

TECNOLOGIE FOTOGRAMMETRICHE E REGISTRAZIONE 3D DELLA STRUTTURA MATERIALE: DAL RILIEVO ALLA GESTIONE DEI DATI

1. INTRODUZIONE

Le specifiche oggi richieste dalla documentazione archeologica del costruito storico, che in Italia sono ancora ben lungi dall'essere definite¹, impongono all'archeologo l'utilizzo di tecnologie che non restituiscano solo il modello tridimensionale dell'oggetto rilevato, ma che permettano a quest'ultimo di rispettare determinate caratteristiche metriche e geometriche e consentano di rappresentare il fattore del tempo. Nella scelta della strumentazione di rilievo devono essere quindi attentamente valutati molti fattori, tra i quali svolgono un ruolo centrale le componenti soggettive e oggettive caratterizzanti i singoli gruppi di ricerca (possibilità economiche, preparazione del personale tecnico, caratteristiche ed eterogeneità dei contesti di studio, etc.) messe in rapporto alle caratteristiche offerte dalle tecnologie oggi in commercio (pesantezza e ingombro dell'attrezzatura, costo dell'hardware e del software, velocità nel rilievo sul campo e nel post-processing dei dati in laboratorio, caratteristiche dei prodotti generati, etc.). In ultima analisi dovranno essere anche ipotizzate forme di comunicazione che permettano di soddisfare le richieste di una eventuale committenza e le caratteristiche dell'utenza finale.

Il LAArch (Laboratorio di Archeologia dell'Architettura, <http://www.laarch.unisi.it/>) dell'Università degli Studi di Siena ha scelto di dotarsi da qualche anno di tecnologie fotogrammetriche, in particolare Menci Software ZScan (per informazioni dettagliate sulla tecnologia: ARRIGHETTI *et al.* 2011; ARRIGHETTI, GILENTO 2012) e Menci Software EVO, al fine di restituire prodotti metricamente, geometricamente e cromaticamente affidabili, dai quali fosse successivamente possibile generare, attraverso un accurato lavoro di post-processing, prodotti utili a molteplici discipline e dai quali poter rendere fruibile il lavoro archeologico. L'evoluzione tecnologica, il confronto con gruppi di ricerca internazionali e l'esperienza maturata in questi anni in contesti molto diversi hanno permesso di valutare i diversi software e hardware in possesso e definirne pregi e difetti, tenendo sempre presente la possibilità di integrare diverse tecnologie in funzione dell'obiettivo scelto (BERALDIN 2004; CAPRIOLI, MINCHILLI, SCOGNAMIGLIO 2011; GUIDI, REMONDINO, RUSSO 2011). Nei paragrafi seguenti vengono illustrati tre casi studio, che hanno

¹ Cfr., ad esempio, in ambito anglosassone l'attività dell'English Heritage (ANDREWS 2009), che rappresenta il più importante punto di riferimento a livello europeo.

consentito di riflettere sulle difficoltà incontrate nella sperimentazione delle nostre tecniche di rilievo su manufatti morfologicamente e dimensionalmente eterogenei e nella gestione dei modelli 3D generati. Inoltre vengono tracciate alcune riflessioni sui risultati ottenuti dall'integrazione di strumentazioni di rilievo diverse, sottolineando, quando possibile, le ragioni insite nella scelta di una tecnologia piuttosto di un'altra. Un'ultima considerazione sarà dedicata infine al confronto mirato fra tecniche fotogrammetriche open source e high-cost.

2. CASO 1 – L'INTEGRAZIONE FRA TECNOLOGIE DI RILIEVO DIVERSE: IL CASO DI TORRE E PALAZZO CAMPATELLI A SAN GIMIGNANO (SI)

Il Complesso Architettonico di Palazzo Campatelli a San Gimignano è stato acquisito recentemente dal FAI (Fondo Ambiente Italiano). L'edificio è posto lungo l'attuale via San Giovanni, in passato coincidente con l'ingresso a San Gimignano della medievale *Strata Francigena*. Il fronte stradale è la sommatoria di più periodi costruttivi: la facciata (e le murature ad essa perpendicolari) è costituita da tre distinti Corpi di Fabbrica; a questi, se ne aggiungono almeno altri due, sul retro, individuati lungo il declivio della collina, del quale compensano la morfologia. Tutti i Corpi di Fabbrica che costituiscono l'edificio risultano essere stati interessati da numerose trasformazioni, parte delle quali hanno certamente contribuito ai dissesti delle strutture.

