

ANALISI METRICA IN AMBIENTE DIGITALE DI DUE CARTE PREGEODETICHE COEVE CONDOTTA CON METODOLOGIE NON CONVENZIONALI

METRIC ANALYSIS IN A DIGITAL ENVIRONMENT OF TWO CONTEMPORARY PRE-GEODETIC MAPS BY MEANS OF UN-CONVENTIONAL METHODOLOGIES

Gabriele Bitelli*, Stefano Cremonini**, Giorgia Gatta*

Riassunto

La cartografia storica digitalizzata e opportunamente georeferenziata risulta uno strumento fondamentale per l'analisi quantitativa dell'antico assetto del territorio e per lo studio delle relative dinamiche evolutive. Purtroppo però, la georeferenziazione non è sempre immediata per via di varie deformazioni contenute nelle carte, particolarmente quelle pregeodetiche. In questi casi risulta indispensabile una analisi metrica preventiva degli esemplari per l'individuazione delle principali problematiche presenti, analisi che può essere condotta con i moderni approcci digitali e supportata quando possibile da uno studio delle tecniche e delle strumentazioni di rilievo adottate dai cartografi autori.

Il presente lavoro riguarda l'analisi di due carte coeve dell'area deltizia del fiume Po, redatte alla fine del XVI secolo da Ottavio Fabri (forse inventore della squadra zoppa, strumento la cui costruzione ed il cui utilizzo sono descritti in un manuale tecnico redatto dal medesimo), che in uno dei due esemplari ha operato insieme al collega Gerolamo Pontara. Sulla base delle informazioni deducibili sia dal manuale del Fabri sia dalle carte analizzate, nonché da un ulteriore esemplare redatto dai medesimi autori, è possibile ipotizzare che il rilievo sia stato sviluppato per sub-aree, rilevate con differenti metodi e strumenti, e forse anche in tempi differenti. Ciò suggerisce la necessità di adottare modalità non convenzionali per l'analisi e la georeferenziazione degli originali cartografici, per un'affidabile utilizzazione del prodotto-derivato ai fini di ulteriori studi territoriali di tipo geo-ambientale o storico ed economico in senso stretto.

Parole chiave: cartografia pregeodetica, delta del Po, antiche tecniche di rilievo, georeferenziazione non-standard, strumenti digitali moderni

Abstract

Digitized and georeferenced historical cartography is a fundamental tool for quantitative analysis and study of the ancient territory and its dynamics. Unfortunately, the georeferencing process is not

* Dipartimento di Ingegneria Civile, Chimica, Ambientale e dei Materiali (DICAM) – Università di Bologna, viale Risorgimento 2, 40136 Bologna; gabriele.bitelli@unibo.it; giorgia.gatta@unibo.it

** Dipartimento di Scienze Biologiche, Geologiche ed Ambientali (BiGeA) – Università di Bologna Via Zamboni 67, 40126 Bologna; stefano.cremonini@unibo.it

always immediate due to some deformations that can affect the maps, especially the pre-geodetic ones. Therefore, in these cases most of all, a preventive metric analysis of the maps, combined with recognition of deformations, results necessary; the task can be performed by means of modern digital tools, and supported from preliminary studies on the original surveying instruments and methods. In this study, two contemporary late sixteenth century map of the Po delta area (Italy) are analyzed; they were made by Ottavio Fabri (author of a technical book, in which he describes construction modalities and use of the squadra zoppa, a mobile square maybe invented by him), with the colleague Gerolamo Pontara in one of the two samples. On the basis of information that can be deduced from the manual, and these maps and another map made by the same authors, a multi-stage survey can be inferred; in this case the survey could have been done in sub-areas, where different methods and instruments were used, maybe in different times. The fact suggests the necessity of adopting non-conventional modalities for the georeferencing of the map samples; in this way the new products can be effectively used for territorial researches of geo-environmental, historical and economic significance.

Keywords: *pre-geodetic cartography, Po river delta, ancient surveying methods, non-standard georeferencing, modern digital tools*

I. Introduzione

Il vasto patrimonio cartografico antico (carte, atlanti geografici, planisferi, mappamondi), prodotto nel corso dei secoli e oggi conservato in tutto il mondo presso numerose istituzioni e singoli privati, rientra a pieno diritto nella classe dei Beni Culturali storici in considerazione del suo straordinario valore storico, artistico e documentario. Il valore documentario, in particolare, è legato al fatto che la cartografia antica contiene informazioni di carattere qualitativo e quantitativo essenziali per molte analisi territoriali diacroniche, in particolare per studi geomorfologico-evolutivi del paesaggio o studi urbanistici.

Non è tuttavia possibile considerare la cartografia antica, in particolar modo quella pregeodetica, alla stregua di quella moderna (Tobler, 1965; Livieratos, 2006). Ciò dipende dal differente livello di conoscenze tecnico-scientifiche del passato, che non vedeva ancora la disponibilità di metodi matematici e strumenti di rilievo e disegno caratterizzati da precisioni paragonabili a quelle degli omologhi attuali utilizzati per generare cartografia di scala simile: solo più tardi infatti giungerà a maturazione la coscienza della necessità di rigore metrico ed oggettività quali caratteri fondanti della produzione cartografica. Agli errori indotti da tali carenze, altri possono aggiungersi, quali quelli dovuti alle deformazioni del supporto cartaceo intervenute nel tempo (dovute a invecchiamento dei materiali o a pesanti interventi di restauro eseguiti nel passato), a particolari tipi di rappresentazione, alle alterazioni volontarie del disegno introdotte dai cartografi, agli errori legati alla fase di copiatura degli esemplari, e così via.

Per tutti questi motivi, la cartografia antica può risultare non sempre direttamente utilizzabile per studi di tipo quantitativo. Per estrapolare informazioni storiche verosimili e dati quantitativi, risulta quindi necessario uno studio preliminare circa le modalità di rilievo adottate ed il tipo di strumentazione impiegata dall'autore, nonché il contesto storico-culturale e socio-politico in cui ha avuto origine l'esemplare cartografico. Risulta fondamentale, a tale scopo, una lettura attenta del cartiglio spesso posto a corredo della carta, così come di documentazione storica coeva di corredo, come manuali tecnici di rilievo e rappresentazione utilizzati all'epoca, libretti di campagna, mandati e relazioni sull'esecuzione dei lavori. Si tratta di materiale, soprattutto quest'ultimo, di difficile reperimento, in molti casi non più esistente in quanto ritenuto superfluo dopo la produzione del relativo elaborato cartografico.

