

## **Rilievo speditivo 3d con tecnica fotogrammetrica ZSCAN EVO dell'area templare di Scoglietto (Alberese - Gr)**

Debora Caldarelli (\*), Francesca Ceccaroni (\*\*),  
Paolo Nannini (\*\*\*), Alessandro Sebastiani (\*\*\*\*)

(\*) Menci Software srl, loc. Tregozzano 87, 52100 Arezzo, 0575 383960

(\*\*) idem c.s.

(\*\*\*) Soprintendenza per i Beni Archeologici della Toscana, Via Mazzini 24, Grosseto, 0564 23300

(\*\*\*\*) BA, RA, PHD, Direttore Scientifico Progetto Archeologico Alberese, Consulting Scholar University of Pennsylvania Museum of Archaeology and Anthropology 3260 South St. Philadelphia, PA 19104

In ambito archeologico le elaborazioni fotogrammetriche, misurando in tre dimensioni le forme dei manufatti, forniscono uno strumento di lettura e analisi rigorosi, supporto per la ricostruzione storica ma anche per attività di progettazione quali interventi di restauro, tutela, monitoraggio e valorizzazione. Obiettivo della presente ricerca è stato quello di testare, attraverso un'attività di rilievo sperimentale che ha interessato l'area dei templi romani dello Scoglietto (Alberese- GR), la soluzione ZSCAN EVO di Menci Software. Si tratta di un sistema che consente, attraverso processi automatici, la ricostruzione di modelli tridimensionali a partire da immagini digitali scattate da diverse posizioni e con una forte percentuale di sovrapposizione tra loro. Il risultato è una nuvola di punti, densa, colorata, corretta dal punto di vista geometrico e cromatico che si presta per l'interpretazione e la misurazione diretta ma anche per ricavarne successive elaborazioni e semplificazioni grafiche.

Menci Software ZSCAN EVO is an innovative photogrammetric processing solution for archaeology, measuring three-dimensional shapes of objects. It is a rigorous easy tool for historical review and analysis, a good support for the historical reconstruction but also for restoration and monitoring task. Present research is an experimental survey in the area of the Roman temples of Scoglietto (Alberese-GR). ZSCAN EVO system allows, through automatic processes, the reconstruction of three-dimensional models from digital images taken from different positions and with a high percentage of overlap between them. The result is a dense, real coloured, 3d point cloud. It is correct from geometrical and chromatic point of view, so it is a quick solution for the interpretation and the direct measurement but also for other photogrammetric processes and graphic vectorialization.

Il lavoro di seguito presentato è stato realizzato d'intesa con la Soprintendenza per i Beni Archeologici della Toscana, nella persona di Gabriella Poggesi, funzionario responsabile per il comune di Grosseto, che ringraziamo sentitamente per la preziosa opportunità concessa.

### **Introduzione**

Fino a qualche decennio fa la fotogrammetria era considerata una materia estremamente complessa, che esigeva l'impiego di attrezzature sofisticate e costose e di personale altamente qualificato.

Il rapido sviluppo dell'informatica, oltre a consentire l'utilizzo di tecnologie a basso costo, ha semplificato e velocizzato le procedure, favorendo la diffusione di nuovi metodi di acquisizione e di elaborazione multi-immagine anche in settori precedentemente dominati da un forte scetticismo. La stessa fotogrammetria tradizionale si è ritrovata a doversi confrontare con le nuove esigenze di economia, rapidità e sintesi, connesse a tali nuovi metodi (Menci, 2004).

In ambito archeologico, le elaborazioni fotogrammetriche oltre ai tipici sintetici elaborati quali piante, prospetti e sezioni, con o senza il supporto di punti topografici battuti con stazione totale o di scansioni laser, si pongono l'obiettivo di misurare in tre dimensioni le forme dei manufatti, sia nello studio degli elevati che nella documentazione planimetrica, per darne una rappresentazione esatta, fornendo uno strumento di lettura e di analisi rigorosi, supporto non solo per la ricostruzione storica, ma anche per attività di progettazione quali interventi di restauro, tutela, monitoraggio e valorizzazione (Bianchini, 2008).

