

## **Analisi dell'accuratezza geometrica della cartografia storica a grande scala. L'evoluzione della rappresentazione dell'alveo dell'Adige**

Marco Mastronunzio

Università degli Studi di Trento, Dip. di Filosofia, Storia e Beni culturali  
Gruppo di ricerca di cartografia-geografia storica, mastronunzio@gmail.com

### **Riassunto**

Il patrimonio cartografico-storico costituisce uno strumento funzionale alla “lettura” del territorio. Il problema si pone per le fonti pre-geodetiche, spesso di difficile comparabilità con le fonti attuali. Le trasformazioni, globali e locali, oltre ad essere utilizzate per rettificare, possono anche essere impiegate per una “corrispondenza” tra una *old map* e una *new map*: al procedimento di “trasformazione-rettificazione” si affianca quello di “trasformazione-corrispondenza”, fornendo così in *near-real-time* (a monte di una successiva georeferenziazione) una stima dell'accuratezza geometrica della cartografia storica, funzionale ad una sua analisi quantitativa.

### **Abstract**

*Analysis of historical maps is useful also for purposes in a quantitative way, in order to assign a geometrical content to early maps for a comparison to present-day ones. The main problem with historical maps depends on their unknown projection or/and their lack of geometrical accuracy. Thus, the evaluation of planimetric accuracy represents a previous analysis helpful for a consequent georeference. Instead to carry out a conventional georeference of historical maps through a global/local geometric transformations one can apply the same transformations not for rectify a map but to find a correspondence with present cartography in order to visualize and cross-compare the accuracy variations between two maps.*

### **1. L'analisi quantitativa della cartografia storica a grande scala**

Integrare fonti cartografico-storiche con quelle attuali, tramite diverse procedure collocabili sotto il GIS *umbrella*, permette – oltrech  superare la lettura autoptica – di estrapolare tematismi dalla cartografia storica e di integrarli con le fonti attuali, rappresentando i processi di trasformazione del territorio. Il patrimonio cartografico-storico costituisce uno strumento funzionale alla “lettura” del territorio, che pu  essere interpretato attraverso la «trama narrativa che la sequenza diacronica di cartografie storiche riesce a tessere, [...] in definitiva la “biografia figurata” del territorio» (Dai Pr , Tanzarella, 2009, p. 860). Tale patrimonio – definito come «patrimonio di conoscenze territoriali e di tradizioni culturali anche non direttamente collegate alle tecniche topografiche con cui furono realizzate le carte» (Favretto, 2008, p. 28)<sup>1</sup> – appartiene a pieno titolo al patrimonio culturale in genere (Boutoura, Livieratos, 2006). Il problema si pone per le fonti pre-geodetiche, quali le cabreistico-peritali, spesso non utilizzabili in quanto di difficile comparabilit  con le fonti attuali, considerate “reali”<sup>2</sup>, laddove noi ci limiteremo a valutarle come maggiormente accurate. Le fonti storiche presentano, come   noto, una accuratezza geometrico-planimetrica, geodetica, topografica<sup>3</sup>

---

<sup>1</sup> Sul “discorso cartografico” oltre il contenuto topografico si veda Harley (1989, pp. 5-6).

<sup>2</sup> Circa l'ontologia della cartografia e i suoi rapporti con il potere, occorre, in questa sede, rimandare quantomeno al gi  citato *Deconstructing the map* di J.B. Harley e a *The power of maps* di D. Wood (1992).

<sup>3</sup> Sempre Harley (con Blakemore, 1980) distingue tra accuratezza geodetica - di cui non si tratta in questa sede e per la quale si rimanda inoltre a Favretto (2008) –, planimetrica, od anche geometrica, sempre in Harley (*op. cit.*, p. 8 e

e topologica inferiore. Assegnare un supporto metrico alla mappa storica è di fondamentale importanza per l'utilizzo cartografico "attuale", in quanto, oltre all'analisi qualitativa dei suoi aspetti documentali, fornisce una valutazione quantitativa (Balletti, 2006, p. 33). Le applicazioni quantitative dell'analisi cartometrica si rivelano spesso utili per l'individuazione dei metodi di rilievo topografico utilizzati, per la distinzione tra le fonti in un prodotto di compilazione (caso applicativo frequente consiste nel determinare quale carta sia una copia dell'altra), e, infine, per determinare il sistema di proiezione<sup>4</sup> della *old map*. Il concetto alla base di una siffatta ricerca è che la cartografia storica – specialmente a grande scala come la cabrestico-peritale – è stata redatta ed utilizzata come strumento tecnico-operativo. La "geometria" è sempre presente in tali documenti; piuttosto, è l'accuratezza "metrica" ad essersi evoluta, di pari passo con la tecnologia e le conoscenze topografico-geodetiche (*ivi*).