I moderni strumenti digitali possono notevolmente aiutare nell'analisi della qualità metrica dei documenti cartografici antichi, opportunamente convertiti in forma digitale. La conversione in ambiente digitale dei documenti diventa così non solo un modo per proteggere il patrimonio storico-culturale dall'effetto deleterio del tempo e diffonderlo attraverso i canali informatici, ma anche una via per analizzare la cartografia in maniera più dettagliata, e quindi utilizzarla più efficacemente per studi geomorfologico-evolutivi o urbanistici, rendendola disponibile per nuove applicazioni (es. Guerra et al., 2001; Bitelli e Gatta, 2011). L'uso dei moderni strumenti digitali per l'analisi della qualità metrica del documento antico viene indirizzato dallo studio preliminare a cui si è accennato. Tra le modalità più diffuse di analisi vi sono la georeferenziazione e l'analisi metrica delle deformazioni del documento cartografico (Jenny e Humi, 2011), che in questo lavoro vengono applicate al caso di due carte coeve tardo-cinquecentesche, e completate da alcune tecniche non convenzionali di georeferenziazione.

2. Oggetto di studio

Oggetto del presente studio è costituito da due carte del 1592 che rappresentano l'area deltizia del fiume Po, a sud della laguna veneta, per un'estensione di circa 700 km² (Figura 1). Di entrambe è autore Ottavio Fabri (1544/1545-1612), perito ed ingegnere al servizio dell'antica Repubblica di Venezia (Panepinto, 2009), in una delle due assieme al collega Gerolamo Pontara, pericatore e perito alle acque. Le carte sono di notevoli dimensioni (circa 3,5x2,5 m la prima, circa 2,9x1,6 m la seconda), orientate con l'ovest in alto, e il lato maggiore in direzione N-S. Solo la prima carta riporta una scala grafica di 1.000 pertiche padovane (equivalenti a 2144,365 m), sulla base della quale si può stimare una scala media dell'elaborato di circa 1:11.000. Al centro di questa carta, una rosa dei venti finemente decorata indica il nord magnetico, mentre analoga indicazione è assente sulla seconda carta.

I documenti, presumibilmente esemplari unici, costituiti da un assemblaggio di fogli su un supporto di tela, sono oggi conservati presso l'Archivio di Stato di Venezia (Ottavio Fabri, *Delta del fiume Po*, 1592. *Savi ed esecutori delle acque, serie Po*, dis. 9bis, nel seguito indicata come Carta F; Gerolamo Pontara e Ottavio Fabri, *Delta del fiume Po*, 1592. *Savi ed esecutori delle acque, serie Po*, dis. 8, nel seguito indicata come Carta P&F). Ai fini del presente studio, ci si è avvalsi di copie digitali eseguite dalla Sezione di Fotoriproduzione dell'Archivio di Stato in Venezia, precisamente: una copia ad alta risoluzione per la Carta F, ottenuta mediante scanner per documenti di grande formato, ed una riproduzione fotografica a risoluzione inferiore per la Carta P&F a causa del cattivo stato di conservazione del supporto che attualmente non consente la digitalizzazione a risoluzione maggiore (Bitelli et al., 2012, figg. 1a e 1b). Il primo documento è stato inoltre oggetto di ricognizione autoptica da parte degli scriventi presso la sede archivistica. Ai fini del seguente studio, sono state utilizzate delle restituzioni vettoriali, ottenute riproducendo i principali elementi topografici delineati in carta (Figura 1).

La redazione di questi documenti è legata all'opera di censimento dei propri territori da parte della Repubblica di Venezia all'epoca della sua massima espansione, dipendentemente dalla necessità di disporre di una rappresentazione cartografica quanto più possibile dettagliata dei territori soggetti ad imposizione fiscale. In particolare, le Carte F e P&F furono frutto dei numerosi sopralluoghi effettuati nel delta in vista della realizzazione dell'intervento di diversione noto come *Taglio di Porto Viro*. Già da anni (il primo progetto risale al 1556) Venezia stava pensando di creare un taglio per indirizzare le acque del Po di Tramontana verso sud, per ovviare al possibile interrimento della laguna, legato al consistente apporto sedimentario di Po e alla deriva litorale meridionale, con notevole detrimento per i traffici commerciali marittimi della Serenissima. Per eseguire i sopralluoghi per la realizzazione del *Taglio* vennero chiamati a lavorare, per conto della Repubblica, diversi periti ("Savi ed Esecutori delle Acque"), tra i quali, appunto, Fabri e Pontara. La diversione fu eseguita nell'arco di 4 anni, tra

il 1600 e il 1604. L'opera, all'avanguardia per i tempi, consisteva in un canale lungo 7 km, tra Porto Viro e la vecchia *Sacca di Goro*, a nord di Mesola; questo intervento e altri che si succedettero nel corso di tutto il '600 innescarono lo sviluppo del delta attuale, inducendo in breve volgere di tempo l'interrimento della vecchia *Sacca di Goro* (antesignana dell'attuale), ed il parallelo sviluppo della *Sacca dell'Abate* (moderna *Sacca di Goro*). Con il *Taglio di Porto Viro* svanì anche il timore dei Veneziani per l'uso che i Ferraresi avrebbero potuto fare del Castello di Mesola, e per la possibile costruzione di un porto franco nella vecchia *Sacca di Goro* (Cornaro, 1988; Tchaprassian, 2004; Cazzola, 2010).

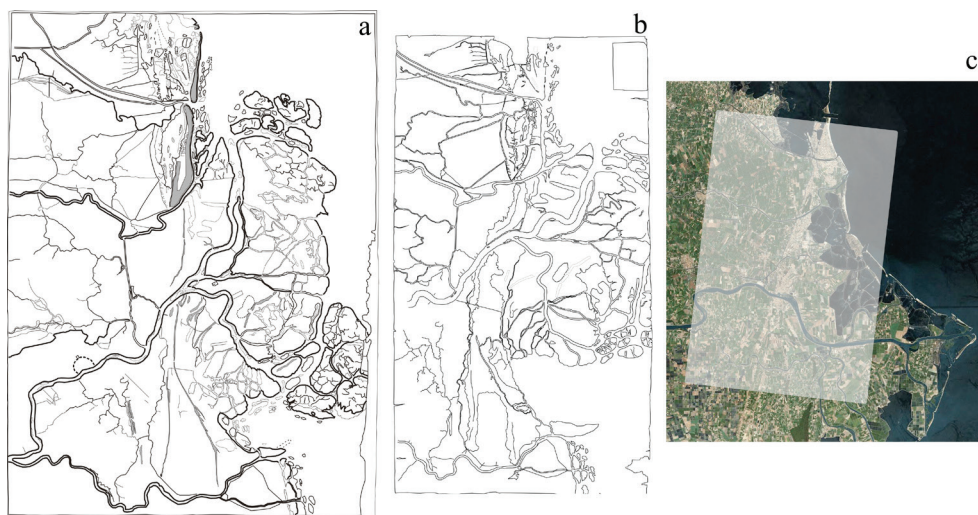


Fig. 1 – Restituzione vettoriale delle Carte F (a) e P&F (b), ruotate rispetto agli originali (N in alto); c) immagini satellitari moderne (ambiente BingMapsTM) con riquadrata l'area oggetto di studio.