### **ZScan EVO**

Nell'ambito del rilievo tridimensionale dei beni culturali, si inserisce la soluzione ZScan EVO, prodotta da Menci Software ([www.menci.com](http://www.menci.com)), azienda che da 15 anni si occupa di ricerca e sviluppo di sistemi di misura da immagini e produzione di software per la fotogrammetria.

Si tratta di un sistema che consente, attraverso processi automatici, la ricostruzione di modelli tridimensionali a partire da immagini digitali scattate da diverse posizioni e con una forte percentuale di sovrapposizione tra loro (almeno del 60% sia in senso orizzontale che verticale). Il risultato è una densa nuvola di punti, corretta dal punto di vista geometrico e cromatico, in cui ogni punto si caratterizza per avere sei parametri: oltre alle coordinate  $x,y,z$  anche quelle RGB. Tale modello tridimensionale si presta per l'interpretazione e la misurazione diretta ma anche per ricavarne successive elaborazioni e restituzioni grafiche.

Il sistema, versatile e di facile utilizzo, si compone di una parte hardware ed una software. Il kit prevede l'uso di una fotocamera digitale reflex ad alta risoluzione appositamente calibrata e dotata di ottica fissa, un tablet, un collegamento usb, un'asta topografica con testa tilt regolabile e portatablet (*Figura 1*).



*Figura 1. Strumentazione EVO di Menci Software.*

Il pacchetto software ZScan EVO prevede invece l'utilizzo di più moduli che accompagnano l'operatore dal momento dell'acquisizione fino al post-processamento dei dati:

- EVO Capture, associato al tablet, da utilizzare sul campo per visualizzare il *live view* della camera ed effettuare gli scatti verificando in tempo reale se è stato rispettato il requisito minimo di sovrapposizione tra le foto della strisciata;

- EVO Check, per la verifica preliminare della nuvola di punti ottenuta e avere la garanzia del corretto legame delle immagini catturate prima di lasciare il luogo di rilievo;
- Umap, per il processamento vero e proprio delle immagini e la generazione del modello 3d. Il workflow da seguire è semplice ed intuitivo: una volta specificate le caratteristiche della camera utilizzata (selezione del *camera passport*) si procede con il *Finding Features*, *Matching Images* e *Bundle Adjustment*. Il software cioè, in automatico, procede alla contro-distorsione per l'eliminazione delle aberrazioni ottiche (orientamento interno); le immagini vengono analizzate mediante un operatore di interesse per la ricerca di *features* e per legare il blocco con il calcolo di *bundle adjustment* (orientamento esterno), infine la ricostruzione della superficie avviene per correlazione e filtraggio automatico. I valori di ricostruzione sono parametrizzabili: è l'utente a scegliere la densità e quindi il passo della nuvola di punti a seconda delle esigenze. Per rendere metrico il modello 3d si ha la possibilità di scarlo attraverso una sola distanza o di georeferenziarlo importando e collimando *GCP* (*ground control points*), per incrementare l'accuratezza geometrica dello stesso. Una volta generata la nuvola di punti, si può passare alle post-elaborazioni nell'ambiente software ZMAP di Menci Software, stazione fotogrammetrica multisensore, per comporre ortofoto e ortofotomosaici grazie ad algoritmi per il calcolo automatico delle linee di taglio; per generare DEM, rappresentazioni cromo-altimetriche raster delle quote di una superficie; per produrre profili e curve di livello; per vettorializzare sia in modalità stereoscopica che monoscopica;
- Site Manager è il modulo per la visualizzazione, archiviazione e gestione del progetto di rilievo 3d. Questo applicativo consente di integrare informazioni di vario tipo mediante link a risorse web, prodotti post elaborazione, misurazioni, file testuali etc. Si evincono subito le potenzialità nella gestione completa della documentazione grafica e per la divulgazione dei risultati giunti.

