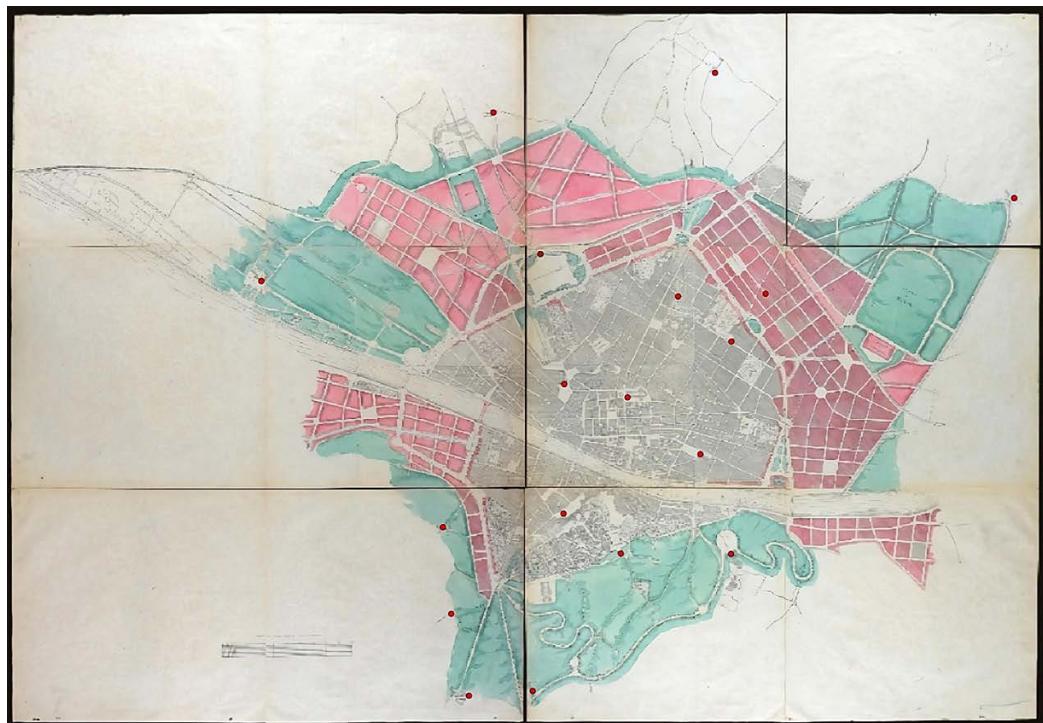


Tabella GCP

Abilitato	ID	Origine X	Origine Y	Dest. X	Dest. Y	dX (pixel)	dY (pixel)	Residuo (pixel)
✓	0	3122.8538	-1971.4640	1252967.81	5430372.47	0.000000	-0.000000	0.000000
✓	1	2684.6907	-1249.8958	1252120.64	5431982.77	0.000000	-0.000000	0.000000
✓	2	3643.5208	-2759.4238	1254021.99	5428617.78	0.000000	0.000000	0.000000
✓	3	2324.8957	-3473.6911	1251217.94	5427214.91	0.000000	-0.000000	0.000000
✓	4	1279.4615	-1385.9878	1249019.26	5431812.85	0.000000	0.000000	0.000000
✓	5	3645.4575	-1689.9602	1254110.98	5430898.68	0.000000	-0.000000	0.000000
✓	6	3817.5006	-1449.5798	1254529.52	5431393.44	0.000000	0.000000	0.000000
✓	7	2235.2599	-3060.8733	1250956.16	5428129.47	0.000000	-0.000000	0.000000
✓	8	5069.0352	-967.854874	1257324.88	5432288.25	0.000000	-0.000000	0.000000
✓	9	2447.4690	-536.896139	1251719.49	5433596.86	0.000000	-0.000000	0.000000
✓	10	3563.0146	-337.356184	1254124.06	5433859.72	0.000000	-0.000000	0.000000
✓	11	3089.1539	-2757.4576	1252786.80	5428713.87	0.000000	-0.000000	0.000000
✓	12	2804.0267	-1904.6977	1252294.65	5430566.61	0.000000	-0.000000	0.000000
✓	13	3376.6902	-1463.1191	1253571.25	5431435.92	0.000000	-0.000000	0.000000
✓	14	2645.3078	-3449.3728	1251897.12	5427500.06	0.000000	0.000000	0.000000
✓	15	3489.3523	-2257.2804	1253723.99	5429737.61	0.000000	-0.000000	0.000000
✓	16	2800.3422	-2556.1538	1252203.86	5429183.20	0.000000	-0.000000	0.000000
✓	17	2193.8092	-2625.0265	1250907.96	5429136.85	0.000000	-0.000000	0.000000

Fig. 4 Punti di controllo (CP) per la georeferenziazione della *Pianta Indicativa* (da: Poggi 1865) sovrapposti alla mappa e individuati tramite coordinate in forma di tabella, secondo l'interfaccia del software QGIS. Elaborazione dell'autore.

Il processo di *Transform Model Estimation* è stato eseguito prendendo in considerazione i diversi algoritmi di trasformazione disponibili in QGIS: Lineare, Helmert, Polinomiale (gradi 1, 2, 3), Proiettivo e *Thin Plate Spline* (TPS), che offrono un range di trasformazioni che vanno dalla conservazione delle proporzioni originali a deformazioni più libere dell'immagine raster. Le forti discrepanze tra la mappa Poggi e la mappa attuale georeferenziata hanno portato a scegliere algoritmi che permettessero elevati livelli di deformazione, come gli algoritmi polinomiali di secondo e terzo grado e la TPS che utilizza almeno 10 punti di controllo. La TPS, in particolare, ha offerto risultati più convincenti, grazie alla sua elevata flessibilità. La discrepanza tra la posizione di matching dei punti di controllo con quelli della mappa georeferenziata e la posizione finale effettivamente assegnata dall'algoritmo è chiamata "residuo". Nel caso della TPS il residuo è prossimo a 0 (figg. 4, 6).

Infine, le fasi di *Image resampling and transformation* sono gestite automaticamente da QGIS, facilitando l'integrazione della mappa georeferenziata nel contesto attuale e consentendo un'analisi dettagliata delle discrepanze e delle deformazioni risultanti.