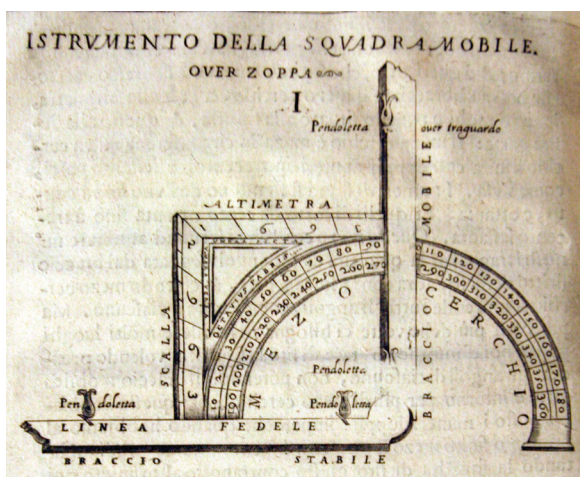


Fig. 2 – Prospetto della squadra mobile (o zoppa) illustrata da Fabri nel proprio manuale (edizione conservata presso la Biblioteca G.P. Dore dell'Università di Bologna).

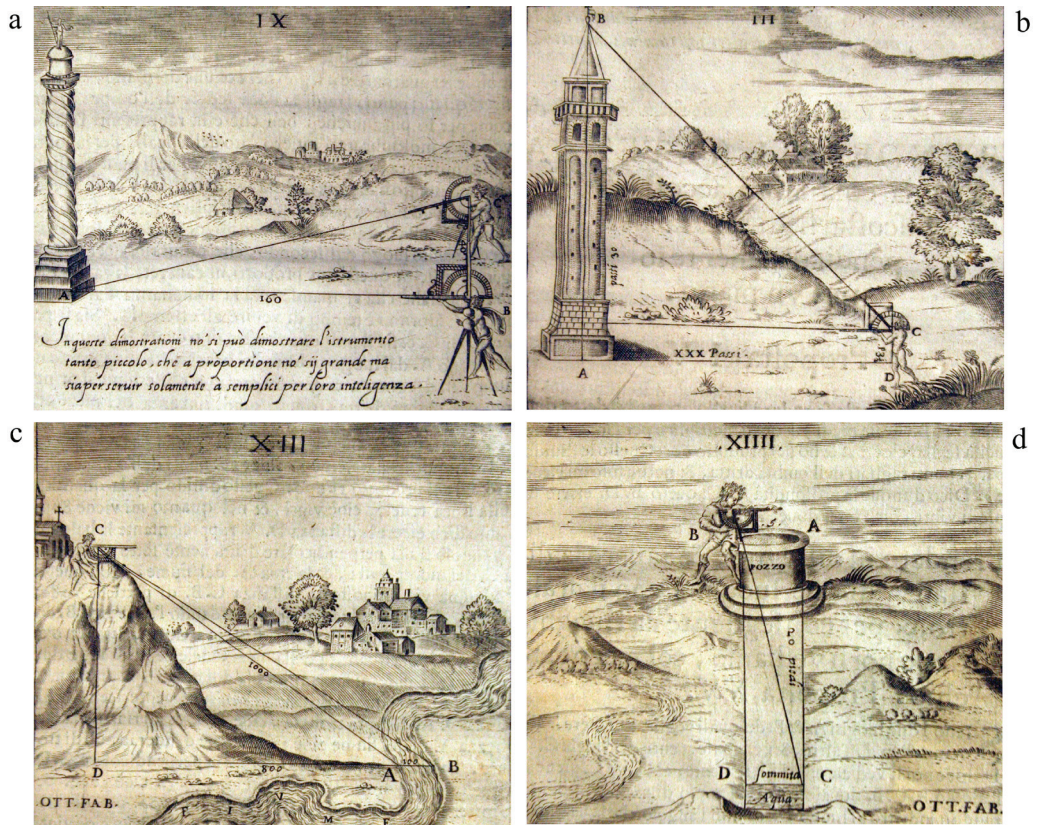


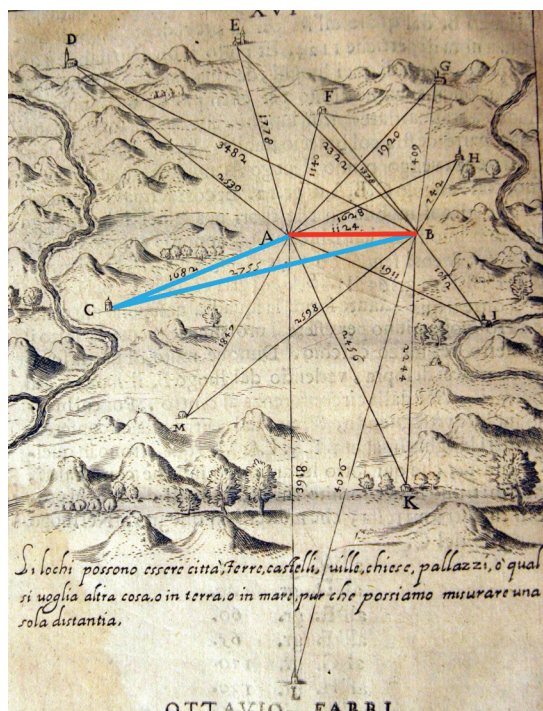
Fig. 3 – Alcune tipologie di misure effettuabili con la squadra zoppa illustrate nel manuale del Fabri (op.cit.):
 a) distanze; b) altezze; c) larghezza di argini; d) profondità.

Descrivendo un periodo cruciale nella storia evolutiva del sistema deltizio del fiume Po, quello in cui il vecchio sistema lobato sarebbe venuto a mancare, sostituito dall'attuale (Furlanetto, 2004; Cremonini e Samonati, 2009), le due carte in esame risultano estremamente importanti in un'ottica analitica geoambientale. Ma è proprio il fatto di rappresentare zone che hanno subito radicali mutamenti fisiografici a costituire il principale ostacolo all'analisi stessa, poiché vari tratti del paesaggio rappresentati nelle carte non sono più rintracciabili oggi sul terreno, a causa dell'erosione costiera sviluppatasi nei decenni immediatamente successivi all'esecuzione della diversione fluviale. A rendere ulteriormente complessa l'analisi concorre anche il fatto che le due Carte F e P&F rappresentano gli stessi dettagli morfologici in modo simile ma con differenze consistenti proprio nelle aree nelle quali oggi sono scomparse quelle configurazioni fisiografiche (Cremonini e Samonati, 2009).