### **Caso applicativo: il rilievo della *Domus Dianae* e dell'Ambiente II di Scoglietto**

Un'attività di rilievo sperimentale della soluzione EVO ha interessato l'area dei templi romani dello Scoglietto, presso Marina di Alberese (GR), all'interno del Parco naturale della Maremma (*Figura 2*).

Le campagne di scavo, a partire dal 2009, hanno permesso di individuare un'area di circa 600mq costruita a partire dal III secolo a.C. ed utilizzata sino alla metà del VI secolo d.C.

Il primo tempio, c.d. *Domus Dianae*, che rappresenta ad oggi l'edificio più antico rinvenuto a Scoglietto, ha pianta rettangolare terminante con esedra trapezoidale con orientamento NW-SE. Costruito in opera incerta, presenta almeno tre fasi costruttive che terminano nel corso della prima metà del II sec. d.C., quando l'edificio fu dotato di panchine laterali e la sua funzione divenne collegiale. Almeno nella sua ultima fase, l'ambiente presenta un pavimento in malta, costruito al di sopra di un vespaio di pietre. Al suo interno, durante gli scavi del 2010, sono venuti alla luce vari reperti che componevano i depositi votivi, quali lucerne, balsamari in vetro, monete e due statuette, una delle quali rappresentante *Diana Umbronensis*.

Nel corso della prima età imperiale, si assiste ad una riorganizzazione degli spazi, con la costruzione di un santuario, delimitato da un nuovo *temenos* e di un annesso tempio rinvenuto come crollo al di sotto di quello ricostruito in epoca severiana. Già in questa fase sembra plausibile collocare la costruzione di una grande cisterna per l'approvvigionamento idrico dell'insediamento, mentre alcune stanze furono addossate al muro di recinzione settentrionale.



Figura 2. Vista aerea dell'area dei templi di Scoglietto (Credit: foto di Paolo Nannini – Soprintendenza per i Beni Archeologici della Toscana).

A cavallo tra il I e il II secolo furono realizzati almeno tre altri ambienti, i c.d. Ambienti I, II e VI. I primi due presentano pavimentazioni in *opus signinum* con *tesserae* marmoree disposte in maniera caotica, mentre il terzo presenta un mosaico in bicromia nera e bianca e termina con un'abside. L'Ambiente II nello specifico, presenta una pianta quadrangolare, ed è edificato in opera incerta con ricorsi in laterizi. Le sue pareti sono rivestite sia internamente che esternamente da un buon intonaco, che all'interno doveva essere dipinto in rosso, verde, giallo e nero a formare motivi decorativi, ora perduti.

Entro la metà del II secolo d.C. si completa la costruzione del santuario con la realizzazione di un nuovo ambiente (Ambiente IV), pavimentato in cocciopesto e addossato ai perimetrali esterni dell'Ambiente I. Alla fine dello stesso secolo si data un primo abbandono generale dell'area; il santuario fu poi utilizzato come cava di materiali da costruzione per l'edificazione del c.d. tempio severiano nella metà meridionale della collina.

Se nel corso del V sec. d.C. le rovine del tempio furono frequentate, come dimostra un'ingente quantità di lucerne di produzione africana, e la collina fu convertita ad uso abitativo nel corso della prima metà del VI sec. d.C. successivamente, forse anche a causa dell'impaludamento di numerosi siti lungo la costa tirrenica alla foce del fiume Ombrone, l'area fu abbandonata. Sporadiche frequentazioni si possono datare nella piena età rinascimentale e moderna, dovute per lo più allo stanziamento di pastori e allevatori nella piana sottostante (Chirico, Sebastiani 2010; Cygielman et al 2010; Sebastiani 2011).

### **Procedura Operativa**

La soluzione EVO è stata utilizzata per un rilievo sperimentale della *Domus Dianae* e dell'Ambiente II. Avendo infatti caratteristiche simili, sia per dimensioni che per natura, la procedura seguita per i due ambienti è stata la medesima.