## 2. Fonti e metodologia

Per la presente nota sono stati utilizzati due cabrei idraulici del medesimo autore (Gian Bartolomeo Scotini) e coevi (1777). Il primo, la c.d. "Mappa Scotini"<sup>5</sup> ("Scotini [1]"), rappresenta l'alveo dell'Adige nella Conca di Trento: il "cuore" è costituito dalla confluenza del Torrente Fersina nell'Adige e dal progetto di inalveamento dell'Adige e di diversione del Fersina. Il secondo ("Scotini [2]"), rappresenta esclusivamente il "cuore" della mappa precedente. È stato possibile stimarne l'accuratezza in relazione alla CTP PAT (Carta Topografica Provinciale Provincia Autonoma di Trento, 1:10.000, 2008), ed anche implementare una comparazione "incrociata" che stimi la variazione di accuratezza tra i due cabrei. Una terza fonte, la c.d. "Carta Topografica della Delegazione Fersinale di Trento" del 1850 ("Fersinale"), è stata utilizzata come mappa "intermedia": successiva, di epoca già geodetica, esclusivamente zenitale, al pari dei catasti storici del XVIII-XIX sec. fornisce un funzionale livello intermedio di accuratezza.

La georeferenziazione di un'immagine *raster* (*old map*) consiste nell'assegnare il sistema di riferimento di una *reference map* tramite una trasformazione geometrica che fa uso di punti doppi riconosciuti sulla fonte storica (in assenza di un sistema di coordinate, viene utilizzata la griglia-structura dei *pixel* dell'immagine) e contestualmente sulla *reference map*. Successivamente, il ricampionamento porta all'assegnazione dei valori (radiometrici) dei pixel dalla griglia originale alla nuova, rappresentata dal sistema di coordinate. Le trasformazioni – globali e locali<sup>6</sup> – oltre ad essere utilizzate per rettificare (*image-to-image georeferencing*), possono anche essere impiegate per una "corrispondenza" (*comparison-correspondence*, Boutora, Livieratos, *op. cit.*, pp. 60-62, Guerra, 2000, p. 341) tra le due mappe, senza che la *old map* venga georiferita (evitando le deformazioni introdotte dal ricampionamento): al tradizionale procedimento di "trasformazione-rettificazione" si affianca quello di "trasformazione-corrispondenza". Le trasformazioni globali forniscono una accuratezza globale della carta, alterando però i valori metrici dei punti di controllo (c.d. trasformazioni "non-esatte"). I parametri calcolati sulla base dei punti di controllo, vengono applicati a tutti gli altri punti, risultando validi per l'intera carta. In una trasformazione locale, al contrario, i parametri calcolati sono validi per un'area limitata (interna ai punti utilizzati, per

---

*passim*), ovvero sia l'estensione delle distanze (di rotazione, traslazione, scala e in genere delle deformazioni che non riguardano la componente ortometrica) tra punti noti sulla carta e il loro valore assunto come reale – o, appunto, accurato – ed infine topografica, relativa alla misura di quantità e qualità dell'informazione inerente gli oggetti geografici rappresentati.

<sup>4</sup> Sul concetto di "proiezione implicita" di ogni carta antica si veda Tobler (1966, p. 351 e *passim*). La mancanza di un reticolo metrico visibile non implica necessariamente l'assenza di un sistema di proiezione. La mappa storica può possederne uno attuale (o una sua variante), oppure, essere stata redatta in un sistema di proiezione non noto o in disuso. Quando la mappa storica con proiezione non nota è digitalizzata, un sistema di proiezione noto può essere utilizzato per verificare la corrispondenza ideale (*best fitting*) con la mappa storica.

<sup>5</sup> Per un'analisi puntuale di tale fonte si rimanda a Dai Prà, Tanzarella (*op. cit.*, p. 862).

