

Torre Secchi (Frattocchie): dai rilievi Laser Scanner e fotogrammetrici al plastico per il museo della base geodetica dell'Appia Antica

Fabio Zonetti ^(a), Alessandro Liberace ^(b), Tullio Aebischer ^(c), Valentina Albano ^(d),
Roberta Tozzo ^(e).

^(a) e42.it Cartography website Roma
Via Pordenone 10, 00071 Pomezia (Roma).

^(b) Studio Tecnico ENTASIS
Via Livorno 15, 04024 Gaeta (Latina).

^(c) Università di Roma Tre – Gruppo Didattica e Comunicazione della Fisica e dell'Astronomia,
Dipartimento di Matematica e Fisica
Via della Vasca Navale 84, 00146 Roma.

^(d) HDS Business Developer at Leica Geosystems
Via E. L. Cerva 110, 00143 Roma.

^(e) GeoCARt Geotopocartografia per la Geografia e l'Archeologia
Via Vico Consorti 97, 00127 Roma.

Riassunto

Le misure geodetiche svolte tra Settecento e Ottocento lungo l'Appia Antica sono testimoniate da monumenti e punti (come l'estremo B) che devono essere sia preservati dall'incuria che documentati con strumenti innovativi per una lettura interdisciplinare del territorio. In particolare, la torre Secchi a Frattocchie riveste un'importanza storica per la cartografia italiana visto che fu congiunta con il vertice di monte Mario e, quindi, col Primo Meridiano d'Italia, per quella che si può definire l'Unità cartografica d'Italia dopo il 1870.

Al fine di documentare lo stato conservativo della torre Secchi sono stati effettuati rilievi con tecnologie Laser Scanner e Fotogrammetriche. Tale attività di rilievo permetterà la ricostruzione virtuale, e la stampa 3D di un modello da utilizzare come plastico per il proposto piccolo museo della base geodetica dell'Appia Antica. I risultati hanno permesso anche un confronto tra le metodologie di rilievo e di restituzione adottate.

Abstract

The geodetic measurements carried out between the eighteenth and nineteenth centuries along the Appia Antica are witnessed by monuments and points (like the extreme B). They must be both preserved by neglect and recorded with innovative tools for improving interdisciplinary studies of the territory. In particular, the tower Secchi (Frattocchie) has an historical importance for Italian cartography. For this aim it was linked with the summit of Mount Mario and, therefore, with the Prime Meridian of Italy, for what it can be called the Italy's cartographic Unity after 1870.

Measurements were performed with laser scanner and photogrammetric technologies in order to document the conservation status of the tower Secchi. This important activity will allow the virtual reconstruction and a 3D printing template to use as a model for the proposed small museum of the geodetic baseline of the Appia Antica. The results also allowed a comparison between the survey methods and restitution taken.

Introduzione

La via Appia Antica è un luogo conosciuto dal mondo intero per la sua storia archeologica, ma molto meno come teatro di misure geodetiche. Dalla metà del XVIII sec. fino alla seconda metà del XIX sec. vi furono misurate e rimisurate due basi geodetiche dal mausoleo di Cecilia Metella alla torre Secchi (località Frattocchie, comune di Marino). La prima base fu misurata da R.G. Boscovich (1711-1787) per lo studio della forma della Terra (Boscovich, 1770) e il disegno della prima carta geodeticamente riferita dello Stato Pontificio (Maire, 1755). Seguirono le verifiche degli ingegneri francesi (Coraboeuf, 1853a e 1853b) e degli astronomi dell'Osservatorio Astronomico del Collegio Romano nella prima metà del XIX sec.. A metà dello stesso secolo A. Secchi (1818-1878) rimisurò la base (Secchi, 1858; Aebischer, 2012) sempre tra gli stessi estremi e usò quello alla torre Secchi nel 1870 per la misura del Meridiano Centrale Europeo¹.

Per poter studiare con tecniche moderne (p. es. GNSS², Laser Scanner³) questi passati lavori geodetici, verificare le misure di Secchi e la documentazione d'archivio e della letteratura (Aebischer, 2014), è fondamentale ritrovare i punti principali (Aebischer, 2013) e monitorarne lo stato di conservazione. Poiché questi, molto spesso, erano collocati su monumenti antichi per preservarne meglio la stabilità, diventa indispensabile la loro conservazione, poiché, nelle ricerche di geodesia storica, un punto geodetico o trigonometrico antico perso o distrutto è praticamente irrecuperabile.