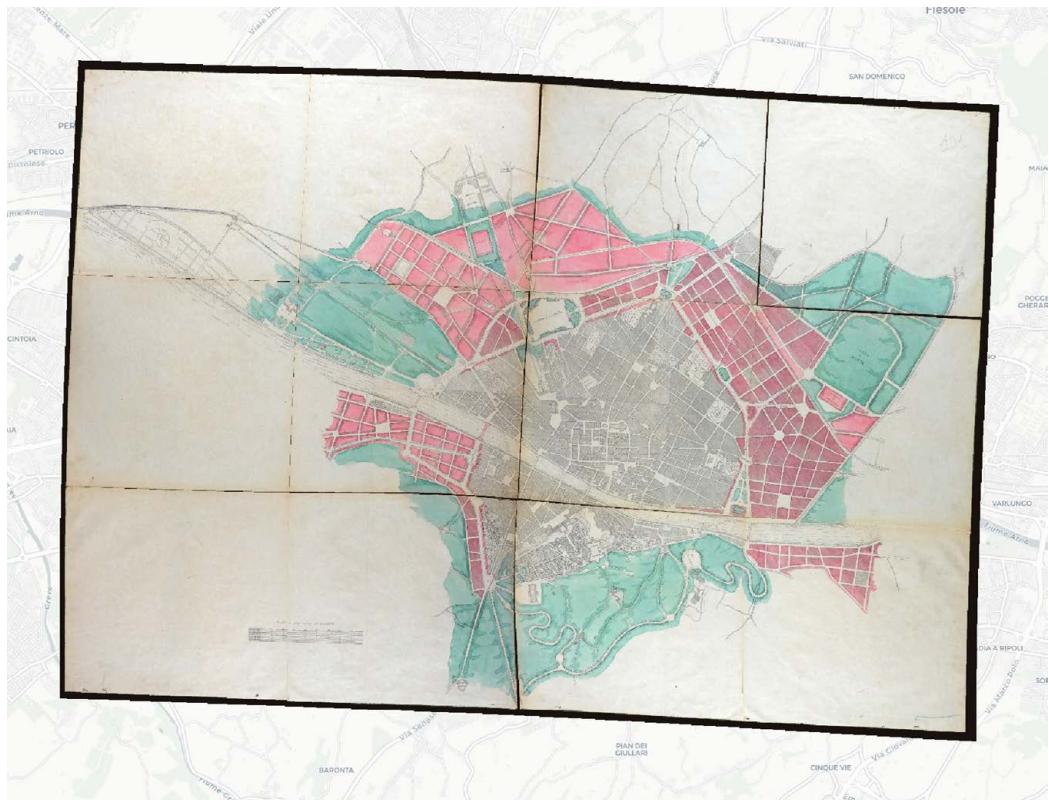


Fig. 5. Pianta realizzata da Giuseppe Poggi per il progetto di ampliamento della città di Firenze (da: Poggi 1865) georeferenziata tramite il software Qgis rispetto a una pianta attuale di Firenze (da: CartoDB 2014).

Discussion

La comparazione della mappa storica georeferenziata tramite TPS (fig. 5) con la mappa storica priva di distorsioni (fig. 1) ha permesso, tramite i punti di controllo, di stimare la distribuzione dell'errore all'interno della mappa (figg. 7, 8). L'errore risulta minimo al centro della città e più elevato nelle aree esterne, in particolare nella zona meridionale. Avendo minimizzato, per quanto possibile, gli errori nella fase di digitalizzazione e georeferenziazione della mappa, gli errori evidenziati nell'analisi digitale della mappa (fig. 8) sono da imputare principalmente alle inaccuratezze della mappa originale. È logico, infatti, che la cartografia fosse sufficientemente accurata nell'area più importante, cioè il centro città; inoltre, l'orografia pianeggiante del centro di Firenze e delle aree limitrofe a settentrione contribuisce all'accuratezza della pianta in quelle aree, mentre a sud, la drastica diminuzione di accuratezza è da imputare alla difficoltà di rappresentazione del territorio dovuta alla presenza di colline a sinistra dell'Arno.

La mappa digitalizzata dell'architetto Giuseppe Poggi è stata oggetto di una comparazione, non solo con una mappa moderna, ma anche con altre cartografie storiche per valutarne l'accuratezza rispetto alla cartografia del tempo. Un confronto è stato effettuato con la Pianta della città di Firenze di Pozzi [Pozzi 1855] (fig. 9). L'esatta sovrappponibilità del centro di Firenze nelle due mappe sembra indicare che la mappa del 1855 costituisca la cartografia originale su cui Poggi basò il suo progetto di ampliamento della città. La stessa concordanza è stata riscontrata tra la Pianta del 1865 e la *Pianta di Firenze* [Pianta di Firenze entro la vecchia cinta urbana con i progetti compresi nel piano regolatore approvato (1865-1875



Fig. 6. Residuo in pixel $\times 10^{-12}$ dei punti di controllo georeferenziati utilizzando l'algoritmo Thin Plate Spline. Elaborazione dell'autore.

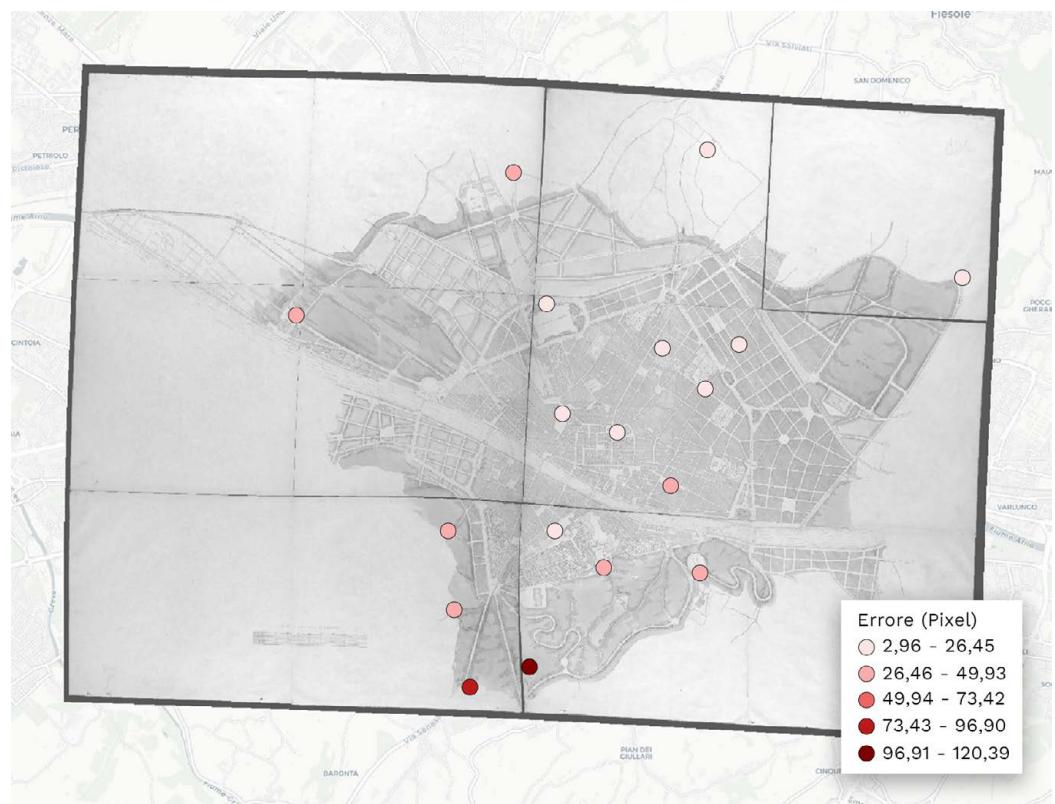


Fig. 7. Errore in pixel dei punti di controllo georeferenziati utilizzando l'algoritmo Thin Plate Spline. Elaborazione dell'autore.

attr.]) (fig. 10). Come è logico, queste piante di Firenze si concentrano sull'area racchiusa dalle mura medievali, mentre Poggi, dovendo progettare un piano di ampliamento della città, estese significativamente la porzione di territorio rappresentata. È importante, quindi, sottolineare che proprio le aree in cui l'architetto fu chiamato a intervenire nel suo piano di ampliamento siano quelle rappresentate in modo meno accurato nella cartografia di base utilizzata da Poggi. L'inaccuratezza della rappresentazione geografica dei dintorni di Firenze è, quindi, un'ulteriore difficoltà che Poggi avrà dovuto affrontare nella complessa progettazione e realizzazione del suo piano di ampliamento per Firenze Capitale.