<sup>6</sup> Globali e locali si distinguono per il numero dei parametri che introducono e per il numero minimo di punti di controllo richiesti per la stima dei parametri. Si rimanda alla bibliografia (Balletti, *op. cit.*, pp. 34-35, Boutora, Livieratos, *op. cit.*, pp. 62-69, Jenny et al., *op. cit.*, p. 92) per una le trasformazioni non utilizzate in questa sede.

operare un'interpolazione) o per i soli punti di controllo stessi. La validità è locale: i valori dei punti di controllo restano inalterati (c.d. trasformazioni "esatta"), mentre tutti gli altri punti vengono "forzati". La scelta della trasformazione dipende dagli scopi e dal tipo di cartografia. Per una georeferenziazione/comparazione della carta nella sua interezza o la stima della distribuzione delle deformazioni, è consigliata una trasformazione globale, in quanto opera una traslazione/rotazione/*re-scale* globale. Quando invece l'analisi verte su elementi topografico-topologici specifici, o su determinate porzioni di una carta, è consigliata una trasformazione locale. La procedura ottimale consiste nell'applicare una trasformazione globale per eliminare le differenze quantitativamente più rilevanti e successivamente applicarne una locale per un "raffinamento" (Guerra, *op. cit.*, p. 341). In questa sede, ai fini della comparazione, sono state utilizzate la trasformazione di Helmert a 4 parametri e la trasformazione affine a 6 parametri, entrambe globali. La trasformazione di Helmert è una rototraslazione piana con variazione del fattore di scala (anche detta *similarity transformation*) a 4 parametri: traslazione della X e della Y, rotazione e variazione del fattore di scala. Non introduce deformazioni alle forme e alle geometrie della mappa (trasformazione conforme). La trasformazione affine utilizzata, introducendo una rotazione e una variazione del fattore di scala in più (parametri che vengono così suddivisi nelle componenti X,Y), si rivela ottimale quando si necessita non solo di ruotare e scalare globalmente, bensì di introdurre correzioni maggiori in presenza di una carta più antica (meno accurata) o in cui vi siano difficoltà ad identificare punti di controllo<sup>7</sup>. Infine, per la georeferenziazione "tradizionale", è stata impiegata una trasformazione c.d. *adjust* (in ambiente software ArcGIS), utile quando si necessita di un'ottimizzazione tra accuratezza globale e locale. Tale trasformazione effettua una trasformazione affine e successivamente un "raffinamento" locale dei punti di controllo della *old map* per adattarli meglio a quelli della *new map*, utilizzando un'interpolazione TIN (triangoli di Delaunay).

Il software *open-source* MapAnalyst permette la stima dell'accuratezza planimetrica della cartografia storica<sup>8</sup>, generando diversi tipi di visualizzazione che ne rappresentano le distorsioni. Dopo avere individuato i punti doppi e scelto le trasformazioni (globali), è stato possibile visualizzare *distortion grids*, *vectors of displacement* e *scale isolines* – oltre a calcolare la scala e l'angolo di rotazione globale della carta. In particolare le prime visualizzano l'angolo di rotazione della carta nel suo insieme. Ogni maglia (*mesh*) che compone la griglia corrisponde ad una determinata superficie nella *reference map*: se la *old map* non ha distorsione (o meglio: ne ha quanto la carta attuale), la griglia risulta regolare e non ruotata; al contrario, le distorsioni locali nella carta storica risulteranno se le celle della griglia saranno compresse od allargate. I secondi partono dal punto di controllo identificato sulla *old map* e terminano nella posizione dove il punto dovrebbe essere se la carta storica fosse accurata quanto l'attuale. Infine, le "isolinee del fattore di scala (locale)" utilizzano la logica topografica delle curve di livello: congiungendo punti con lo stesso fattore di scala, evidenziano le variazioni locali della scala.

### 3. Risultati

La Fersinale è stata utilizzata come cartografia "intermedia": dapprima ne è stata valutata l'accuratezza rispetto alla CTP e successivamente è stata rettificata (cfr. *infra*, nota 10) per essere utilizzata a sua volta come *reference map* rispetto ai cabrei. Questa carta, come le altre, è disposta (secondo una convenzione dell'epoca) "orizzontalmente" (il Nord coincide con il lato sinistro).<sup>9</sup> La carta è stata ruotata di 85° (a seguito dell'applicazione di una trasformazione affine che forniva un angolo di rotazione della componente X di 85°), sono stati individuati 102 punti di controllo ed è stata applicata una trasformazione di Helmert: la scala globale della mappa è risultata di circa 1:19.000, con variazioni locali modeste da 1:14.000 a 1:26.000 (rotazione 1°).