In virtù del fatto che sono stati redatti nello stesso anno e dallo stesso autore, per rappresentare la medesima porzione di territorio, i due esemplari cartografici costituiscono uno stimolante caso di studio, più unico che raro. Ulteriore elemento di eccezionalità è poi costituito dal fatto che il cartografo-capo, Ottavio Fabri, sia anche autore di un manuale tecnico di rilievo, *L'uso della squadra mobile*, dato alle stampe nel 1598, cioè sei anni dopo l'esperienza di redazione delle carte qui esami-

nate. È giocoforza pensare che tale manuale, redatto dall'autore all'età di oltre 50 anni, rappresenti di fatto una sorta di *summa* delle esperienze tecniche maturate negli anni di pratica professionale, probabilmente culminata proprio con la redazione della Carta F. Nel suo manuale il Fabri illustra la costruzione e l'utilizzo della *squadra mobile* o *squadra zoppa* (Figura 2) a fini di rilievo, di misura di angoli, distanze, altezze e profondità (Figura 3), oltre che per il riporto in carta delle misure effettuate in campagna (Fabri, 1673). Qui egli sostiene di essere l'inventore di tale strumento, assunto recentemente messo in dubbio da una possibile attribuzione a Marc'Antonio Gandino, maestro del Fabri (Panepinto, 2009). L'opera del Fabri resta comunque fondamentale per la funzione divulgativa delle modalità costruttive ed operative della squadra zoppa, che funse da modello per generazioni di strumenti per il rilievo topografico nei due secoli successivi, durante i quali, non a caso, seguirono altre cinque edizioni del manuale.

Nel volume l'autore illustra anche le modalità esecutive del rilievo del territorio assumendo come elemento iniziale di appoggio una "base" di lunghezza nota (Figura 4: AB), preliminarmente misurata tramite *persegadura* (canneggiamento), dai cui due vertici, sufficientemente alti sul piano campagna, sia possibile collimare punti circostanti, ben distinguibili da entrambi gli estremi della base, quali «Torri, Campanili, Fabriche, Arbori, o altra cosa eminente» (Fabri, 1673, pag. 26). Le misure eseguite con lo strumento sono in questo caso di tipo azimutale, avendo come riferimento la congiungente il vertice di stazione (A o B) su cui si trova l'operatore con un qualsiasi punto (C) del piano di campagna. Tramite



- A, B = punti di stazione
- AB = base nota
- AC, BC = direzioni di riferimento
- CAD, CAE, ..., CBD, CBE, ... = angoli misurati

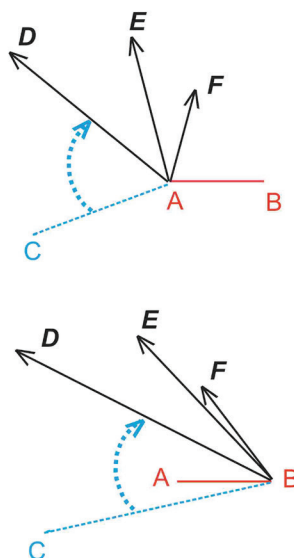


Fig. 4 – Schema esplicativo del metodo dell'intersezione in avanti illustrata nel manuale del Fabri (op. cit.).

il medesimo strumento e nello stesso modo in cui le misure sono state effettuate in campagna, esse vengono successivamente riportate in carta. Notevole il fatto che nel manuale il Fabri non accenni mai esplicitamente a misure di orientamento rispetto al nord magnetico, da eseguirsi con *il bossolo* (la bussola), benché queste risultino necessarie per individuare la direzione della base e quindi per la costruzione dell'intero impianto grafico, come chiaramente affermato da altri autori dell'epoca (Bartoli, 1564). Sembrerebbe quasi che egli privilegi esclusivamente i traguardi ottici, al fine di contenere entità e propagazione degli errori. Forse è proprio a tale aspetto che potrebbe ricollegarsi una parte delle questioni tuttora non chiarite concernenti i dettagli costruttivi della carta.

Al proposito, Bitelli et al. (2012) hanno cercato di porre in evidenza una multiforme semiologia conservata nelle carte oggetto della presente analisi, in parte legata alla fase di rilievo e costruzione delle carte stesse. Nella Carta F, in particolare, si rileva la presenza di un reticolo a maglia quadra, con lato pari a metà della lunghezza della scala grafica (poco più di 1 km), esteso all'intera carta. Esso inoltre pare intrattenere un complesso rapporto cronologico relativo sia con la vestizione cromatica della carta (acquerello) – talvolta di posteriorità e forse in alcuni casi anche di anteriorità – sia con la fase di assemblaggio generale dei singoli fogli – anteriorità (cfr. dislocazione delle linee del reticolato) – suggerendone un carattere in qualche misura sin-redazionale. Dubbia resta quindi la reale destinazione d'uso del reticolo: se strumento d'ausilio alla fase di disegno originale, od eventuale mero reticolo di riduzione per la restituzione di copie scalate (di cui peraltro non si ha notizia).

2.1. Problematiche intrinseche agli esemplari esaminati

La possibilità di disporre del manuale tecnico redatto dal perito rilevatore rappresenta la chiave di partenza per lo studio degli esemplari cartografici, la Carta F in primis. Una seconda, più diretta, fonte di informazioni è costituita dalle indicazioni riportate nel cartiglio (Bitelli et al., 2012, figg. 5a e 5b). Purtroppo la lettura del cartiglio per la Carta P&F non risulta possibile, data la bassa risoluzione dell'immagine attualmente disponibile e la concomitante impossibilità di un esame autoptico; appare comunque quantomeno curioso il fatto che la decorazione di tale cartiglio risulta chiaramente incompleta, come se non fosse stato utile o possibile completare il prodotto. Nel cartiglio della Carta F, invece, l'autore asserisce esplicitamente trattarsi di un «*Disegno fatto da me Ottavio Fabri [...] quasi tutto tratto da me [...] et alcune parte cavata d'altri disegni*». Questa affermazione indica chiaramente che il disegno è il risultato di differenti rilievi parziali variamente scaglionati nel tempo quanto ad esecuzione (fatto ampiamente ragionevole e pronosticabile in considerazione dell'elevata estensione territoriale rappresentata nell'elaborato), e probabilmente effettuati per mano di differenti operatori. Inoltre, poiché il territorio complessivamente rappresentato nella carta era certamente caratterizzato da zone con estensione e morfologia differenti, e quindi con numero ed entità variabili di punti-stazione disponibili (ad esempio nelle aree deltizie di più recente genesi), è molto probabile che si siano rese necessarie differenti tecniche di rilievo specifiche per ogni zona, accoppiando l'uso della squadra zoppa a metodi di rilievo più semplici. Ad avvalorare tale ipotesi concorre il fatto che in una carta rappresentante i medesimi territori delle precedenti ma di pochi anni successiva a quelle, redatta dagli stessi Fabri e Pontara, assieme ad altri colleghi tra cui l'ingegnere fiorentino Bonaiuto Lorini (Bitelli et al., 2012, figura 1c), si dichiara esplicitamente che il disegno è stato ricavato «*con le debite misure, venti, et scandagli, [...] con traguardi, et intersezioni de venti con la bussolla, et parte cavate da disegni vecchi*».