Fig. 8. Errore medio in pixel dai punti di controllo georeferenziati utilizzando l'algoritmo *Thin Plate Spline*.
Elaborazione grafica dell'autore.

Conclusioni

L'accuratezza dei dati storici digitalizzati è un ambito di ricerca complesso, e la letteratura scientifica sottolinea l'importanza di mantenere un approccio olistico combinando alle potenzialità degli strumenti digitali una metodologia storica di confronto delle fonti. La georeferenziazione e la sovrapposizione di mappe storiche, facilitata dall'uso di tecnologie digitali, aprono nuovi orizzonti per l'interpretazione storica e culturale, permettendo analisi dettagliate delle trasformazioni territoriali e urbane. Queste tecniche digitali, tuttavia, introducono anche nuove sfide legate alla misura, all'incertezza e all'errore, specialmente quando applicate alla ricerca storica.

L'analisi della mappa di Giuseppe Poggi evidenzia come l'integrazione di metodologie tradizionali con tecnologie digitali possa approfondire la nostra comprensione di documenti storici consentendo nuovi percorsi interpretativi del dato storico. La combinazione di approcci storici con avanzamenti tecnologici nel GIS offre un potente strumento per esplorare la misura e la rappresentazione del paesaggio storico. Questo approccio ibrido non solo approfondisce la qualità dell'interpretazione storica ma evidenzia anche l'importanza di un dialogo continuo tra discipline umanistiche e tecnologie digitali, per navigare efficacemente tra le certezze e le incertezze che caratterizzano la misura e la rappresentazione del dato storico.



Fig. 9. Pianta della città di Firenze del 1855 (da: Pozzi 1855).



Fig. 10 Pianta di Firenze entro la vecchia cinta urbana con i progetti compresi nel piano regolatore approvato (da: Pianta di Firenze entro la vecchia cinta urbana con i progetti compresi nel piano regolatore approvato 1865-1875).

Riferimenti Bibliografici

- Altawee M. (2022). Extracting Geospatial Data From Historical Maps. In *Geography Realm* <<https://www.geographyrealm.com/extract-geospatial-data-maps/>> (consultato il 15.02.2024).
- Bodenhamer D.J., Corrigan J., Harris T.M. (a cura di). (2010). *The spatial humanities: GIS and the future of humanities scholarship*. Bloomington: Indiana University Press.
- Budig B. (2018). *Extracting spatial information from historical maps: Algorithms and interaction*. Würzburg: Würzburg University Press.
- CartoDB (2014). *Positron (retina)* <<https://carto.com/blog/getting-to-know-positron-and-dark-matter/>> (consultato il 30.07.2024).
- Cicalò E., Menchetelli V., Valentino M. (a cura di) (2021). *Linguaggi Grafici: Mappe*. Alghero: Publica.
- Ganciu A. (2022). *Cyber Mappe: La rappresentazione digitale delle informazioni territoriali complesse*. Alghero: Publica.
- Gregory I. (2003). *A place in history: A guide to using GIS in historical research*. Belfast: Oxbow Books.
- Gregory I. N., Geddes A. (a cura di). (2014). *Toward Spatial Humanities*. Bloomington & Indianapolis: Indiana University Press; JSTOR. <<http://www.jstor.org/stable/j.ctt16gz7s5>> (consultato il 15.02.2024).
- Grossinger R. M. et al. (2006). *Coyote creek watershed historical ecology study: historical condition, landscape change, and restoration potential in the eastern Santa Clara Valley, California*. San Francisco: San Francisco Estuary Institute. <<https://www.sfei.org/coyotecreek>> (consultato il 30.07.2004).
- Ilniyazovich S. F. (2023). Using GIS Software and the Importance of Digital History in the Study of History. In *International Journal Of History And Political Sciences* n. 3(10), pp. 31–33. <https://doi.org/10.37547/ijhps/Volume03Issue10-06>.
- Knowles A. (2005). Emerging trend in historical GIS. *Hist geogr*. In *Historical Geography* n 33, pp. 7–13.
- Knowles A. (2014). The contested nature of historical GIS. In *International Journal of Geographical Information Science* n. 28(1), pp. 206–211. <https://doi.org/10.1080/13658816.2013.850696>.
- Levin N. (2006). The Palestine Exploration Fund Map (1871–1877) of the Holy Land as a Tool for Analysing Landscape Changes: The Coastal Dunes of Israel as a Case Study. In *The Cartographic Journal* n. 43(1), 45–67. <https://doi.org/10.1179/000870406X93508>.
- Murrieta-Flores P., Donaldson C., Gregory I. (2017). GIS and Literary History: Advancing Digital Humanities research through the Spatial Analysis of historical travel writing and topographical literature. In *Digital Humanities Quarterly* n. 11(1). <[#norgate2014](http://www.digitalhumanities.org/dhq/vol/11/1/000283/000283.html)> (consultato il 15.02.2024).
- Pianta di Firenze entro la vecchia cinta urbana con i progetti compresi nel piano regolatore approvato (1865-1875 attr.)*. <<https://archinet.comune.fi.it/it/record/DIS408857?ref=ricerca>> (consultato il 15.02.2024).
- Poggi G. (1865). *Pianta indicativa dell'ingrandimento della città di Firenze: primo progetto del piano regolatore, 5.67* (1865). Archivio Contemporaneo Gabinetto Vieusseux.
- Poggi G. (1889-1990). *Pianta indicativa dell'Ingrandimento di Firenze: Piano Regolatore Primo Progetto*, in G. Poggi (1889-1990), *Sui lavori per l'ingrandimento di Firenze. Allegato III*. Firenze: Giunti.
- Pozzi, G. (1855 attr.). *Pianta della Città di Firenze*. <<https://archinet.comune.fi.it/it/record/DIS408859?ref=ricerca>> (consultato il 15.02.2024).
- Schaffer G., Levin N. (2015). Challenges and possible approaches for using GIS as a tool in historical geography landscape research: A meta-analysis review. In *e-Perimetron* n. 10(3), pp. 94–123.
- White R. (1 febbraio 2020). What is Spatial History? In *spatial history lab* pp. 1–6. <<https://web.stanford.edu/group/spatialhistory/media/images/publication/what%20is%20spatial%20history%20pub%20020110.pdf>> (consultato il 30.07.2024).
- Zitova B., Flusser J. (2003). Image registration methods: a survey. In *Image and Vision Computing* n. 21, pp. 977–1000. <[https://doi.org/10.1016/S0262-8856\(03\)00137-9](https://doi.org/10.1016/S0262-8856(03)00137-9)>

Autore

Francesco Cotana, Università degli Studi di Perugia, francesco.cotana@dottorandi.unipg.it.

Per citare questo capitolo: Cotana Francesco (2024). Misura ed errore nella cartografia storica: Analisi GIS della pianta per il Progetto di Espansione di Firenze di Giuseppe Poggi (1865)/Measurement and Error in Historical Cartography: GIS Analysis of the Map for Giuseppe Poggi's Florence Expansion Project (1865). In Bergamo F., Calandriello A., Ciamaichella M., Friso I., Gay F., Liva G., Monteleone C. (a cura di). *Misura / Dismisura. Atti del 45° Convegno Internazionale dei Docenti delle Disciplime della Rappresentazione/Measure / Out of Measure. Proceedings of the 45th International Conference of Representation Disciplines Teachers*. Milano: FrancoAngeli, pp. 2667-2688.