<sup>7</sup> Per un'applicazione della trasformazione di Helmert mi permetto di rimandare a Mastronunzio (2010, in stampa).

<sup>8</sup> Per un'applicazione a scala corografica si veda, tra gli altri, Mauro (2010)

<sup>9</sup> Prima di ruotarla è stata applicata la metodologia del *best-fitting* (implementata dalla versione 1.4 beta di MapAnalyst): individuando 77 punti di controllo ed applicando la trasformazione di Helmert la proiezione ottimale è risultata la Fournier II (pseudocilindrica, equivalente).

La Scotini [1] è stata comparata alla CTP. Dopo una rotazione di 105°, sono stati individuati 56 punti di controllo ed applicata una trasformazione affine. I parametri per la visualizzazione sono stati impostati in: *mesh size* 750 m.; intervallo di scala 1:3.000; “raggio di influenza”<sup>10</sup> 2.000 m.

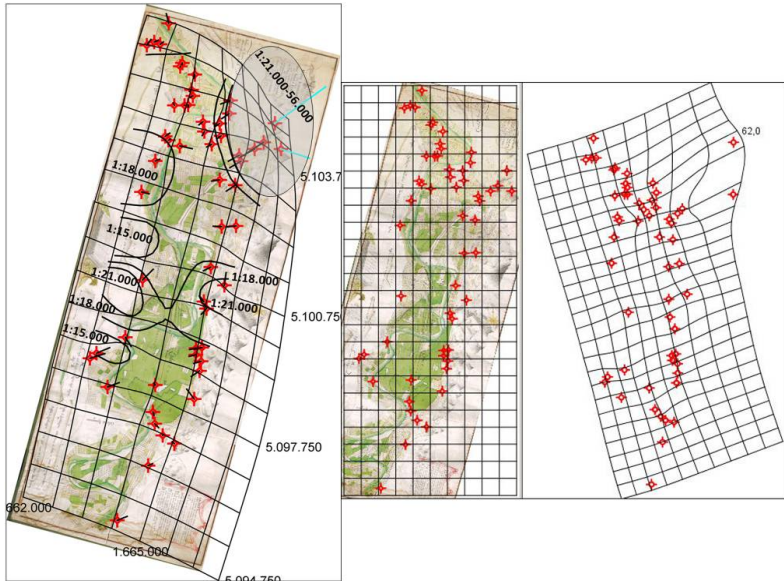


Figura 1 – Comparazione della Mappa Scotini (1777) con la CTP. A) Griglia di distorsione, variazione di scala locale, vettori di disallineamento; B) Comparazione inversa: analisi della new map (rappresentata solo la griglia di distorsione).

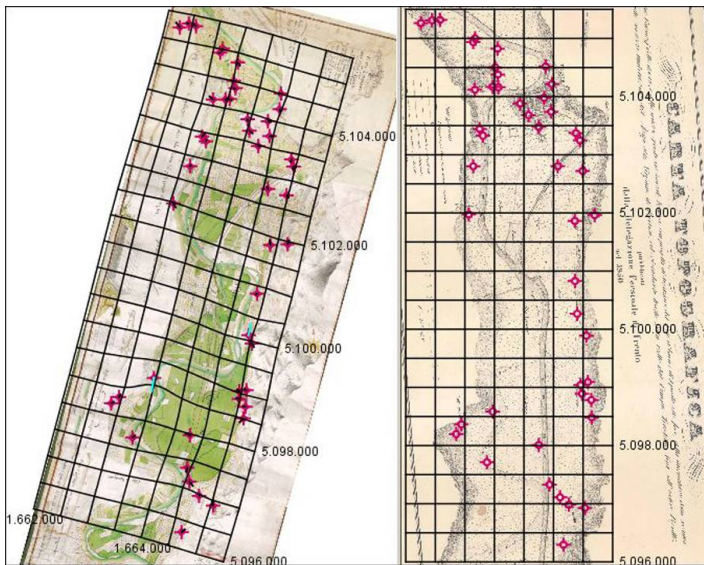


Figura 2 – Analisi della Mappa Scotini (1777) rispetto alla Fersinale (1850). Griglia di distorsione e vettori di disallineamento.