Oltre a questo lavoro di ricerca sul terreno, è importante anche quello di divulgazione e trasmissione alle generazioni future. In particolare, è in corso con l'Ente Parco Appia Antica uno studio di fattibilità per l'istituzione di un museo della base geodetica⁴ nel quale allestire dei modelli 3D dei principali punti geodetici / monumenti e tra questi uno dei più importanti è proprio la torre Secchi col suo sepolcro romano sottostante.

Rilievo Laser Scanner

Il rilievo della Torre Secchi è stato effettuato con un Laser Scanner Leica P30⁵, effettuando n. 5 scansioni libere, della durata di circa 15 min ciascuna, senza l'utilizzo di target e complete di acquisizione di immagini fotografiche in HDR⁶ tramite fotocamera integrata. Le suddette scansioni sono state inserite nel software Cyclone⁷, tramite il quale sono state allineate per la creazione della nuvola di punti globale mediante funzionalità di allineamento visuale (Figura 1). La nuvola di punti generata è stata scremata eliminando punti superflui, come, in questo caso la vegetazione.

Definito un piano, con la funzione Reference Plane⁸, sono stati generate le ortoimmagini delle quattro facciate della torre Secchi di cui sono state esportate le singole ortofoto (Figura 4 sx).

Come si evince dalle ortofoto elaborate, si riscontrano delle zone prive di punti dovute al cono d'ombra generato dal manufatto stesso, causate maggiormente dalla posizione dello strumento in un

¹ Associazione Geodetica Internazionale per la misura del grado in Europa. Commissione Pontificia. Verbali delle sedute. 22 gennaio 1870 - 18 agosto 1870 (Archivio Pontificia Università Gregoriana, Estensione Fondo Secchi, b. 2928).

² Il GNSS (Global Navigation Satellite System) è il sistema globale di navigazione satellitare basato sul statunitense GPS (Global Positioning System), dal sistema russo GLONASS (Global Navigation Satellite System) e da altri sistemi come l'europeo GALILEO in via di sviluppo.

³ I sensori laser scanner, anche noti come laser 3D, sono strumenti che consentono il rilevamento di oggetti tridimensionali a scale e risoluzioni differenti

⁴ Lo studio fu eseguito nel marzo 2015 dall'arch. K. Rizza del Circolo LEGAMBIENTE 'Appia sud - il Riccio' ONLUS

⁵ Scanner Laser ultraveloce a tempo di volo potenziati con tecnologia Waveform Digitizer (WFD). Compensatore biassiale con compensazione attiva in tempo reale su ogni singola misura e risoluzione angolare 8° per garantire misure ripetibili ed affidabili.

⁶ High Dynamic Range per ottenere fotografie che mantengono il dettaglio di tutte le parti di un'immagine, sia quelle fortemente in ombra che quelle fortemente esposte a sorgente luminosa.

⁷ Software proprietario di Leica Geosystems, per la gestione delle nuvole di punti e modelli 3D.

⁸ Reference Plane è un tool di Cyclone per definire un piano di riferimento orizzontale.

punto inferiore rispetto al piano orizzontale di campagna. Per ovviare a questo problema si dovrebbe posizionare lo strumento ad una quota maggiore di quella di campagna così da permettere allo strumento di misurare i punti schermati dalle protuberanze del manufatto stesso.

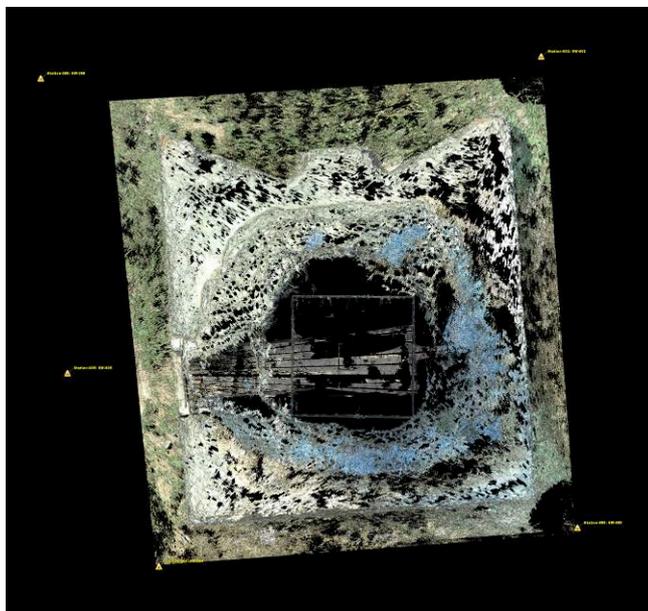


Figura 1 – Vista zenitale della nuvola di punti con l'ubicazione delle stazioni del laser scanner.