Measurement and Error in Historical Cartography: GIS Analysis of the Map for Giuseppe Poggi's Florence Expansion Project (1865)

Francesco Cotana

Abstract

The creation of maps representing territory is achieved through a process of measurement that, articulated on different levels, from analog to digital, is inevitably subject to the onset of errors. This article investigates the propagation of errors in the drafting, acquisition, and georeferencing of historical maps in a GIS environment. Among the methodologies to manage and identify errors, the literature emphasizes the importance of an integrated approach that harmonizes the potential offered by digital technologies with historical depth and source criticism. Through the specific study of the map of Florence created by the architect Giuseppe Poggi, compared with a current map of Florence and two historical maps, a higher level of error is highlighted in the south-central area of the city. This error is related to the topography of the territory, the high density of control points in that area, and finally, the errors accumulated in the various steps that led to georeferencing. The analysis of this case study illustrates how the synergy between traditional historical methods and digital representation techniques of the territory can not only enrich the interpretation of historical maps but also provide new perspectives for the analysis of urban and territorial landscapes.

Keywords

GIS, historical maps, uncertainty, landscape, georeferencing.



Synthetic collage representing the methodology of the article. From left to right: the historical map examined (from: Poggi 1865), the modern cartography with which it was compared (from: CatoDB 2014), the detailed analysis of the error at the control points for the georeferencing of the map (fig. 7), and a visualization of the average error (fig. 8). Elaboration by the author.

Introduction

The capacity to accurately measure and depict our environment stands as a cornerstone of human advancement, where precise quantification and faithful representation of reality are essential for both comprehending and shaping the world around us. However, every attempt to measure and translate the complexity of the real world into a representative model inevitably confronts errors and uncertainties. Thus, measurement is always accompanied by a "mismeasurement", which, in this context, can be understood not only as excess but as a deviation from measurement, and therefore, broadly, as error. "Mismeasurements", inaccurate or imprecise measures influence every phase of the representational process: from conceptualization to graphic representation, from the measurement of attributes to their preservation and analysis [Bodenhamer et al. 2010, p. 55]. Modern technology, despite offering advanced tools for representing reality, is not free from errors. These can be reduced but not eliminated, resulting in measurements characterized by a certain component of uncertainty.

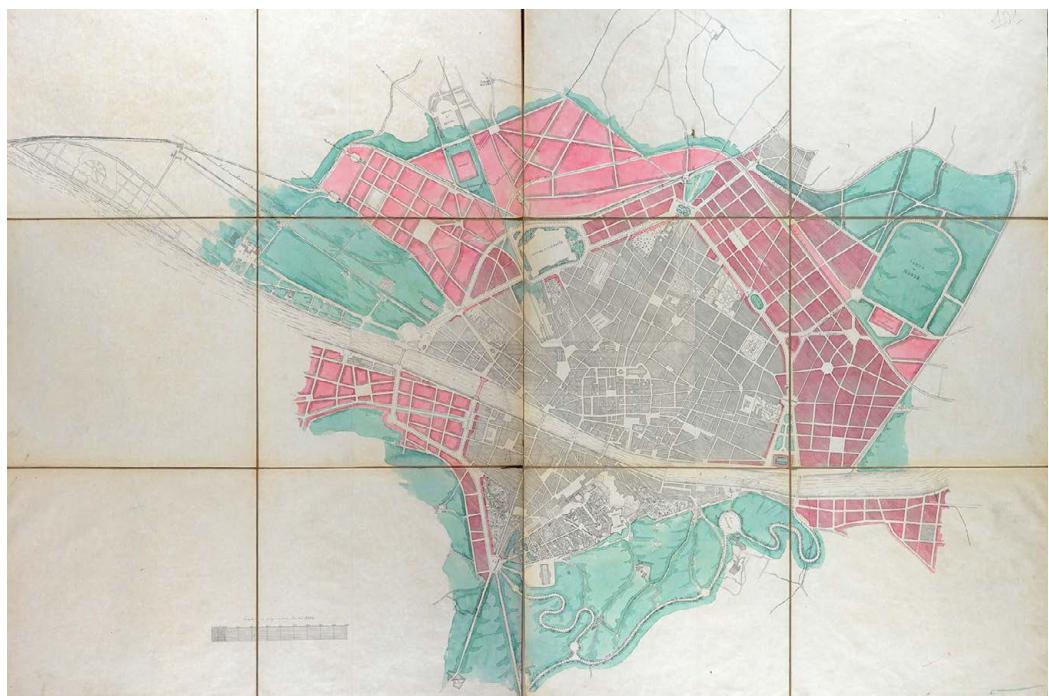


Fig. 1 Map created by architect Giuseppe Poggi for the project to expand the city of Florence to host the capital of Italy (from: Poggi 1865).

Contemporary cartography is moving towards the creation of interactive, multimedia, interdisciplinary, and detailed maps [Ganciu 2022; Cicalò et al. 2021], and Geographic Information Systems (GIS) play a crucial role in the management and representation of the territory [Murieta-Flores et al. 2017]. GIS integrates different disciplines to offer an interdisciplinary and articulated vision of the landscape, combining, depending on the needs of the representation, architecture, urban planning, history, geology, hydraulics, etc. Thanks to the development of disciplines such as Historical Geography and Spatial Humanities [White 2020; Knowles 2005; Knowles 2014], digital methodologies are now an integral part of the historian's training [Ilniyazovich 2023]. Errors and uncertainties in historical and humanistic sources, particularly relevant due to the frequent presence of inaccuracies and ambiguities, are established themes of research in the GIS community [Gregory et al. 2014, p. 174]. This article investigates georeferencing errors in historical maps, focusing on Giuseppe Poggi's map of Florence, crafted for the city's 1865 expansion as Italy's capital, to highlight the specific challenges in digitizing historical cartography [Poggi 1865] (fig. 1).

Errors in maps

Errors inherent in maps can arise from multiple factors, each of which significantly complicates the process of digitization and interpretation of historical data. Many historical pieces of information come from maps that may not be accurate, and the representation of the features of these maps in GIS will be at most as accurate as the original source [Gregory 2003, p. 13]. There may be cases where the very nature of the features represented is dubious. This can be due to various reasons: such as damage to the historical map that compromises its readability; incompleteness or total absence of the legend; difficulty in representing certain categories of information [Schaffer et al. 2015, p. 103]. Maps can report features vaguely and ambiguously, which may be due to the difficulty of representing the data itself or may be caused by the cartographer's lack of interest in the accuracy of that element [Schaffer et al. 2015, p. 95]. Historical maps can also be incomplete; to estimate the completeness of the information of historical maps, scholars use various comparative techniques: such as comparison with aerial photos, travel notes, or the integration of multiple sources [Schaffer et al. 2015]. The accuracy of maps can be estimated using statistical parameters, of which the most common is the Root Mean Squared Error, RMSE [Schaffer et al. 2015, p. 100].