Tutto ciò ha certamente contribuito ad introdurre nei documenti errori forse anche consistenti, che è necessario tentare di individuare. In tal senso diviene allora fondamentale capire in che modo sia avvenuta l'operazione di "assemblaggio" dei differenti rilievi e delle varie fonti cartografiche pree-

sistenti, e come questa abbia influito sulla qualità metrica delle carte nel loro complesso. Per raggiungere tale scopo, le carte sono state oggetto di varie analisi ed elaborazioni in ambiente digitale, di cui nel seguito si illustrano i risultati più significativi.

3. Analisi delle carte in ambiente digitale

3.1. Georeferenziazione delle carte e analisi delle deformazioni

L'analisi di una carta antica in ambiente digitale consiste sia nel suo confronto con la realtà cartografica attuale, al fine di valutare le trasformazioni del territorio intervenute, sia nella valutazione del suo livello di qualità metrica, risultando questo diverso e generalmente inferiore rispetto ai canoni moderni. Ordinariamente l'operazione di confronto si concreta nella "georeferenziazione" della carta, vale a dire l'assegnazione, allo spazio immagine del file che la rappresenta, di coordinate in un sistema di riferimento oggetto, solitamente cartografico. Il processo si realizza mediante due passaggi fondamentali, al termine dei quali si dispone di una immagine nuova (in termini quantitativi e anche qualitativi) della carta: i) calcolo dei parametri di una appropriata trasformazione geometrica tra sistema-immagine e sistema-oggetto di riferimento, note le coordinate di un certo numero di punti di controllo a terra (GCP: *Ground Control Point*) nei due sistemi; ii) successivo ricampionamento, una volta applicati i parametri di trasformazione calcolati nella fase precedente a tutti i pixel dell'immagine. Alla fine del processo l'immagine ricampionata, più o meno percettibilmente deformata rispetto all'immagine originale – e in modi diversi a seconda del tipo di trasformazione adottata –, risulterà sovrapponibile alla cartografia di riferimento, e quindi utilizzabile come layer cartografico in ambiente GIS (*Geographic Information System*), consentendo in tal modo una serie di ulteriori analisi.

Se al processo di calcolo dei parametri della trasformazione non si fa seguire quello di ricampionamento, è possibile, con l'ausilio di specifici tool digitali (Jenny e Hurni, 2011), visualizzare sull'immagine originale la deformazione insita nella carta antica, ad esempio tramite reticoli che rappresentano la rotazione e la deformazione che assumerebbe la carta attuale per adattarsi all'antica, o tramite linee a scala costante (non essendo costante, di norma, la scala nell'elaborato cartografico originale).

Nello specifico caso in esame, sono stati riconosciuti circa 80 GCP sia sulle carte storiche sia sull'attuale cartografia IGM 1:25.000, la quale ha permesso di ricavare le relative coordinate nel sistema UTM-ED50 fuso 33. Sulla scorta dei GCP determinati sono stati testati diversi tipi di trasformazione, sia locali sia globali (Bitelli et al., 2009). In Tabella 1 si riportano i risultati della georeferenziazione mediante applicazione di trasformazioni polinomiali di 2° ordine, in termini di residui e di errore quadratico medio (RMS, *Root Mean Square*): in essa è possibile notare come l'errore medio sia simile per le due carte, anche se è differente il rispettivo range dei residui. Al fine di esaminare nel dettaglio le aree contraddistinte da alti valori di residui in uscita dal processo di georeferenziazione, è stata condotta una analisi delle deformazioni sulla base degli stessi GCP utilizzati per la georeferen-

CARTA	F	P&F
RANGE DEI RESIDUI [m]	18 ÷ 1.320	85 ÷ 1.650
RMS [m]	588	588

Tab. 1 – Scarti quadratici medi da georeferenziazione delle Carte F e P&F, mediante applicazione di trasformazioni polinomiali di 2° ordine.

ziazione: sulla Carta F, in particolare, si sono evidenziate due aree di forte, “anomala” deformazione, situate lungo la zona costiera rispettivamente a nord e a sud del delta padano rinascimentale (Figura 5). Come si può notare, la scala varia considerevolmente all’interno delle carte: 1:14.300 ÷ 1:10.300 nella Carta F, 16.600 ÷ 10.200 nella Carta P&F.

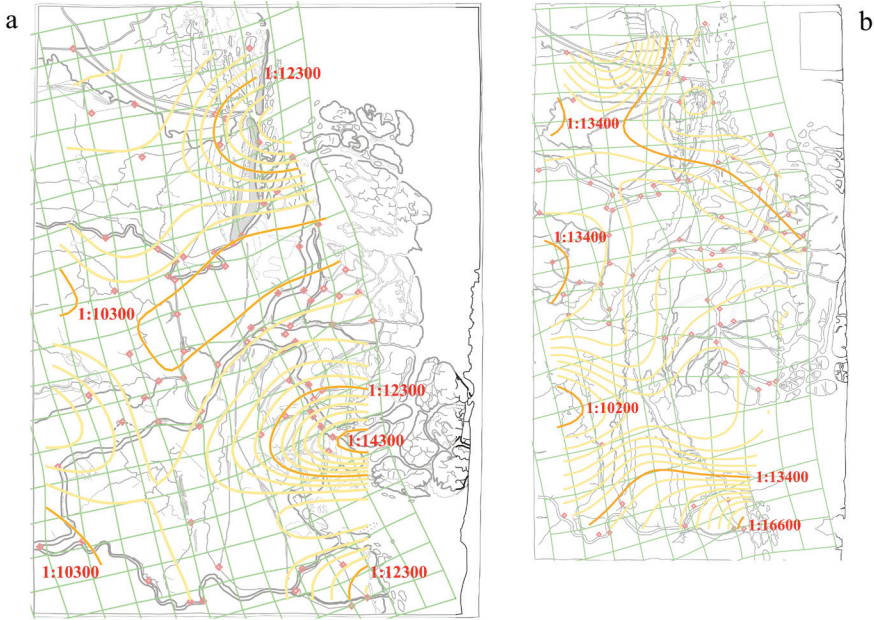


Fig. 5 – Risultato dell’analisi della deformazione nella Carta F (a) e nella Carta P&F (b): reticolato chilometrico UTM-ED50 deformato (in verde, passo 2 km) e isolinee di scala (in giallo e arancione, passo 1:400).