Il FAI ne ha promosso e sostenuto le analisi diagnostiche e gli interventi di conservazione, incaricando il LAArch di effettuare un'accurata registrazione della struttura materiale ed uno studio archeologico dell'intero complesso. I risultati di questo studio dovevano prevedere:

- la produzione di un rilievo wireframe 3D del fronte esterno e di alcuni ambienti interni del complesso;
- la restituzione fotografica a risoluzione millimetrica del fronte stradale per il progetto di restauro e per la registrazione della struttura materiale (Fig. 1);
- la determinazione della storia costruttiva del complesso e le sue ricadute sul progetto di restauro;
- la determinazione delle pendenze/fuori piombo dei Corpi di Fabbrica;
- il monitoraggio delle lesioni interne alla torre centrale.

La scelta delle strumentazioni di rilievo da adottare è stata determinata in maggior parte dai prodotti richiesti in rapporto ad alcune caratteristiche oggettive della struttura da rilevare. Nel progetto di presa si sono infatti valutati i fattori che maggiormente potevano andare a condizionare la corretta restituzione del rilievo, valutando di particolare incidenza: le condizioni ambientali (strade molto strette e affollate di turisti); le dimensioni e le caratteristiche dell'area da rilevare e di alcuni ambienti interni (il fronte stradale del complesso si estende per un massimo di circa 30 m in altezza per 40 m in

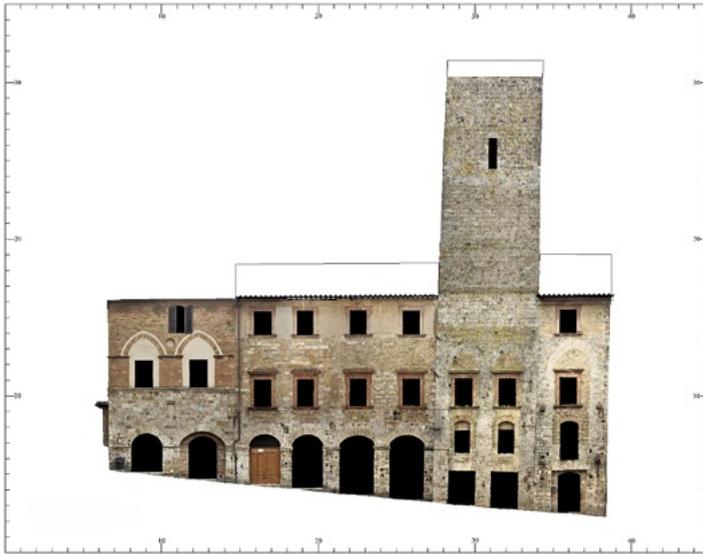


Fig. 1 – Ortofotopiano del fronte stradale del complesso di Torre e Palazzo Campatelli.

lunghezza; inoltre ci sono molti elementi aggettanti in facciata ed ambienti di dimensioni e morfologia molto diverse) e la necessità di dover lavorare in modo veloce. Tali fattori hanno determinato la scelta di integrare strumentazioni di rilievo diverse, quali:

- ZScan: uno strumento fotogrammetrico di scansione tridimensionale costituito da una camera digitale calibrata, focali calibrate, una “slide bar” e due software. Lo strumento, attraverso alcuni passaggi gestiti in modo più o meno diretto da parte dell’operatore, permette di generare da triplette fotografiche modelli 3D in nuvola di punti RGB con texture ad alta definizione, punto di partenza per una serie di prodotti. ZScan è stato utilizzato per il rilievo del fronte stradale (con prese fotografiche sia da terra che su carrello elevatore) e di due ambienti interni posizionati al secondo piano del complesso, per i quali era necessario produrre un modello 3D con texture fotografica, essendo determinanti per la comprensione della storia costruttiva dell’edificio (Fig. 2);
- ZScan Micro (rilievo eseguito dall’Arch. Rachele Manganelli Del Fà dell’ICVBC del CNR di Firenze): uno strumento basato su principi fotogrammetrici, composto da una slitta di precisione micrometrica motorizzata e una camera digitale con focali calibrate, che permette di generare nuvole di punti 3D con precisione molto al di sotto del millimetro, utilizzando software dedicati (TIANO, SALVO, CECCARONI 2009). ZScan Micro è stato utilizzato per



Fig. 2 – Modello 3D in nuvola di punti RGB di Palazzo e Torre Campatelli.

il rilievo di una lesione posizionata all'interno della torre centrale del complesso, per la quale era necessario un monitoraggio con scansioni temporali differenziate, per registrarne eventuali spostamenti.