Rilievo fotogrammetrico

Per la costruzione del modello 3D da immagini fotografiche, si è adoperato il software PhotoScan⁹ della Agisoft[®]. Le immagini sono state acquisite con camera fotografica Sony[®] ILCE 6000 installata su palo estensibile fino a 5 m. Sono state acquisite circa 150 immagini con una risoluzione di 6000 x 4000 pixel¹⁰, impostando la priorità di tempi¹¹ di 1/100'' con ISO¹² 100. In PhotoScan le immagini sono state allineate con circa 91000 punti calcolati in automatico, con un'accuratezza high¹³. Dopodiché è stata costruita la nuvola di punti (circa 9500000) dalla quale sono state generate le Mesh¹⁴. La texture è stata anch'essa in PhotoScan (opzioni di default) (Figure 2 e 3).

⁹ Agisoft PhotoScan è un software che esegue l'elaborazione fotogrammetrica di immagini digitali, generando modelli 3D.

¹⁰ Il pixel è ciascuno degli elementi puntiformi che compongono la rappresentazione di un'immagine raster digitale.

¹¹ La priorità di tempo è la funzione presente in alcune fotocamere che consente l'impostazione automatica del valore di apertura del diaframma calcolata dall'esposimetro integrato, in relazione al tempo di esposizione impostato dall'utente.

¹² La sensibilità della pellicola fotografica si misura in numeri ISO e/o ASA, quanto più alto è il numero, tanto più sensibile alla luce è la pellicola, tanto più breve è l'esposizione. Le sensibilità ISO digitali sono correlate ai valori convenzionali delle sensibilità della pellicola.

¹³ In Agisoft PhotoScan nel comando per l'allineamento delle immagini (Align Photos) può essere imposta l'accuratezza in lowest, low, medium, high e highest.

¹⁴ Una mesh poligonale, anche detta maglia poligonale, è una collezione di vertici, spigoli e facce che definiscono la forma di un oggetto poliedrico nella computer grafica 3D e nella modellazione solida.



Figura 2 – Particolare del modello 3D (lato Sud-Ovest) con Texture, sw Agisoft PhotoScan.



Figura 3 – Modello 3D (lato Sud-Sud-Est) con Texture, sw Agisoft PhotoScan.

L'ortofoto è stata realizzata sulla facciata Sud-Est impostando in PhotoScan la dimensione del pixel con lato 1 mm ed esportata in formato jpeg che a sua volta importata in CAD¹⁵ (Figura 4 dx).

Confronto tra le due tecniche di rilievo

Da entrambi i modelli realizzati, da laser scanner e da processo fotogrammetrico, sono state generate delle ortofoto, nel caso specifico è stato effettuato un confronto tra la vettorizzazione eseguita a mano su l'ortofoto proveniente dal modello fotogrammetrico con la vettorizzazione eseguita in cyclone, direttamente sulla nuvola di punti, scegliendo dei punti omologhi a campione.

La moda¹⁶ dello scostamento riscontrato è di 5 mm con valori massimi di 7 mm e minimi pari a 1 mm.

¹⁵ CAD Computer Aided Design

¹⁶ In statistica, la moda di una distribuzione di frequenza X è la modalità caratterizzata dalla massima frequenza, ovvero è il valore che compare più frequentemente.

Il confronto è stato eseguito al solo scopo di verificare il modello generato con procedimento fotogrammetrico con quello generato da laser scanner, e non quello di effettuare una ricerca rigorosa ai fini del confronto delle nuvole di punti ricavate dai due metodi di rilievo.



Figura 4 – Ortofoto (lato Sud-Est) da rilievo laser scanner (sx) e fotogrammetrico (dx).