3.2. Tecniche di georeferenziazione “non-standard: un nuovo approccio allo studio delle carte

Per approfondire ulteriormente l’analisi, è possibile sfruttare metodologie di referenziazione “non-standard”, applicabili sfruttando gli stessi strumenti digitali di georeferenziazione ma secondo modalità differenti da quelle classiche (Gatta, 2011). Può ad esempio risultare utile una “co-registrazione” delle due carte antiche, consistente nel referenziare una carta rispetto l’altra, evidenziando così le aree di dissomiglianza tra le due carte coeve. In Figura 6 si riportano i risultati della referenziazione della Carta F sulla Carta P&F in termini di residui, visualizzati mediante mappatura sulla Carta F (utilizzando una scala cromatica entitaria), e successiva loro interpolazione in un modello tridimensionale. Si può notare come in quest’ultimo risaltino le due aree di deformazione “anomala” tipiche della Carta F di cui al paragrafo precedente.

I risultati ottenuti, assieme alle indicazioni suggerite dal cartiglio e dal manuale dell’autore, hanno contribuito a rafforzare l’ipotesi che la rappresentazione del territorio in carta non sia stato frutto di un rilevamento omogeneo, bensì organizzato per sub-aree ed eseguito in periodi differenti e/o per mano di persone differenti. È lecito ipotizzare che per il rilievo dell’ambito centrale delle carte sia

stato utilizzato il metodo dell'intersezione in avanti illustrata dal Fabri (Figura 4), a partire da una base AB inevitabilmente identificabile con la congiungente geometrica dei centri abitati di Loreo (il cui toponimo, a differenza di altri, in Carta F risulta finemente decorato) e di Tornova, visualizzata fisicamente dal rettilineo del canale navigabile della *Rettinella*. Nei paesi di Loreo e Tornova sono ancora oggi presenti due campanili, alti rispettivamente circa 20 m e 9 m, dalla cui sommità poteva essere traguardato un consistente novero di altri punti ben distinguibili, poi destinati al riporto in mappa secondo la metodologia illustrata dal Fabri

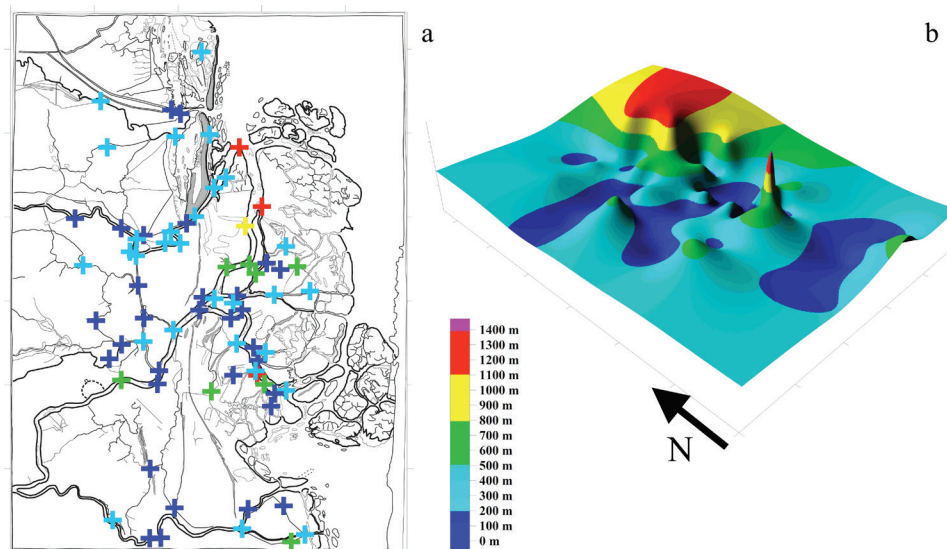


Fig. 6 – Mappatura dei residui (a) derivanti dalla "co-registrazione" della Carta F sulla Carta P&F (secondo una scala cromatica entitaria), e loro interpolazione in un modello tridimensionale (b).

Considerando che nel periodo storico di redazione i traguardi erano eseguiti semplicemente ad occhio nudo, e che un valore ragionevolmente accettabile per la massima distanza traguardabile – tenute in debito conto le caratteristiche eco-ambientali del paesaggio locale – risulta pari a 8-9 km (figura 3), è lecito ipotizzare che l'area rilevabile per intersezione in avanti a partire dalla *Rettinella*, intesa come base AB, non coprisse l'intera estensione del territorio rappresentato nelle carte. È pertanto possibile ipotizzare che la restituzione dell'intero territorio abbia previsto l'applicazione della stessa modalità di rilievo a differenti sub-aree secondo la metodologia complessiva già illustrata, o di altre modalità di rilievo ma con raccordo finale alla sub-area principale mediante traguardi reciproci (Figura 7). In particolare, oltre al dominio di rilievo principale incentrato sulla *Rettinella*, potrebbero essersi rese necessarie altre tre sub-aree operative oltre alla principale: una a nord del dominio principale, dove potrebbe essere stata utilizzata una tecnica di intersezione all'indietro; una a sud, dove potrebbe essere stata individuata una base di riferimento ausiliaria per effettuare un rilievo per intersezione in avanti; ed infine l'area costiera, ad est, in cui fu probabilmente utilizzata una tecnica di rilievo più semplice, basata su tracciati fisicamente percorribili coincidenti con le rive dei corsi d'acqua, come esplicitamente testimoniato dalla sopra menzionata Carta di Lorini et al. del 1599 (Bitelli et al., 2012,

figura 7). Tale ultima tecnica (“per punti”) potrebbe in parte giustificare gli alti valori dei residui di georeferenziazione registrati nelle aree costiere.

Sulla base di queste ipotesi interpretative, è stato effettuato un test, consistente in una “georeferenziazione a zone”, eseguita cioè trasponendo sulle carte originali le quattro sub-aree ipotizzate, e georeferenziando ognuna di esse separatamente, tramite i GCP di pertinenza. In tale test l'applicazione di trasformazioni geometriche semplici come la conforme o l'affine fa sì che in fase di ricampionamento le quattro pertinenze vengano deformate il meno possibile, permettendo in tal modo di valutare quanto queste approssimino o meno la realtà dei dettagli fisici del territorio ancor oggi conservati nel paesaggio attuale e di analizzare in che modo ogni sub-area rototrasli rispetto alle contermini. Per meglio evidenziare l'effetto della trasformazione e le reciproche differenze tra le aree ricampionate (identificate dal rispettivo punto cardinale e da un diverso colore ciascuna), sulle carte è stato preventivamente sovrainposto un reticolo di riferimento a maglia quadrata di lato pari a circa 1 km (Figura 8). Nella Tabella 2 vengono riportati i valori del fattore di scala e dell'angolo di rotazione delle carte rispetto al nord cartografico, calcolati per ogni sub-area e per le carte intere, attraverso trasformazioni affini a 6 parametri.