– Stazione Totale Leica: la stazione totale è stata utilizzata sia come appoggio topografico per la georeferenziazione dei modelli creati con i diversi strumenti di rilievo, che per il rilievo stesso di alcuni ambienti posti nei seminterrati dove era necessario restituire un “semplice” volumetrico 3D (Fig. 3, Tav. XIII, a). In quest'ultimo caso la scelta dell'utilizzo della stazione totale è stata quindi dettata da motivazioni di carattere logistico, dato che, sebbene in fase di acquisizione il processo risulti più lungo (anche se non in modo determinante) rispetto alla fotogrammetria e al laser, in fase di post-processing i tempi si abbreviano in modo rilevante, senza dover far fronte alla gestione di modelli tridimensionali molto pesanti;

– Laser Scanner Faro Focus 3D (rilievo eseguito dall'Arch. Giovanni Pancani della società Giovanni Pancani s.r.l.): il laser scanner è stato utilizzato per il rilievo di un ambiente molto particolare posto al secondo piano della torre centrale, un'intercapedine posta fra due volte, alla quale era possibile accedere attraverso una botola molto stretta, di altezza di 1,5 m circa, poco luminosa e

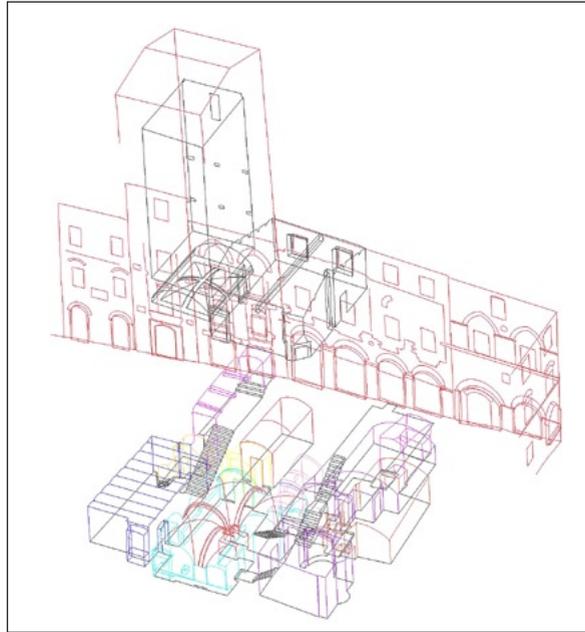


Fig. 3 – Wireframe 3D ottenuto dalla digitalizzazione del rilievo fotogrammetrico ZScan, del rilievo laser scanner e del rilievo con stazione totale.

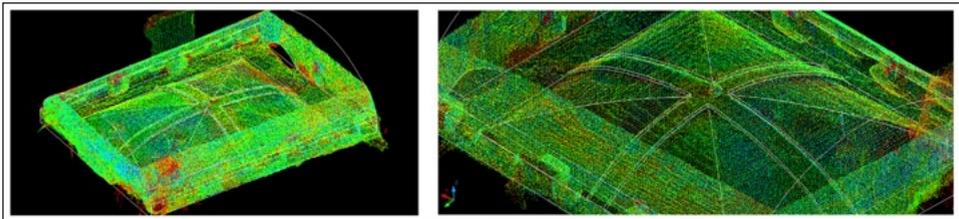


Fig. 4 – Alcuni passi nella digitalizzazione della nuvola di punti ottenuta dal rilievo con laser scanner.

sulla quale, per ovvi motivi, non molti punti di presa erano disponibili (Fig. 4, Tav. XIII, b). La scelta della strumentazione è ricaduta su una tecnologia laser a differenza di fase per due motivi: da un lato per le caratteristiche dell'ambiente, per le quali solo uno strumento di questo tipo sarebbe stato in grado di restituire un modello completo e metricamente affidabile; dall'altro lato perché grazie alle caratteristiche proprie del laser, è stato possibile battere alcuni punti al di fuori della botola d'ingresso all'ambiente e agganciare quindi il modello dell'intercapedine a quello di ZScan, georeferenziandolo di conseguenza.