<sup>10</sup> Costituisce il raggio all’interno del quale verranno utilizzati i punti per stimare le variazioni locali di scala. Al diminuire di tale valore i risultati rifletteranno variazioni locali più accurate.

I risultati (Fig. 1, sinistra), sono: scala globale orizzontale 1:19.000, verticale 1:17.000; rotazione globale orizzontale 23°, verticale 12°. In particolare si notano notevoli variazioni di scala locale, da 1:15.000 fino ad isolati valori di 1:56.000. Inoltre, è stata effettuata un'analisi "inversa" dell'accuratezza, analizzano la *new map* rispetto alla *old map* (Fig. 1, destra). Siffatta analisi è il contrario di una corrispondenza (e di una georeferenziazione) convenzionale, in quanto fornisce l'indicazione di quanto dovrebbe essere distorta la cartografia attuale per risultare come la *old map*. Successivamente la *Mappa Scotini* è stata comparata con la Fersinale<sup>11</sup> utilizzando 46 punti di controllo ed implementando anche in questo caso una trasformazione affine. La *mesh size* è stata impostata a 500 m. (Fig. 2). I risultati sono: scala globale orizzontale 1:17.000, verticale 1:17.000; rotazione globale orizzontale 16°, verticale 14°. Si notano alcune variazioni di scala locale, tra poco 1:13.000 e 1:20.000, ma un'assenza di variazioni eccessivamente ampie come nel confronto precedente con la CTP.

Infine, la Scotini [2] è stata comparata alla Scotini [1], georiferita con una trasformazione polinomiale del I ordine, vista la necessità di una trasformazione globale. Dopo aver effettuato una rotazione – anche in questo caso di 105°, in quanto in mancanza di una rosa dei venti si è preferito utilizzare l'orientamento della precedente, essendo i due cabrei coevi e dello stesso autore – sono stati individuati 46 punti di controllo ed è stata applicata ancora una volta la trasformazione affine. I parametri per la visualizzazione sono stati impostati come segue: maglia 200 m.; intervallo di scala 1:1.000; "raggio di influenza" 500 m.. I risultati (Fig. 3), sono: scala globale orizzontale e verticale 1:12.000; rotazione globale orizzontale e verticale 16°. Anche in questo caso si notano variazioni di scala locale da 1:9.000 a 1:16.000.

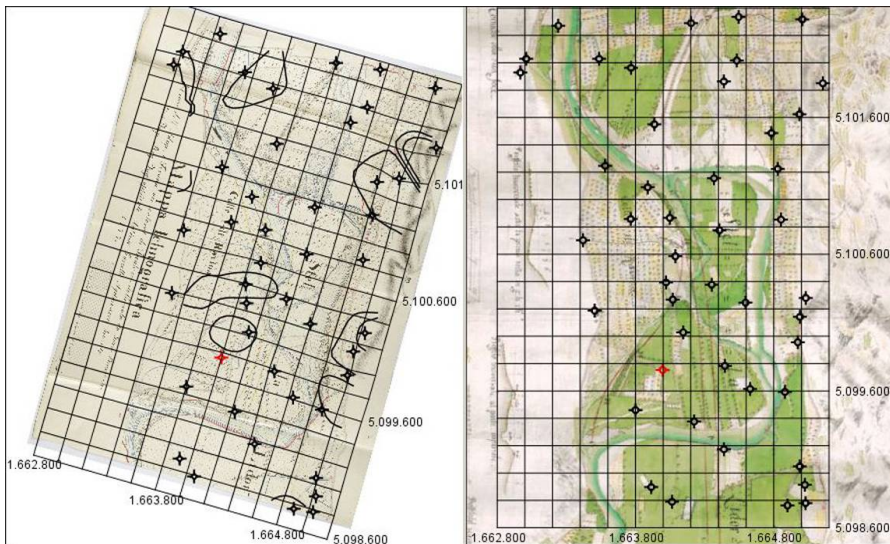


Figura 3 – Analisi dei due cabrei idraulici dello Scotini (1777). Griglia di distorsione, vettori di disallineamento e isolinee del fattore di scala locale.