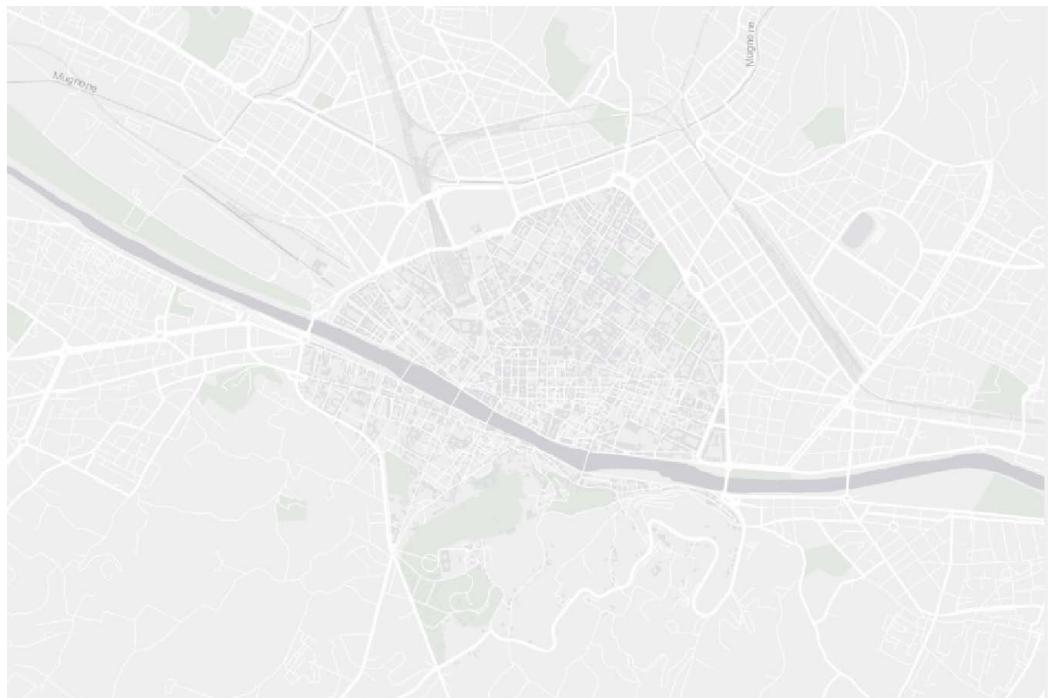


Fig. 2 Current map of the city of Florence georeferenced and available as base cartography in the QGIS software (from: CatoDB 2014).

Errors in map acquisition

The digitization of the map is the first step to allow its use in a GIS environment. It is not always possible to limit errors in the digitization process, both for the geometry of the map, which could have been folded or rolled and therefore difficult to digitize, and for distortions due to digitization equipment, such as scanners or cameras. Digitization of attributes is usually simpler compared to the capture of spatial data [Gregory 2003, p. 38]. Research is tending towards the automation of the digitization of historical maps to facilitate data extraction through deep learning processes [Altawee 2022]. Algorithms to extract semantic information from historical maps can be very effective, but like other acquisition processes, they are not free from errors [Budig 2018, p. 3].

Georeferencing of maps

After the digitization phase, the map is georeferenced in GIS software. This process can be divided into four main phases: feature detection, feature matching, transform model estimation, and image resampling and transformation [Zitova et al. 2003].

The first two phases consist of identifying common points on the map to be georeferenced and a map that has already been georeferenced, known as control points (CP). When a grid is present on the map, it can be used to identify control points; otherwise, other easily recognizable features on both maps are used [Schaffer et al. 2015, p. 100].

The next phase is transform model estimation, where it is assessed in advance which transformation model may be necessary for the map to be georeferenced to fit the georeferenced map.

Therefore, it is important to consider what geometric transformations are necessary, evaluating whether only translation and proportional magnification of the map are sufficient, or if rotations or more complex deformations are also needed. In feature detection and matching, errors can arise, either in matching through coordinates, due to errors in the coordinates, or in manual matching due to errors due to cursor imprecision [Gregory 2003, p. 37]. In addition, the choice of the transformation model might prove to be inadequate for the map to be georeferenced.

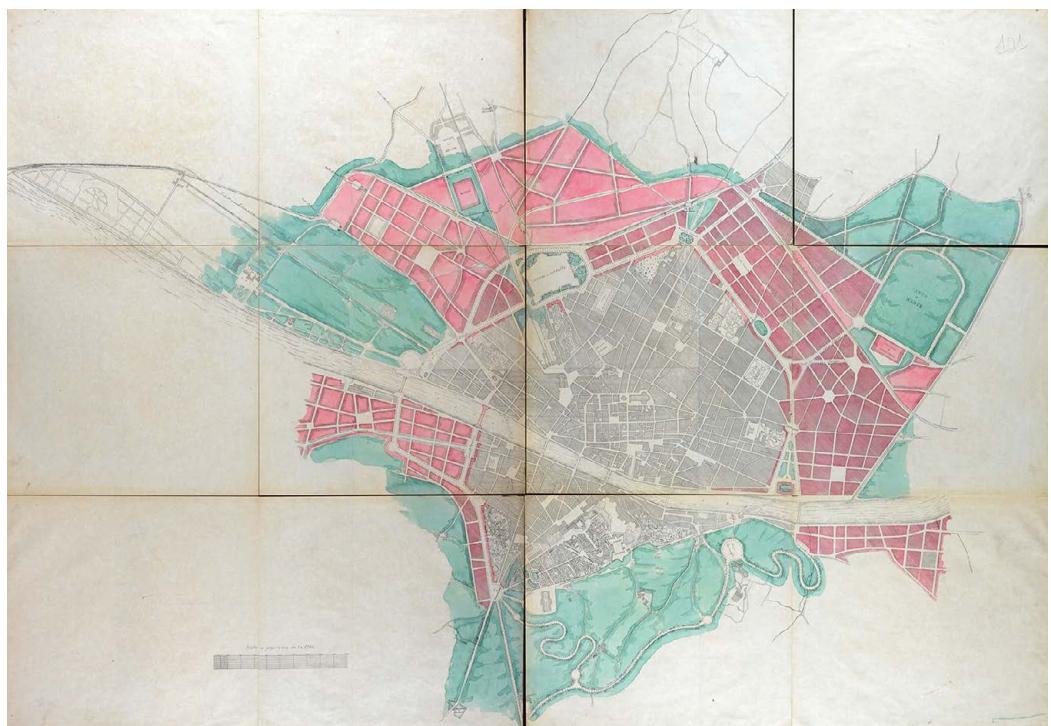


Fig. 3 Historical map (from: Poggi 1865) digitally modified to minimize distortion related to the gaps due to the gluing of the sheets on canvas. Elaboration by the author.

Methodologies for addressing errors

In the field of historical research, traditional humanities disciplines' methodologies, such as in-depth textual analysis and meticulous interpretation of results and trends, are fundamental and maintain crucial value even in the era of digital tools. These practices, which include comparison with other sources to address uncertainty, emphasize the importance of a critical reading and detailed reflection on the study materials. By utilizing information from historical archives, contemporary maps with similar symbology, and direct field observations, historians can enrich the interpretation of maps with greater reliability and detail [Schaffer et al. 2015, p. 102; Gregory et al. 2014, p. 174]. In addition, the adoption of technical solutions