Fig. 5 – Particolare del modello 3D di Palazzo e Torre Campatelli.

Il post-processing e la gestione dei dati acquisiti sono stati eseguiti attraverso i seguenti software:

- ZScan: software proprietario utilizzato sia nella versione “macro” che in quella “micro” per la generazione di modelli tridimensionali a nuvola di punti RGB attraverso alcuni passaggi gestiti sia in modo automatico che direttamente da parte dell’operatore (Fig. 5).
- ZMap: software proprietario che, partendo dai modelli generati mediante ZScan, ha permesso di produrre un ortofotopiano a risoluzione millimetrica del fronte stradale utilizzato anche come base per determinare la storia costruttiva del complesso attraverso le analisi archeologiche; sezioni di superficie del fronte esterno necessarie per determinare fuori piombo e spancamenti; un wireframe 3D delle parti rilevate con ZScan esportato successivamente in formato .dwg; DEM e sezioni per il monitoraggio a scansione temporale differenziata di una lesione interna alla struttura.
- MeshLab: software open source utilizzato per gestire e modificare l’intero modello in nuvola di punti generato attraverso ZScan ed esportato in formato .ply.
- Cyclone: software proprietario utilizzato per gestire e georeferenziare la nuvola di punti prodotta dal laser scanner.
- AutoCad: software proprietario utilizzato per il disegno in wireframe della nuvola di punti laser scanner, per la creazione dei volumetrici in fil-di-ferro dei seminterrati e per la costruzione e gestione del wireframe 3D completo derivato da tutti gli strumenti di rilievo utilizzati.
- Photoshop: software proprietario utilizzato per la gestione dell’ortofotopiano generato da ZMap.

Dal punto di vista archeologico l'ortofotopiano e il modello wireframe 3D sono stati poi utilizzati per comunicare i risultati derivati dall'analisi della storia costruttiva dell'edificio, proponendo un modello 4D esemplificativo della struttura nei diversi periodi storici. Il passo successivo, attraverso la modellazione, potrebbe essere la proposizione di modelli tridimensionali texturizzati dell'edificio che rappresentino la sua evoluzione nel corso dei secoli.

L'utilizzo di strumentazioni diverse, in gran parte tecnologie high-cost, è stato quindi dettato dal rapporto fra le caratteristiche degli ambienti o delle superfici da dover registrare e le caratteristiche tecniche delle tecnologie e dei prodotti da esse generati, in funzione del risultato da dover ottenere.

3. CASO 2 – IL RILIEVO DI DETTAGLIO: SPERIMENTAZIONI NELLA REGISTRAZIONE DI MANUFATTI CONSERVATI NEL MUSEO E ISTITUTO FIORENTINO DI PREISTORIA

Il Museo e Istituto Fiorentino di Preistoria e il Dipartimento di Scienze dell'Antichità, Medioevo, Rinascimento e Linguistica dell'Università degli Studi di Firenze hanno recentemente proposto al LAArch una collaborazione per il rilievo di alcuni manufatti preistorici conservati all'interno del museo stesso. Il progetto nasce come una sperimentazione della tecnologia ZScan per la documentazione di incisioni su pietra, in funzione della creazione di una metodologia di lavoro che possa diventare uno standard nella documentazione digitale di questo tipo di manufatti. Allo stesso tempo il lavoro ha permesso di valutare i reali limiti della tecnologia utilizzata nella restituzione di oggetti con incisioni al di sotto del millimetro.