Dal punto di vista operativo la fase più importante è stata quella della progettazione del rilievo: fattori di natura diversa influenzano infatti la scelta della strategia da applicare e i parametri da impostare (esposizione, messa a fuoco, distanza di presa, modalità di scatto).

Per ciascuno dei due ambienti sono state innanzitutto scattate delle immagini generali, per contestualizzare il rilievo e avere una visione d'insieme dell'area indagata. Sono state poi utilizzate 9 mire e misurate tutte le distanze, compresa la diagonale e i vari dislivelli, determinando le impostazioni delle riprese, per una rimessa in scala con misure dirette e non con *GCP*. Per quel che concerne le condizioni di ripresa, si è cercato di evitare forti variazioni di luce sia in intensità che in direzione, attendendo momenti di luce diffusa piuttosto che diretta. Sulla camera è stato impostato un diaframma piuttosto chiuso con esposizione a priorità di diaframmi, in modo da avere una buona profondità di campo per una messa a fuoco di tutti gli elementi della superficie ripresa. La distanza di presa, che varia a seconda dell'ottica utilizzata, del livello di dettaglio da ottenere e dalle dimensioni dell'oggetto di interesse, è stata fissata a circa 3m. Per rendere le riprese più vantaggiose per il software di correlazione, si è scelta una modalità di scatto che fosse sempre il più possibile zenitale e pertanto sono state inclinate sia l'asta che la camera.

Il primo ambiente è stato rilevato alzando e abbassando l'asta topografica, a seconda del cambio di quota, dovuto alla presenza dei muri perimetrali, per far sì che la distanza di presa si mantenesse più o meno uniforme per tutta la sessione. In modalità di scatto zenitale sono state realizzate 132 immagini, con grande sovrapposizione tra loro sia in senso orizzontale che verticale. Altre due sessioni da 10 immagini ciascuna, hanno invece interessato le sezioni interne, in modo da evitare, in fase di ricostruzione, la presenza di zone lacunose.

Stesso procedimento è stato adottato per l'Ambiente II, dove sono stati realizzati 81 scatti per la sessione zenitale e due sessioni da 8 e 10 immagini per l'interno.

Per effettuare l'attività di ripresa fotografica per i due ambienti sono state necessarie complessivamente 3 ore di tempo.

L'attività di back-office è iniziata con il processamento in Umap. In entrambi i casi, una volta importate le immagini, si è proseguito con la messa in scala del modello. Non avendo punti topografici a disposizione, è stata utilizzata una distanza (quella della diagonale) per scalare l'intero modello. Misure di controllo hanno poi confermato la precisione dell'operazione.

Lo step di ricostruzione, ossia il valore di densità della nuvola di punti è stato di 5: si è scelto cioè di ricostruire 1 punto ogni 5 pixel. Il *Ground Sample Distance (GSD)* ossia la risoluzione a terra del pixel è stata di 1 cm. Pertanto la ricostruzione a 5 pixel corrisponde ad una densità della nuvola di 5 cm (*Figura 3*).

I tempi di processamento si sono aggirati sui 40 minuti per ciascun ambiente.

Una volta generati, i modelli sono stati importati in Zmap, per la revisione dei punti e il ritaglio delle parti esterne al perimetro delle aree di interesse.

Il DEM è stato generato con step pari a 1 cm per i singoli modelli (parte zenitale + sezioni) poi riuniti attraverso un'operazione automatica di media delle aree in comune. Una volta editati, i modelli rendono perfettamente le variazioni di quota.

Sono stati poi realizzati i profili relativi alle quattro sezioni principali e le curve di livello.

Infine sono state generate le ortofoto e l'ortomosaico comprensivo del cartiglio con i riferimenti metrici.

Il progetto di rilievo completo, comprensivo di tutti i risultati delle diverse elaborazioni è stato poi archiviato in Site Manager, per favorirne la visualizzazione e consultazione (*Figura 4*).