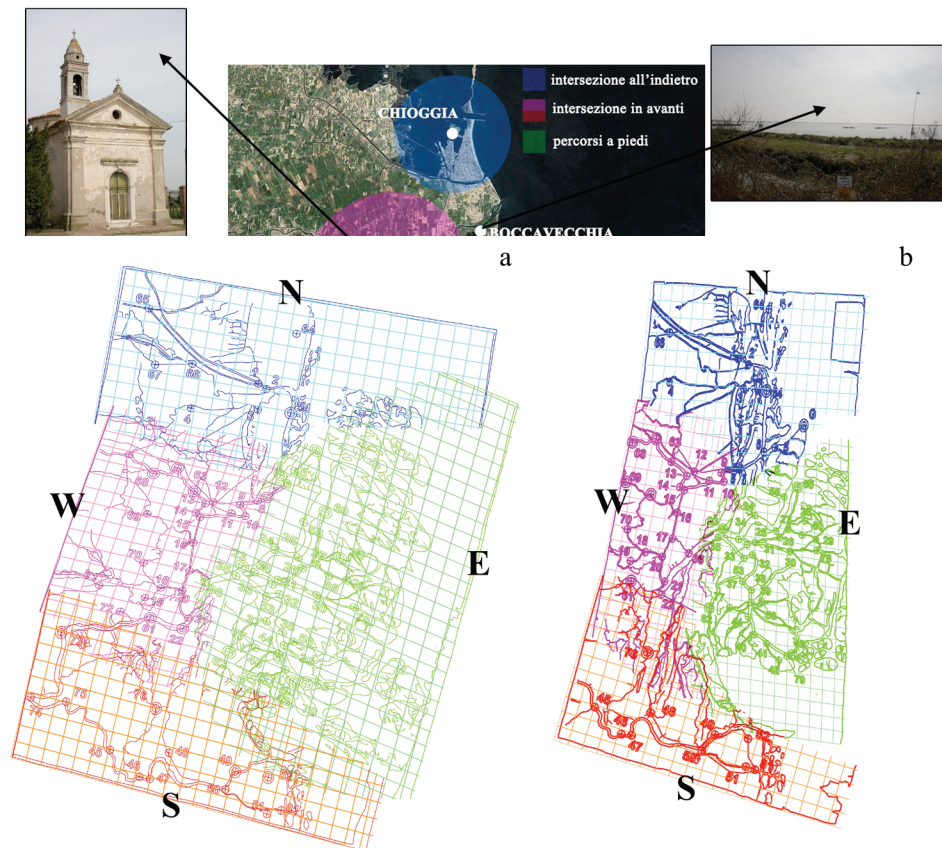


Fig. 8 – Risultato della “georeferenziazione a zone” delle Carte F (a) e P&F (b). Ad ognuna delle 4 sub-aree è stato attribuito uno specifico colore, come in Figura 7: N = blu, W = viola, S = rosso, E = verde.

		SUB-AREE DI GEOREFERENZIAZIONE				CARTA
		N	W	S	E	
CARTA F	N° GCP	9	23	13	34	79
	FATTORE DI SCALA MEDIO	10.900	10.400	10.700	10.700	10.600
	ANGOLO DI ROTAZIONE ANTIORARIO [°]	9,8	18,3	15,5	16,3	15,7
	SCARTO QUADRATICO MEDIO [m]	298	445	612	570	419
CARTA P&F	N° GCP	12	19	10	30	72
	FATTORE DI SCALA MEDIO	12.700	13.400	14.100	11.700	12.000
	ANGOLO DI ROTAZIONE ANTIORARIO [°]	9,0	9,9	17,0	2,9	8,9
	SCARTO QUADRATICO MEDIO [m]	1.088	442	815	540	694

Tab. 2 – Valori del fattore di scala e dell'angolo di rotazione rispetto al nord cartografico, calcolati per le sub-aree di Figura 8 e per l'intera carta.

È bene precisare che la georeferenziazione di aree di estensione minore di quella dell'intero documento cartografico originale permette di evitare la ripartizione degli errori su tutti i GCP, caratteristica invece delle trasformazioni geometriche globali. L'analisi dei residui delle singole georeferenziazioni permette di valutare la qualità della rappresentazione cartografica delle specifiche sub-aree, e di individuare in tal modo zone critiche caratterizzate da alti valori dei residui. Occorre comunque tener presente che la scelta a priori di quali GCP ritenere pertinenti alle differenti aree incide in qualche misura sul risultato finale. Tuttavia questo procedimento è in grado di evidenziare un'eventuale concordanza di scala ed angolo di rotazione tra le varie sub-aree, indice di un prodotto cartografico complessivo caratterizzato da elevata precisione ed uniformità di scala.

4. Discussione

La georeferenziazione e l'analisi delle deformazioni per le due carte in esame hanno messo in luce alcune problematiche degli esemplari, che quindi sono state indagate in modo più approfondito con l'ausilio di tecniche di referenziazione non-standard. La prima di queste, consistendo in una co-registrazione tra le due carte antiche, i risultati della quale sono stati visualizzati in modo intuitivo attraverso una rappresentazione tridimensionale (Figura 6), ha evidenziato in modo chiaro tali problematiche, avvalorando l'ipotesi di un rilievo per sub-aree e risultando quindi propedeutica all'analisi successiva.

I risultati della georeferenziazione a zone hanno evidenziato andamenti (in termini di scala e angolo di rotazione) leggermente differenti per le varie sub-aree identificate. Mentre nella Carta F la scala è abbastanza costante e simile al valore medio calcolato per l'intera carta, per la Carta P&F essa è molto variabile da zona a zona (come messo in luce dai risultati di Figura 5, ed evidenziato in Figura 8 dalla diversa deformazione subita dalle singole aree), e si discosta dal valore medio in particolare per la zona S, che, anche per quanto riguarda l'angolo di rotazione, presenta uno scostamento abbastanza rilevante rispetto al valore medio. Inoltre, per entrambe le carte viene messa in luce una non buona corrispondenza reciproca delle aree N ed E; ciò è visibile molto chiaramente per la Carta F dallo scostamento in corrispondenza del gruppo di isole settentrionali (Figura 8a), dove anche i residui della referenziazione della Carta F sulla Carta P&F erano apparsi molto elevati (Figura 6). Una possibile spiegazione di questo fatto è stata avanzata da Bitelli et al. (2012, figura 13), che hanno suggerito la presenza di una pesante correzione intenzionale dell'autore, effettuata traslando verso nord un intero gruppo di isole, per mascherare una precedente versione del disegno.

Nella Tabella 2 è possibile notare che, per la Carta F, l'area N presenta un angolo di rotazione diverso da quello delle rimanenti aree, ma con i minori residui sui singoli GCP. Ciò potrebbe effettivamente deporre a favore di un autonomo rilievo di quest'area, forse sviluppato scegliendo differenti modalità di rilievo rispetto a quella utilizzata nel dominio di rilievo principale, oppure utilizzando una differente base di appoggio rispetto a quella delle altre aree ed un successivo aggancio mediante traguardi alla base principale della sub-area W (*Rettinella*). Si riscontra invece per la Carta P&F che l'area N presenta valori di scala ed angolo di rotazione in linea con quelli medi della carta, ma registra elevati valori di residui sui GCP. Questo fatto potrebbe dipendere da una maggiore incertezza nella determinazione topografica dei punti battuti, dovuta all'elevata distanza dalla *Rettinella*, ma potrebbe anche deporre a favore di un ben eseguito assemblaggio di fonti cartografiche preesistenti di non elevata qualità metrica.