La sperimentazione si è concentrata su due tipologie di manufatti e riproduzioni provenienti da varie zone d'Italia: pietre incise e calchi di incisioni rupestri. Nel primo caso i manufatti scelti per il rilievo presentavano caratteristiche diverse fra loro, essendo presenti pietre di dimensioni varie, con superfici piane o curvilinee e con incisioni più o meno nette e profonde. In totale sono state acquisite, attraverso una camera digitale Nikon D700 con un obiettivo calibrato 60 mm, cinque pietre incise, posizionando i punti di presa a distanze molto ravvicinate (circa 20-25 cm dal manufatto) e con una luce controllata da parte dell'operatore attraverso sei lampade. La possibilità di regolare i punti di luce è risultata un vantaggio, in quanto ha permesso di mettere in risalto le zone utili per la registrazione delle caratteristiche 3D dei singoli manufatti. I tempi di lavoro si sono molto differenziati fra il lavoro sul campo dove, una volta trovato il punto di luce adeguato, le foto venivano eseguite in tempi rapidi, e il lavoro in laboratorio dove invece, per la particolare precisione richiesta dal rilievo, il GSD (Ground Sample Distance) molto elevato, impostato in fase di elaborazione, influiva notevolmente sul tempo di generazione del modello 3D, arrivando fino ad un massimo di 2

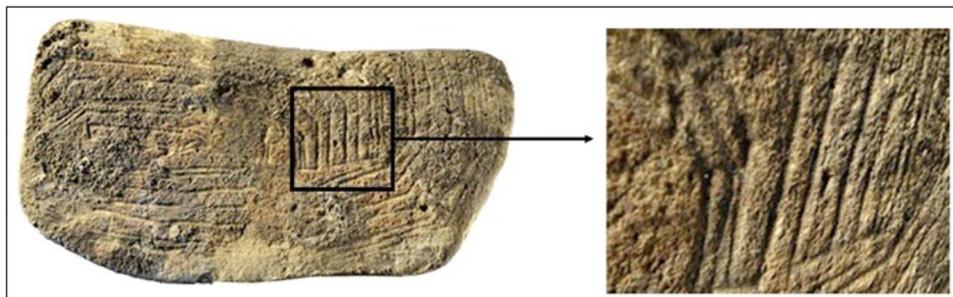


Fig. 6 – Modello 3D di una pietra incisa e particolare delle incisioni (Grotta del Cavallo).

ore per singola tripletta fotografica (mediamente calcoliamo un rapporto di 1:4 fra il lavoro sul campo e quello in laboratorio per la generazione di ogni singolo modello). I modelli generati sono stati poi mosaicati con il software ZMap mediante il riconoscimento da parte dell'operatore di punti noti e infine gestiti e in parte equalizzati nel colore e parzialmente modificati con il software MeshLab. In questo caso il notevole dettaglio del modello, accanto alla restituzione dei modelli texturizzati ad alta definizione, ben rispondeva alle specifiche richieste in fase di progettazione (Fig. 6).

Nel caso dei calchi di incisioni rupestri il lavoro si è invece svolto all'interno delle sale museali e quindi con luce diffusa. Anche in questo caso, sebbene i manufatti risultassero di grandi dimensioni, il lavoro doveva prevedere la restituzione ad alta definizione dei particolari millimetrici incisi. Per questo motivo si è deciso di operare registrando i manufatti da diverse distanze generando in tal modo un modello diacronico del manufatto a diverse risoluzioni (SALONIA *et al.* 2009). In particolare, le triplette fotografiche sono state eseguite attraverso un obiettivo calibrato 60mm, da distanze variabili (da una distanza di 4 m per il modello generale del manufatto, a 20-25 cm per i particolari incisi). Il tempo impiegato per il lavoro sul campo ha visto una notevole differenza rispetto a quello svolto in laboratorio, dove la restituzione dei vari particolari con un GSD molto elevato ha portato ad un allungamento sensibile dei tempi di generazione dei singoli modelli (si può mediamente calcolare un rapporto di 1:10 fra il lavoro fotografico e quello di restituzione del modello completo). Il lavoro è stato successivamente svolto su ZMap dove sono stati integrati i modelli generali con quelli particolari, al fine di creare un modello 3D unico dei manufatti, gestito infine su MeshLab (Fig. 7).