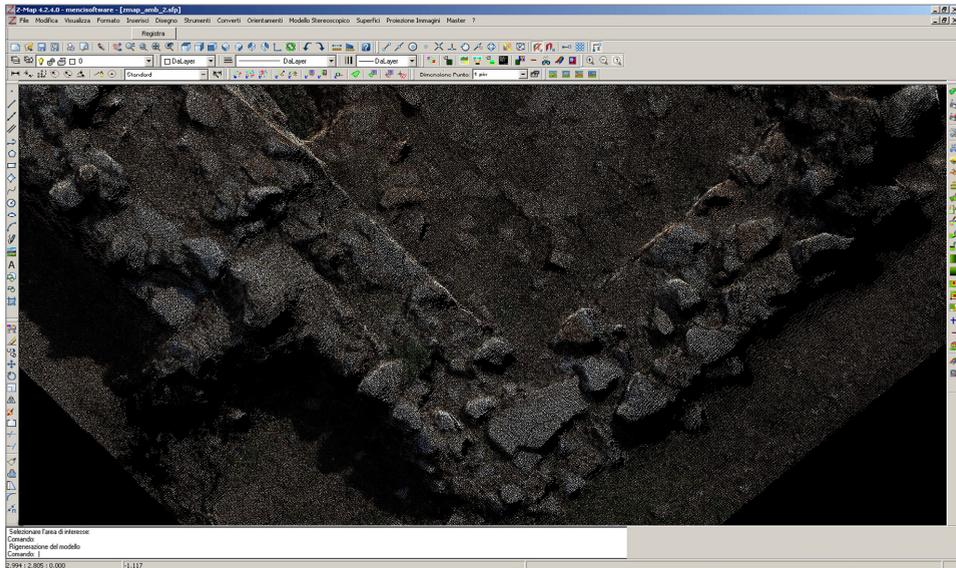


Figura 3. Particolare della nuvola di punti generata con Umap.

## Conclusioni

Lo strumento EVO si presta molto bene per attività speditive di rilievo tridimensionale in ambienti archeologici. Emerge innanzitutto come, una volta progettato il lavoro tenendo conto delle esigenze e delle peculiarità dell'oggetto rilevato, la procedura operativa sia estremamente semplice.

Questa facilità di utilizzo, la rapidità sul campo e la qualità dei risultati ottenuti rappresentano gli aspetti più innovativi del sistema: l'idea vincente infatti, è la realizzazione di una nuvola di punti continua, misurabile, che si presta a molteplici operazioni e successive elaborazioni, con poco dispendio in termini economici e di tempo.

EVO, consentendo un'acquisizione morfologica 3d, geometrica e fotografica dell'oggetto o dell'area di interesse, può quindi essere a tutti gli effetti considerato come un valido strumento di conoscenza oltre che di misura, di indagine interpretativa e restituzione grafica e come tale ne sarebbe auspicabile l'utilizzo come vera e propria metodologia di rilievo in tutte le situazioni in cui serva un supporto metrico alla documentazione di scavo.



Figura 4. Modello 3d unito degli ambienti rilevati, visualizzato in Site Manager.

#### **Riferimenti Bibliografici**

- Bianchini M. (2008), *Manuale di rilievo e di documentazione digitale in archeologia*, Roma.
- Chirico E, Sebastiani A. (2010), L'occupazione tardo antica del promontorio dello Scoglietto ad Alberese (Grosseto – IT), *Archeologia Medievale* XXXVII, pp. 331-344.
- Cygielman M, Chirico E, Colombini M, Sebastiani A. (2010), Dinamiche insediative nel territorio della foce dell'Ombrone: nuovi dati dagli scavi dell'area templare dello Scoglietto (Alberese-Gr), *Notiziario della Soprintendenza ai Beni Archeologici della Toscana*, 2010/5, pp. 35-92.
- Menci L. (2004), Zmap: stazione digitale multisensore per una moderna produzione di dati cartografici, *Geomedia Reports* 4, pp. 26-29.
- Sebastiani A. (2011), Foce dell'Ombrone. Tempio di Diana *Archeologia Viva* 145, p.12.  
[www.menci.com](http://www.menci.com)