Conclusioni e sviluppi futuri

Entrambe le tecniche di rilievo utilizzate hanno fornito risultati soddisfacenti, pertanto prevediamo per il prossimo futuro di combinare le due tecniche al fine di completare il rilievo anche nella parte interna del mausoleo, oggi non accessibile perché chiusa da un cancelletto con catena, e nella parte interna della torretta, dove si procederà esclusivamente con la tecnica fotogrammetrica in quanto la presenza di un pilastro al suo interno non permette lo stazionamento del laser scanner.

Il modello ricostruito, completo in ogni sua parte, permetterà di esaminare in dettaglio la parte statico-strutturale tra le due tipologie di monumenti posizionate in elevazione (monumento romano alla base e la torretta moderna nella parte soprastante).

Da un punto di vista della divulgazione, le tecniche sopra descritte, permetteranno di progettare un virtual-tour, oltre alla realizzazione del plastico con elementi in 3D, da installare nel proposto museo della base geodetica, esportando in PhotoScan il modello in formato .ply, .stl o .obj tutti gestibili dalla maggior parte delle stampanti 3D. Prima della stampa, sarà necessario ottimizzare il modello per evitare spreco di materiale e tempo.

Inoltre, sarà possibile la georeferenziazione del modello 3D utilizzando i caposaldi CS1 (fuori centro dell'estremo B misurato nel 2013 in occasione della scoperta) (Zonetti, Miranda, 2013) e il trigonometrico IGM 150055 "Frattocchie" posto sul pilastro al centro della torretta.

Bibliografia

- Aebischer T. (2012), *Le misure geodetiche* in Altamore A., Maffeo S. a cura di, *Angelo Secchi e la sua avventura scientifica al Collegio Romano*, Foligno, 226-240
- Aebischer T. a cura di (2013), *La scoperta del caposaldo B della base geodetica di A. Secchi lungo la via Appia Antica*, Città di Castello PG, Edizioni Nuova Prhomos
- Aebischer T. (2014), *La via Appia Antica parco geodetico. Fonti letterarie e online sulle basi geodetiche di Boscovich e Secchi misurate per la cartografia dello Stato Pontificio e lo studio della forma della Terra (XVII-XXI secc.)*, Città di Castello PG, Edizioni Nuova Prhomos

Boscovich R.G. (1770), *Voyage astronomique et géographique, dans l'État de l'Eglise entrepris par l'ordre et sous les auspices de pape Benoit XIV: pour mesurer deux degrés du méridien, et corriger la carte de l'Etat ecclésiastique par les pp. Maire et Boscovich*, traduzione dal latino, Parigi

Coraboeuf J.B. (1853a), "Notice sur les opérations géodésiques que les ingénieurs-géographes français exécutèrent à Rome en 1809 et 1810", *Bulletin de la Société de Géographie*, 5:30, giugno 1853, 353-374

Coraboeuf J.B. (1853b), "Notice sur les opérations géodésiques que les ingénieurs-géographes français exécutèrent à Rome en 1809 et 1810", *Bulletin de la Société de Géographie*, 5:30, luglio 1853, 5-26

Filippi G., Aebischer T. (2011), "Lapide posta dal Governo napoleonico (1809-1814) sul mausoleo di Caecilia Metella per ripristinare il caposaldo occidentale della base geodetica di Maire e Boscovich (1751)", *Bollettino dei Monumenti, Musei e Gallerie Pontificie*, XXIX, 175-206

Maire Ch (1755), *De litteraria expeditione per pontificiam regionem ad dimetiendos duos meridiani gradus et corrigendam mappam geographicam jussu et auspiciis Benedicti XIV. P.M. pont. max. suscepta a patribus Societ. Jesu Christophoro Maire et Rogerio Josepho Boscovich*, Roma

Secchi A. (1858), *Misura della Base Trigonometrica eseguita sulla Via Appia per ordine del Governo Pontificio nel 1854-1855*, Roma

Zonetti F., Miranda M. (2013), Geotopocartografia dell'Appia Antica, caposaldo B della base geodetica di Padre Secchi in Aebischer T. a cura di (2013), *La scoperta del caposaldo B della base geodetica di A. Secchi lungo la via Appia Antica*, Città di Castello PG, Edizioni Nuova Prhmos, 34-39

Sitografia

<http://www.e42.it/>

http://www.leica-geosystems.it/it/Leica-ScanStation-P40-P30_106396.htm

<http://www.agisoft.com/>

<http://www.igmi.org/geodetica/>