Concludendo, la sperimentazione della tecnologia di rilievo in nostro possesso su elementi con particolari al di sotto o poco al di sopra del millimetro, ha dato esito positivo, consentendo di generare modelli 3D in nuvola di punti RGB con texture ad alta definizione, utilizzabili sia dal punto di

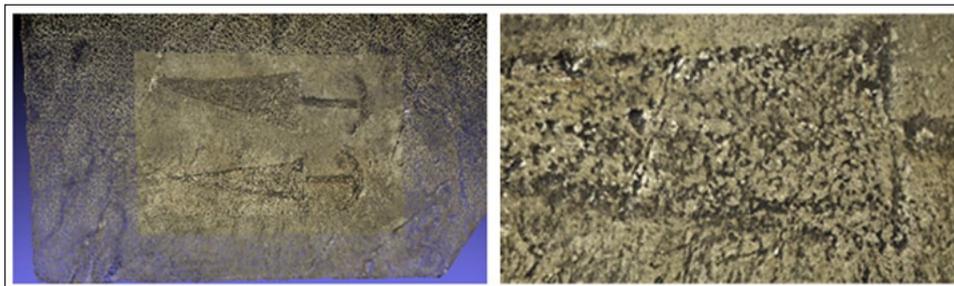


Fig. 7 – Particolari del modello 3D diacronico di un calco di una incisione rupestre della Valcamonica generato da rilievo fotogrammetrico ZScan.

vista comunicativo che da quello della documentazione archeologica. Ad oggi la comunicazione del prodotto si è conclusa semplicemente attraverso la produzione di video che presentassero i modelli tridimensionali dei singoli oggetti; in futuro dovranno essere individuati visualizzatori open source che permettano agli studiosi e all'utenza una gestione autonoma del prodotto.

4. CASO 3 – ESEMPI DI RILIEVO FOTOGRAMMETRICO HIGH-COST E OPEN SOURCE DI UNA SEPOLTURA PREISTORICA

In occasione del lavoro al Museo e Istituto Fiorentino di Preistoria, sono state effettuate alcune prese fotografiche “a mano libera” per la sperimentazione di due software free e del software UMap (parte del pacchetto Menci Software EVO) per la generazione di modelli tridimensionali a nuvola di punti RGB. In particolare sono state acquisite diciotto immagini, prese da punti di vista diversi, di un calco di una sepoltura preistorica con corredo funebre presente all'interno del museo. Le fotografie sono state acquisite da una camera digitale Nikon D700 con un obiettivo 28 mm calibrato, cercando di mantenere un margine di sovrapposizione fra le immagini di almeno 60-70%, in modo da garantire una corretta restituzione dell'intero modello finale. I software utilizzati per il post-processing dei dati, di seguito descritti, sono stati confrontati secondo parametri prestabiliti, ovvero: tempo di elaborazione, densità della nuvola di punti, presenza/assenza della texture, gestione delle fasi di generazione del modello 3D da parte dell'operatore. I risultati raggiunti possono essere così riassunti:

– Autodesk 123D Catch: software liberamente scaricabile dal web che permette la generazione di un modello tridimensionale partendo da semplici fotografie “turistiche” che presentino un margine di sovrapposizione adeguato. L'intero processo di generazione del modello 3D avviene molto velocemente ed in modo totalmente automatico. Il prodotto finale, un modello 3D in nuvola



Fig. 8 – Modello 3D ottenuto attraverso Autodesk 123D Catch.

di punti RGB texturizzato, viene direttamente spedito per posta elettronica all'operatore (Fig. 8). Il software permette anche la visualizzazione del modello e la produzione di semplici video di presentazione (tempo di elaborazione: 5 minuti; densità della nuvola di punti: 162.765; texture: presente; ruolo dell'operatore nella generazione del modello: assente).

– Bundler + PMVS: software open source che, attraverso l'immissione delle foto per la generazione del modello 3D e dei parametri di calibrazione della macchina fotografica, genera modelli in nuvola di punti RGB (Fig. 9). Anche in questo caso il processo risulta molto veloce e totalmente automatico per l'operatore (tempo di elaborazione: 15 minuti; densità della nuvola di punti: 315.712; texture: assente; ruolo dell'operatore nella generazione del modello: assente).