Infine, è da notare che per entrambe le carte la sub-area W presenta bassi residui sui GCP e valori di scala ed angolo di rotazione simili a quelli medi rispettivi; ciò depone a favore del fatto che il rilievo di questa zona sia avvenuto in modo ottimale, ad esempio tramite la tecnica di intersezione in avanti illustrata dal Fabri, ed abbia funto da base di partenza per la mappatura dell'intero territorio.

5. Conclusioni

La ricerca illustrata vuole fornire un esempio di come il trattamento in ambiente digitale di cartografia storica (quella pregeodetica soprattutto, generalmente caratterizzata da errori ed incongruenze molto elevati rispetto ai canoni moderni) mediante modalità anche "non convenzionali", secondo indicazioni suggerite da una preventiva ricerca storica e semiologica, consenta di approcciare lo studio in modo nuovo e di approfondire le conoscenze sulla qualità metrica dei documenti in esame, al fine di un loro utilizzo quantitativo per studi applicativi di vario genere.

Nel caso specifico, due carte antiche coeve (1592), raffiguranti in modo differente gli stessi dettagli morfologici dell'antico territorio deltizio del fiume Po, sono state co-registrate, mettendo in evidenza le aree di maggior dissomiglianza. Inoltre, le due carte sono state georeferenziate per singole sub-aree, le cui caratteristiche dimensionali e morfologiche sono state suggerite da ipotesi preliminari relative alle modalità originariamente adottate per il rilievo di campagna, inferite dalla documentazione storica disponibile e da considerazioni concernenti le massime distanze traguardabili a vista. Per il caso in esame un miglioramento della ricerca potrebbe derivare dal reperimento in Archivio dei libretti di campagna originariamente utilizzati dai cartografi, oggi eventualmente conservati nei fondi archivistici di pertinenza.

Ringraziamenti

Si ringraziano l'Archivio di Stato di Venezia, per la consultazione della carta di Ottavio Fabri in originale, e la Biblioteca Centrale G.P. Dore, Scuola di Ingegneria e Architettura, Università di Bologna, per la consultazione del manuale *L'uso della squadra mobile* di Ottavio Fabri.

Bibliografia

- BARTOLI C. (1564), *Del modo di misurare le distantie, le superfici, i corpi, le piante, le province, le prospettive, et tutte le altre cose terrene, che possono occorrere a gli huomini, secondo le vere regole d'Euclide, et de gl'altri più lodati scrittori*, Franceschini, Venezia.
- BITELLI G., CREMONINI S. e GATTA G. (2009), *Ancient maps comparisons and georeferencing techniques: a case study from the Po river delta (Italy)*, "e-Perimtron", 4-4, pp. 221-228. Disponibile online (data ultima consultazione: 23/11/2013): http://www.e-perimtron.org/Vol_4_4/Vol4_4.htm.

- BITELLI G., CREMONINI S. e GATTA G. (2012), *Analysis of Pre-Geodetic Maps in Search of Construction Steps Details*, in C. BATEIRA, *Cartography – A Tool for Spatial Analysis*, InTech, Rijeka, Croazia, pp. 75-98. Disponibile online (data ultima consultazione: 23/11/2013): <http://www.intechopen.com/books/cartography-a-tool-for-spatial-analysis/analysis-of-pre-geodetic-maps-in-search-of-construction-steps-details>.
- BITELLI G. e GATTA G. (2011), *Digital processing and 3D modelling of an 18th century scenographic map of Bologna*, in A. RUAS, *Advances in Cartography and GIScience Volume 2*, Springer, Berlin Heidelberg, pp. 129-146.
- CAZZOLA F. (2010), *Il Po*, in M. MATHEUS, G. PICCINI, G. PINTO E G.M. VARANINI, *Le calamità ambientali nel tardo medioevo europeo: realtà, percezioni, reazioni*, Firenze University Press, Firenze, pp. 197-230.
- CREMONINI S. e SAMONATI E. (2009), *Value of ancient cartography for geoenvironmental purposes. A case study from the Po river delta coast (Italy)*, "Geografia fisica e dinamica del Quaternario", 32, pp. 135-144.
- CORNARO M.A. (1988), *Dialogo sulla laguna, con quello che si ricerca per la sua lunga conservazione*, in P. VENTRICE (ed.), *Antichi scrittori d'idraulica veneta*, Vol. V, Venezia.
- FABRI O. (1673), *L'uso della squadra mobile. Con la quale per teoria et per pratica si misura geometricamente ogni distanza, altezza, e profondità. S'impara à perticare, liuellare, et pigliare in disegno le Città, Paesi, et Provincie. Il tutto con le sue dimostrazioni intagliate in rame. Da Ottavio Fabbri messa in luce*, Gattella, Padova.
- FURLANETTO P. (2004), *Un'applicazione della cartografia storica alla geomorfologia: il progetto IMAGO*, in M. MENEGHEL E A. BONDESAN, *Geomorfologia della provincia di Venezia*, Esedra editrice, Padova, pp. 73-76.
- GATTA G. (2011), *Analisi metrica di cartografia antica in ambiente digitale*, "Bollettino dell'Associazione Italiana di Cartografia (AIC)", 241-242 aprile-settembre 2011, pp. 41-53.
- GUERRA F., MINIUTTI D. e MONTI C. (2001), *Bi-visual image coupling of cartographic and photographic images*, in Proceedings of International Cartographic Conference "Mapping the 21st Century", Beijing.
- JENNY B. e HURNI L. (2011), *Studying cartographic heritage: analysis and visualization of geometric distortions*, "Computers & Graphics", 35, 2, pp. 402-411.
- LIVIERATOS E. (2006), *On the Study of the Geometric Properties of Historical Cartographic Representations*, "Cartographica", 41-2, pp. 165-175.
- PANEPINTO E. (2009), *Ottavio Fabri, Perito et Ingegnero Pubblico*, Tesi di laurea in Storia e Geografia dell'Europa, Università di Verona, Facoltà di Arte e Filosofia.
- TCHAPRASSIAN M. (2004), *Il taglio di Porto Viro: i personaggi, biografie e ruoli*, in M. TCHAPRASSIAN (a cura di), *Il taglio di Porto Viro 1604-2004. La storia, la cartografia*, Bottega delle Arti, Padova.
- TOBLER W. R. (1965), *Medieval Distortions: The Projections of Ancient Maps*, "Annals of the Association of American Geographers", 56, 2, pp. 351-360.