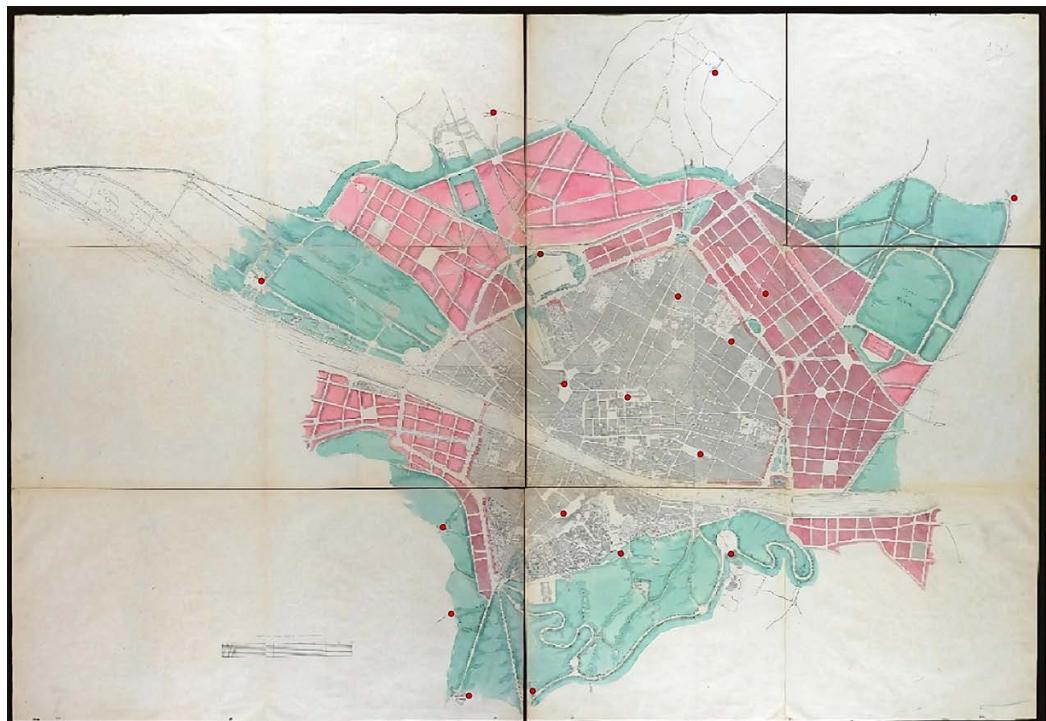


Tabella GCP

Abilitato	ID	Origine X	Origine Y	Dest. X	Dest. Y	dX (pixel)	dY (pixel)	Residuo (pixel)
✓	0	3122.8538	-1971.4640	1252967.81	5430372.47	0.000000	-0.000000	0.000000
✓	1	2684.6907	-1249.8958	1252120.64	5431982.77	0.000000	-0.000000	0.000000
✓	2	3643.5208	-2759.4238	1254021.99	5428617.78	0.000000	0.000000	0.000000
✓	3	2324.8957	-3473.6911	1251217.94	5427214.91	0.000000	-0.000000	0.000000
✓	4	1279.4615	-1385.9878	1249019.26	5431812.85	0.000000	0.000000	0.000000
✓	5	3645.4575	-1689.9602	1254110.98	5430898.68	0.000000	-0.000000	0.000000
✓	6	3817.5006	-1449.5798	1254529.52	5431393.44	0.000000	0.000000	0.000000
✓	7	2235.2599	-3060.8733	1250956.16	5428129.47	0.000000	-0.000000	0.000000
✓	8	5069.0352	-967.854874	1257324.88	5432288.25	0.000000	-0.000000	0.000000
✓	9	2447.4690	-536.896139	1251719.49	5433596.86	0.000000	-0.000000	0.000000
✓	10	3563.0146	-337.356184	1254124.06	5433859.72	0.000000	-0.000000	0.000000
✓	11	3089.1539	-2757.4576	1252786.80	5428713.87	0.000000	-0.000000	0.000000
✓	12	2804.0267	-1904.6977	1252294.65	5430566.61	0.000000	-0.000000	0.000000
✓	13	3376.6902	-1463.1191	1253571.25	5431435.92	0.000000	-0.000000	0.000000
✓	14	2645.3078	-3449.3728	1251897.12	5427500.06	0.000000	0.000000	0.000000
✓	15	3489.3523	-2257.2804	1253723.99	5429737.61	0.000000	-0.000000	0.000000
✓	16	2800.3422	-2556.1538	1252203.86	5429183.20	0.000000	-0.000000	0.000000
✓	17	2193.8092	-2625.0265	1250907.96	5429136.85	0.000000	-0.000000	0.000000

Fig. 4 Control points (CP) for the georeferencing of the historical map (from: Poggi 1865) overlaid on the map and identified through coordinates in table form, according to the QGIS software interface. Elaboration by the author.

based on statistical approaches to quantify uncertainty and its effects represents an increasingly explored direction. These statistical methods, although distant from the traditional approaches of the humanities disciplines, offer new tools for addressing the uncertainty of sources, contributing to a more solid interpretation of historical data [Gregory et al. 2014, p. 174].

Various error estimates can lead to adjusting the techniques with which information is reported in the GIS model. Some information might be reduced, by merging dubious categories or simplifying them, to reduce their uncertainty [Schaffer et al. 2015, p. 102]. Alternatively, some information can be reported within the GIS with its degree of uncertainty, as in Grossinger [Grossinger et al. 2006], which assigns three uncertainty values to the reported data.

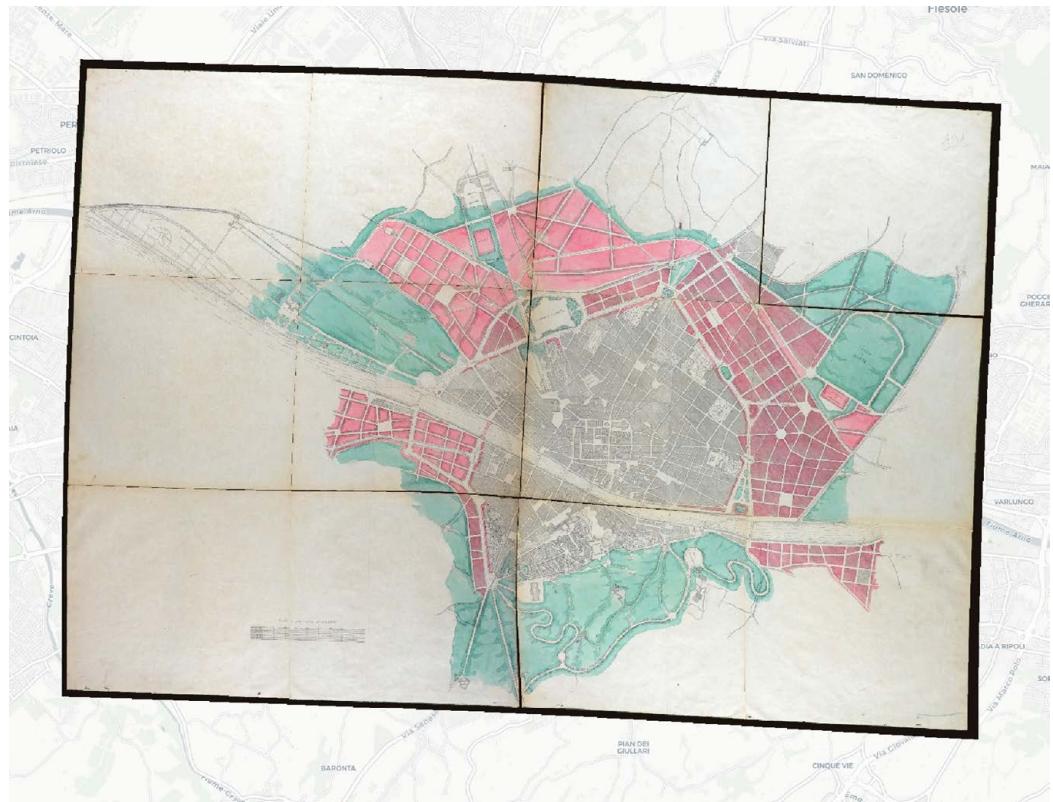


Fig. 5 Map created by Giuseppe Poggi for the project to expand the city of Florence (from: Poggi 1865) georeferenced using QGIS software compared to a current map of Florence (from: CartoDB 2014).