– Menci Software UMap: software proprietario in grado di generare nuvole di punti da fotografie con fotocamera e obiettivi calibrati che presentino un margine di sovrapposizione almeno del 60%. Il processo di generazione avviene in modo automatico per quanto riguarda l'immagine matching delle foto, mentre risulta controllata da parte dell'operatore la restituzione della nuvola di punti, per la quale viene richiesto il GSD di riferimento. Il prodotto generato è una nuvola di punti dell'oggetto che dovrà successivamente essere trasferita su altri software (ad es. ZMap) per una sua modifica e per la triangolazione della texture fotografica (Fig. 10). In UMap è inoltre possibile, in fase di produzione del modello, l'immissione di Ground Control Points per la georeferenziazione dell'immagine (tempo di elaborazione: 15 minuti; densità della nuvola di punti: 240.806 con GSD impostato a 5, equivalente a 0.005 m; texture: assente e da triangolare; ruolo dell'operatore nella generazione del modello: minimo).



Fig. 9 – Modello 3D ottenuto attraverso Bundler + PMVS.



Fig. 10 – Modello 3D ottenuto attraverso UMap.

La sperimentazione di questi software free ne ha messo in evidenza alcuni limiti. Sebbene alcuni di questi non tendano alla produzione di modelli 3D per scopi professionali, la maggior parte risulta totalmente automatica nella generazione del modello finale, riducendo notevolmente il controllo da parte dell'operatore delle fasi di costruzione del modello 3D, fino a volte ad annullarlo. Riscontriamo inoltre la totale assenza per alcuni software dell'im-

missione dei parametri relativi alla camera utilizzata e alla calibrazione degli obiettivi. In ultimo, la triangolazione dei punti che compongono il modello non segue parametri definiti dall'utente, ma piuttosto, come nel caso di 123D Catch, tende a collegare tutti i punti della nuvola, riempiendo in automatico le eventuali lacune presenti nel modello, portando così ad un prodotto "falsificato" rispetto all'oggetto originale.

5. CONCLUSIONI

I progetti presentati, sebbene completamente diversi per finalità, tipologia di manufatto e tecniche di rilievo utilizzate, ci hanno portato ad elaborare alcune riflessioni sui metodi di registrazione impiegati. Un primo punto su cui vale la pena soffermarsi risiede nella scelta degli strumenti di rilievo; sebbene molti fattori incidano sull'uso di una tecnologia piuttosto che un'altra (in primis quelli economici), la nostra esperienza ci porta ad affermare che quando possibile l'integrazione fra strumenti di rilievo diversi, di cui vengono sfruttate le singole peculiarità e i punti di forza, risulta la strada migliore da percorrere. Il problema maggiore risiede nella gestione integrata dei prodotti in nuvola di punti generati attraverso queste tecnologie.

Una seconda riflessione che nasce dalle nostre esperienze e dal confronto con altri gruppi di ricerca riguarda i software open source. A nostro avviso documentare archeologicamente un qualsiasi manufatto attraverso questo tipo di software è attualmente prematuro; sebbene alcuni di questi programmi (molti dei quali citati e analizzati in REMONDINO, EL-HAKIM 2006) risultino veloci nella creazione dei modelli 3D ed in alcuni casi registrino una notevole quantità di informazioni, rischiano di allontanare l'archeologo da alcuni punti fissi indispensabili in qualsiasi lavoro, come la gestione nel processamento del modello e i parametri di accuratezza e precisione.

Al contrario l'utilizzo di questi programmi, per scopi divulgativi e per registrare velocemente lo stato di fatto di un manufatto in un determinato momento storico, è attualmente una strada percorribile. D'altro canto è utile sottolineare la progressiva e frenetica evoluzione degli strumenti in commercio e le caratteristiche di alcuni software di gestione e modellazione open source (ad es. MeshLab, Blender, etc.) che risultano ad oggi molto competitivi e offrono risultati stupefacenti in linea con i software commerciali; tutto ciò dovrebbe preludere ad un miglioramento consistente anche dei software open source in fotogrammetria. Discorso a parte concerne il panorama dei software low-cost/high-cost; in questo caso, trattandosi di programmi professionali che spesso presentano caratteristiche comuni, varrebbe la pena un confronto mirato su un contesto specifico.

Concludendo, a livello comunicativo rimangono ancora due nodi da sciogliere: le forme di comunicazione del lavoro archeologico attraverso i

modelli 3D generati dal rilievo (FIORINI, ARCHETTI 2011) al grande pubblico e non solo (ad es. committenza, gruppi di lavoro diversi, comunità scientifica, etc.) e la necessità di un maggiore dialogo fra chi modifica e produce algoritmi e chi invece ne diverrà l'utilizzatore finale.