#### 4. Discussione dei risultati

Per la comparazione dei cabrei, sia con la CTP, che con la Fersinale, sia, infine, per la comparazione incrociata tra gli stessi, è stata utilizzata la trasformazione affine a 6 parametri, in quanto si rivela ottimale quando si necessita non solo di ruotare e scalare globalmente, bensì di introdurre correzioni maggiori in presenza di una carta più antica (meno accurata) o in cui vi siano

<sup>11</sup> Georiferita con 102 punti di controllo utilizzando la trasformazione *adjust* (cfr. *supra*, par. 2).

difficoltà ad identificare punti di controllo. Esclusivamente per l'analisi della Fersinale è stata impiegata la trasformazione di Helmert a 4 parametri, in quanto si trattava di una carta topografica del 1850, decisamente più accurata ad un raffronto con la CTP. Il confronto tra i due cabrei del 1777, tra la *Mappa Scotini* e la Fersinale del 1850 e tra quest'ultima e la CTP ha posto in evidenza alcune variazioni di scala/rotazione locale e di posizionamento, comunque non eccessive, laddove invece ad una comparazione con la CTP, la *Mappa Scotini* presenta, per alcune aree, un'oscillazione notevole della scala locale (fino a 1:56.000, a fronte di una scala globale di 1:18.000). Ciò pare confermare la funzionalità della scelta della *Carta Topografica Fersinale* come fonte "intermedia". Tuttavia, anche in presenza di variazioni di scala inferiori, queste si presentano comunque in aree "marginali", ovverosia quelle aree non urbane (ove risulta più agevole il rilievo topografico o riguardo alle quali sono probabilmente più cospicue delle fonti precedenti maggiormente "accurate") oppure non direttamente interessate al progetto di inalveamento dell'Adige e di diversione del Fersina. Aree *a latere* rispetto ai principali interessi della rappresentazione, dunque cartografate con procedimento esclusivamente compilativo. Lo Scotini [2], chiaramente una copia dello Scotini [1], rivela infatti importanti differenze di scala soprattutto nelle zone non interessate al progetto idraulico. Questo a confermare, per le aree maggiormente accurate (e senza pretesa di esaustività) il carattere decisamente tecnico-operativo della cartografia cabreistica (cfr. *supra*, par. 1), alla stregua della successiva produzione topografica a grande scala.

### **Bibliografia**

- Balletti C. (2006), "Georeference in the analysis of the geometry content of early maps", *e-Perimetron*, 1-1: 32-42
- Boutoura C., Livieratos E. (2006), "Some fundamentals for the study of the geometry of early maps by comparative methods", *e-Perimetron*, 1-1: 60-70
- Dai Prà E., Tanzarella A. (2009), "Fonti cabreistiche e catastali in analisi comparata per la ricostruzione del paesaggio rurale storico. Un caso di studio nel comprensorio meridionale di Trento", *Atti 13<sup>a</sup> Conferenza nazionale ASITA, Bari 1-4 Dicembre 2009*, 859-864
- Favretto A. (2008), "Cartografia non omogenea in ambiente GIS. Alcune riflessioni su problemi di georeferenziazione ed accostamento di carte in zone di confine", *Rivista geografica italiana*, 115: 27-48
- Guerra F. (2000), "2W: new technologies for the georeferenced visualization of historic cartography", *International archives of photogrammetry and remote sensing*, 33, Part B5: 339-345
- Harley J.B. (1989), "Decostructing the map", *Cartographica*, 26-2: 1-20
- Wood D., *The power of maps*, Guilford Publications, New York, 1992
- Harley J.B., Blakemore M.J. (1980), "Concepts in the history of cartography: a review and perspective", *Cartographica*, 17-4
- Jenny B., Weber A., Hurni L. (2007), "Visualizing the Planimetric Accuracy of Historical Maps with MapAnalyst", *Cartographica*, 42-1: 89-94
- Mastronunzio M. (2010), "Sull'accostamento tra cartografie delle regioni di confine. L'ausilio della «Mappa di confine tra la R. italiana e la R.S.F. jugoslava» allegata al Trattato di Osimo", *Bollettino dell'Associazione Italiana di Cartografia* (in stampa)
- Mauro G. (2010), "Distorsioni geometriche della cartografia storica: analisi di alcune cartografie realizzate tra il 1500 e il 1700 relative al Golfo di Trieste", *Bollettino dell'Associazione Italiana di Cartografia*, 138: 109-121
- Tobler W.R. (1966), "Medieval distorsion: the projection of ancient maps", *Annals of the Association of American Geographers*, 56-2: 351-360