Case study: georeferencing a map from the Poggi Project

The case study under examination concerns the georeferencing of the map of Florence created by Poggi around 1865 [Poggi 1865] (fig. 1) compared to a current map of the city of Florence georeferenced [CartoDB 2014] (fig. 2). The historical map illustrates the project developed by architect Giuseppe Poggi for the expansion of the city of Florence in preparation for its role as the capital of Italy between 1865 and 1870, as outlined in the master plan approved in 1865. The analysis was conducted starting from the original map created by Poggi for the master plan. The map is printed at a scale of 1:57000 and then hand-painted with watercolors, measuring 1600×970 mm and composed of 12 sheets of 350×330 mm glued onto brown canvas. By examining the map, it is possible to notice some small design variations compared to the version of the same map included by Poggi in his printed report on the enlargement works of Florence [Poggi 1889-1990].

The image was digitized by the photographic laboratory of the Gabinetto Vieusseux using a Nikon D700 camera with a 35 mm lens mounted on a stand. Due to the large format of the map, the digitization was done through two photographic shots that were digitally combined. The digital image is composed of 5243×3646 pixels and, with a resolution of 300 dpi, measures approximately 440×310 mm. Despite the digitization process resulting in a significant loss of detail level in the map, the digitized image is still sufficiently readable and interpretable. However, the digitization technique allowed the original proportions of the map to be almost entirely preserved. The process of gluing the individual sheets onto canvas created some gaps, stretching the image, so the sheets were digitally realigned to ensure continuity between the different parts of the map (fig. 3).

The process of feature detection and feature matching was performed using QGIS software. The control points selected for georeferencing are based on streets and buildings indicated in the historical map and still present in the current map, such as the Fortezza da Basso and the Forte del Belvedere. Due to the evolving and constantly developing nature



Fig. 6. Residual in pixel $\times 10^{-12}$ of the control points georeferenced using the Thin Plate Spline algorithm. Elaboration by the author.

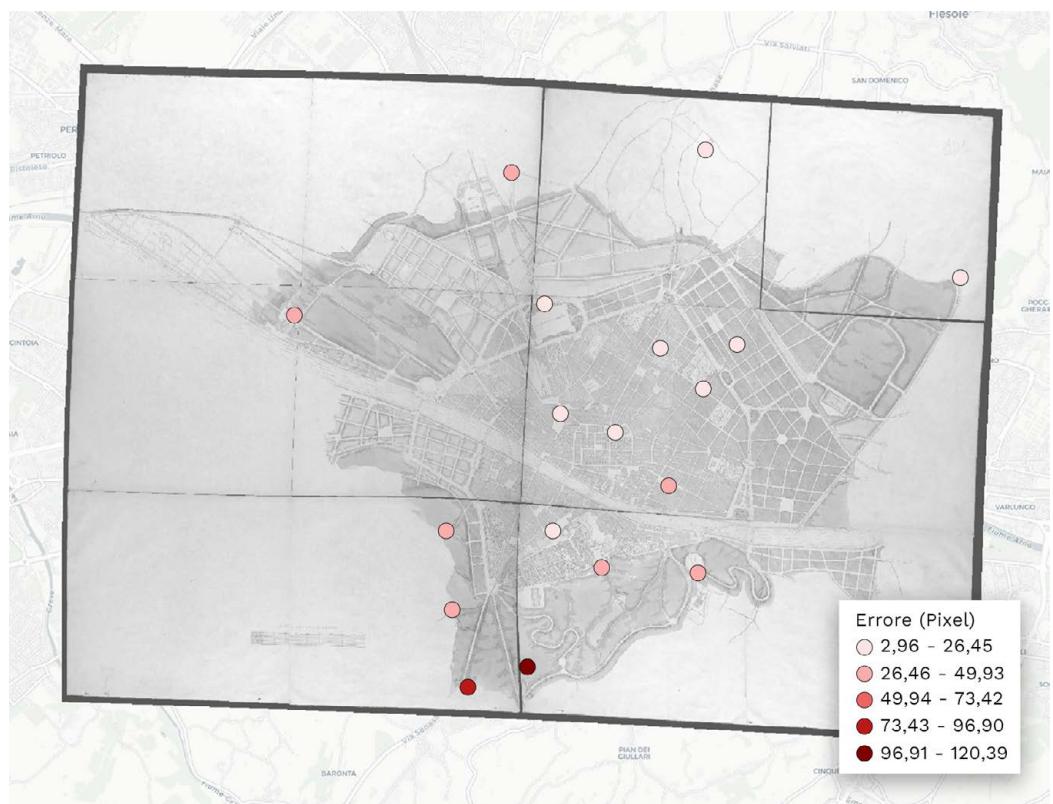


Fig. 7 Error in pixels of the control points georeferenced using the Thin Plate Spline algorithm. Elaboration by the author.

of Poggi's project, design elements were not considered as control points. The number of these points varied depending on the transformation models experimented with. In the final transformation, 18 points were adopted (fig. 4).

The process of Transform Model Estimation was carried out by considering the various transformation algorithms available in QGIS: Linear, Helmert, Polynomial (degrees 1, 2, 3), Projective, and Thin Plate Spline (TPS), which offer a range of transformations from preserving the original proportions to allowing freer deformations of the raster image. The significant discrepancies between the Poggi map and the current georeferenced map led to



Fig. 8 Average error in pixels of the control points georeferenced using the Thin Plate Spline algorithm. Elaboration by the author.

the choice of algorithms that allowed high levels of deformation, such as second and third degree polynomial algorithms and TPS, which uses at least 10 control points. TPS, in particular, offered more convincing results due to its high flexibility. The discrepancy between the matching position of the control points on the georeferenced map and the final position actually assigned by the algorithm is called "residual." In the case of TPS, the residual is close to 0 (figs. 4, 6).

Finally, the stages of image resampling and transformation are managed automatically by QGIS, facilitating the integration of the georeferenced map into the current context and allowing a detailed analysis of the resulting discrepancies and deformations.

Discussion

The comparison of the historical map georeferenced using TPS (fig. 5) with the undistorted historical map (fig. 1) allowed, through the control points, the estimation of the error distribution within the map (figs. 7, 8). The error is minimal in the city center and higher in the outer areas, particularly in the southern area. Having minimized, as much as possible, the errors in the digitization and georeferencing phases of the map, the errors highlighted in the digital analysis of the map (fig. 8) are mainly attributable to inaccuracies in the original map.



Fig. 9 Map of the city of Florence from 1855 (from: Pozzi 1855).



Fig. 10 Map of Florence within the old urban boundary with the projects included in the approved regulatory plan (from: Pianta di Firenze entro la vecchia cinta urbana con i progetti compresi nel piano regolatore approvato 1865-1875).

It is logical that the cartography was sufficiently accurate in the most important area, namely the city center; additionally, the flat topography of the center of Florence and the northern surrounding areas contributes to the accuracy of the map in those areas, while in the south, the drastic decrease in accuracy is due to the difficulty in representing the territory caused by the presence of hills to the left of the Arno.