ANDREA ARRIGHETTI
Dipartimento di Archeologia
e Storia delle Arti
Università degli Studi di Siena

BIBLIOGRAFIA

- ANDREWS D. (ed.) 2009, *Metric Survey Specification for Cultural Heritage*, Swindon, English Heritage.
- ARRIGHETTI A., GILENTO P., MANGANELLI DEL FÀ R., PARENTI R., TIANO P. 2011, *L'innovazione nella registrazione della struttura materiale. La sperimentazione di tecniche di rilievo e monitoraggio di costo limitato*, in G. BISCONTIN, G. DRIUSSI (eds.), *Governare l'innovazione. Processi, strutture, materiali e tecnologie tra passato e futuro. Atti del Convegno Internazionale di Studi (Bressanone 2011)*, Venezia, Arcadia Ricerche, 233-242.
- ARRIGHETTI A., GILENTO P. 2012, *Dallo scavo all'edificio: esperienze di registrazione tridimensionale a confronto*, in S. GIANOLIO (ed.), *Archeologia Virtuale. La metodologia prima del software. Atti del II Seminario Nazionale di Archeologia Virtuale (Roma 2011)*, Roma, Espera, 49-67.
- BERALDIN J.-A. 2004, *Integration of laser scanning and close-range photogrammetry. The last decade and beyond*, in *Proceedings of the XX ISPRS Congress, Istanbul, Turkey, Commission VII*, Istanbul, Turkey, 972-983.
- CAPRIOLI M., MINCHILLI M., SCOGNAMIGLIO A. 2011, *Experiences in photogrammetric and laser scanner surveying of architectural heritage*, in *XXIII International CIPA Symposium*, Prague, Czech Republic (<http://cipa.icomos.org/index.php?id=69/>).
- FIORINI A., ARCHETTI V. 2011, *Fotomodellazione e stereofotogrammetria per la creazione di modelli stratigrafici in archeologia dell'architettura*, «Archeologia e Calcolatori», 22, 139-156.
- GUIDI G., REMONDINO F., RUSSO M. 2011, *Principali tecniche e strumenti per il rilievo digitale in ambito archeologico*, «Archeologia e Calcolatori», 22, 169-198.
- REMONDINO F., EL-HAKIM S. 2006, *Image-based 3D modelling: A review*, «The Photogrammetric Record», 21, 115, 269-291.
- SALONIA P., LETI MESSINA T., MARCOLONGO A., SCOLASTICO S. 2009, *Three focal photogrammetry application for multi-scale and multi-level cultural heritage survey, documentation and 3D reconstruction*, in *Proceedings from XXII International CIPA Symposium Digital Documentation, Interpretation & Presentation of Cultural Heritage*, Kyoto, Japan (<http://cipa.icomos.org/index.php?id=64/>).
- TIANO P., SALVO P., CECCARONI F. 2009, *The microphotogrammetry as a portable diagnostic tool for monumental surface monitoring*, in *Proceedings of the DGaO/SIOF Joint Meeting, (Brescia 2009)*, Erlangen (http://www.dgao-proceedings.de/download/110/110_a27.pdf).

ABSTRACT

In the last few years in Italy the scientific community has increasingly focused its interest on the documentation of Cultural Heritage. The evolution of relief and modeling technologies combined with an outstanding variety of software and hardware available on the market and online has allowed an increasing number of operators to produce three-dimensional models, to elaborate new reflections, studies and popular products. In the archaeological relief field, after an early preponderance of laser tools, interest has recently shifted towards photogrammetric tools, with a switch from stereo-photogrammetry to bundle reconstruction through commercial and open source software available online. In the field of Building Archaeology, the technological evolution has allowed us to continually set new goals, from the increasingly detailed three-dimensional recording of buildings, to the representation of realistic models of the construction phases and the demolition of the buildings over time. This article attempts to illustrate, through the presentation of some projects of the Laboratory of Building Archaeology of the University of Siena, the “mental structure” existing before the material one, that is behind the recording of the construction characteristics of a building, by focusing on the factors that are at the base of the choice of a particular survey system and on the consequent possibilities in generating and managing three-dimensional models.