The digitized map of architect Giuseppe Poggi was not only compared with a modern map but also with other historical cartographies to evaluate its accuracy against the cartography of the time. A comparison was made with the Map of the City of Florence by Pozzi [Pozzi 1855] (fig. 9). The exact alignment of the center of Florence in the two maps seems to indicate that the 1855 map constitutes the original cartography on which Poggi based his city expansion project. The same concordance was found between the 1865 map and the Pianta di Firenze [Pianta di Firenze entro la vecchia cinta urbana con i progetti compresi nel piano regolatore approvato (1865-1875 attr.)] (fig. 10). As expected, these maps of Florence focus on the area enclosed by the medieval walls, while Poggi, having to design an expansion plan for the city, significantly extended the portion of the territory represented. It is important, therefore, to emphasize that the areas where the architect was called to intervene in his expansion plan are those represented less accurately in the base cartography used by Poggi. The inaccuracy of the geographical representation of the surroundings of Florence is, therefore, an additional difficulty that Poggi would have had to face in the complex design and implementation of his expansion plan for Florence as the capital.

Conclusions

The accuracy of digitized historical data is a complex field of research, and scientific literature emphasizes the importance of maintaining a holistic approach by combining the potential of digital tools with a historical methodology of source comparison. Georeferencing and overlaying historical maps, facilitated by the use of digital technologies, open new horizons for historical and cultural interpretation, allowing detailed analyses of territorial and urban transformations. These digital techniques, however, also introduce new challenges related to measurement, uncertainty, and error, especially when applied to historical research.

The analysis of Giuseppe Poggi's map highlights how the integration of traditional methodologies with digital technologies can deepen our understanding of historical documents, enabling new interpretative pathways for historical data. The combination of historical approaches with technological advancements in GIS offers a powerful tool for exploring the measurement and representation of the historical landscape. This hybrid approach not only enhances the quality of historical interpretation but also underscores the importance of continuous dialogue between the humanities and digital technologies, to effectively navigate the certainties and uncertainties that characterize the measurement and representation of historical data.

References

- Altawee M. (2022). Extracting Geospatial Data From Historical Maps. In *Geography Realm* <<https://www.geographyrealm.com/extract-geospatial-data-maps/>> (accessed 15.02.2024).
- Bodenhamer D. J., Corrigan J., Harris T. M. (Eds.). (2010). *The spatial humanities: GIS and the future of humanities scholarship*. Bloomington: Indiana University Press.
- Budig B. (2018). *Extracting spatial information from historical maps: Algorithms and interaction*. Würzburg: Würzburg University Press.
- CartoDB (2014). *Positron (retina)* <<https://carto.com/blog/getting-to-know-positron-and-dark-matter/>> (accessed 30.07.2024).
- Cicalò E., Menchetelli V., Valentino M. (Eds.) (2021). *Linguaggi Grafici: Mappe*. Alghero: Publica.
- Ganciu A. (2022). *Cyber Mappe: La rappresentazione digitale delle informazioni territoriali complesse*. Alghero: Publica.
- Gregory I. (2003). *A place in history: A guide to using GIS in historical research*. Belfast: Oxbow Books.
- Gregory I. N., Geddes A. (a cura di). (2014). *Toward Spatial Humanities*. Bloomington & Indianapolis: Indiana University Press; JSTOR. <<http://www.jstor.org/stable/j.ctt16gz7s5>> (accessed 15.02.2024).
- Grossinger R. M. et al. (2006). *Coyote creek watershed historical ecology study: historical condition, landscape change, and restoration potential in the eastern Santa Clara Valley, California*. San Francisco: San Francisco Estuary Institute. <<https://www.sfei.org/coyotecreek>> (accessed 30.07.2004).
- Ilniyazovich S. F. (2023). Using GIS Software and the Importance of Digital History in the Study of History. In *International Journal Of History And Political Sciences* n. 3(10), pp. 31–33. <https://doi.org/10.37547/ijhps/Volume03Issue10-06>.
- Knowles A. (2005). Emerging trend in historical GIS. Hist geogr. In *Historical Geography* n 33, pp. 7–13.
- Knowles A. (2014). The contested nature of historical GIS. In *International Journal of Geographical Information Science* n. 28(1), pp. 206–211. <https://doi.org/10.1080/13658816.2013.850696>.
- Levin N. (2006). The Palestine Exploration Fund Map (1871–1877) of the Holy Land as a Tool for Analysing Landscape Changes: The Coastal Dunes of Israel as a Case Study. In *The Cartographic Journal* n. 43(1), 45–67. <https://doi.org/10.1179/000870406X93508>.
- Murrieta-Flores P., Donaldson C., Gregory I. (2017). GIS and Literary History: Advancing Digital Humanities research through the Spatial Analysis of historical travel writing and topographical literature. In *Digital Humanities Quarterly* n. 11(1). <[#norgate2014](http://www.digitalhumanities.org/dhq/vol/11/1/000283/000283.html)> (accessed 15.02.2024).
- Pianta di Firenze entro la vecchia cinta urbana con i progetti compresi nel piano regolatore approvato (1865–1875 attr.). <<https://archinet.comune.fi.it/record/DIS408857?ref=ricerca>> (accessed 15.02.2024).
- Poggi G. (1865). *Pianta indicativa dell'ingrandimento della città di Firenze: primo progetto del piano regolatore*, 5.67 (1865). Archivio Contemporaneo Gabinetto Vieusseux.
- Poggi G. (1889–1990). *Pianta indicativa dell'Ingrandimento di Firenze: Piano Regolatore Primo Progetto*, in G. Poggi (1889–1990), *Sui lavori per l'ingrandimento di Firenze. Allegato III*. Firenze: Giunti.
- Pozzi, G. (1855 attr.). *Pianta della Città di Firenze*. <<https://archinet.comune.fi.it/record/DIS408859?ref=ricerca>> (consultato il 15.02.2024).
- Schaffer G., Levin N. (2015). Challenges and possible approaches for using GIS as a tool in historical geography landscape research: A meta-analysis review. In *e-Perimetron* n. 10(3), pp. 94–123.
- White R. (1 febbraio 2020). What is Spatial History? In *spatial history lab* pp. 1–6. <<https://web.stanford.edu/group/spatialhistory/media/images/publication/what%20is%20spatial%20history%20pub%20020110.pdf>> (accessed 30.07.2024).
- Zitova B., Flusser J. (2003). Image registration methods: a survey. In *Image and Vision Computing* n. 21, pp. 977–1000. <[https://doi.org/10.1016/S0262-8856\(03\)00137-9](https://doi.org/10.1016/S0262-8856(03)00137-9)>

Author

Francesco Cotana, Università degli Studi di Perugia, francesco.cotana@dottorandi.unipg.it.

To cite this chapter: Cotana Francesco (2024). Misura ed errore nella cartografia storica: Analisi GIS della pianta per il Progetto di Espansione di Firenze di Giuseppe Poggi (1865)/Measurement and Error in Historical Cartography: GIS Analysis of the Map for Giuseppe Poggi's Florence Expansion Project (1865). In Bergamo F., Calandriello A., Ciammichella M., Friso I., Gay F., Liva G., Monteleone C. (a cura di). *Misura / Dismisura. Atti del 45° Convegno Internazionale dei Docenti delle Discipline della Rappresentazione/Measure / Out of Measure. Transitions. Proceedings of the 45th International Conference of Representation Disciplines Teachers*. Milano: FrancoAngeli. pp. 2667–2688.