

MASTER UNIVERSITARIO DI II LIVELLO
IN SISTEMI INFORMATIVI TERRITORIALI E Telerilevamento
ANNO ACCADEMICO 2011/2012

**FOTOGRAMMETRIA SPEDITIVA PER LA GENERAZIONE DI NUVOLE DI PUNTI
3D COLORATE NEL SETTORE APPLICATIVO DEI BENI CULTURALI: LA TECNICA
ZSCAN EVO PER IL RILIEVO DI PARETI E SOFFITTI DECORATI A MOSAICO**

**Presentata da:
NUNZIATINA FRAGALE**

RIASSUNTO

Il presente elaborato illustra le attività svolte durante il periodo di stage presso la Menci Software, azienda che si occupa di sviluppo software per il rilievo metrico tridimensionale.

L'obiettivo primario è stato quello di testare il nuovo sistema di rilievo ZScan EVO, innovativa soluzione hardware e software che permette di ricostruire modelli tridimensionali densi a partire da blocchi di immagini scattate a mano libera e senza l'ausilio di barra fotogrammetrica.

L'approccio a ZScan EVO è stato utilizzato per il rilievo 3D di alcuni lacerti musivi di epoca romana del Museo Archeologico Gaio Clinio Mecenate di Arezzo e dei mosaici che decorano le volte a crociera della cripta di Sant'Emidio ad Ascoli Piceno.

In questo lavoro vengono presentate le procedure e i risultati di ogni rilievo effettuato. L'elaborazione dei dati con il software di ricostruzione UMap ha permesso la generazione nuvole di punti 3D texturizzati e ad alta densità. Per ciascuno degli elementi rilevati sono stati generati modelli digitali di elevazione e ortofoto ad altissima risoluzione.

I risultati ottenuti mostrano i pregi e difetti del sistema di ricostruzione ZScan EVO applicato alle superfici musive e dimostrano che questo software può essere applicato efficacemente a questo settore dei beni culturali.

ABSTRACT

The present study illustrates the activities carried out during the period of internship at Menci Software, a company that deals with software development for three-dimensional metric survey.

The aim of this work is to test the system ZScan EVO, a new Hardware and Software solution that allows to create dense three-dimensional models starting from block of digital images taken without the use of photogrammetric bar.

ZScan EVO has been used to survey several Roman mosaics preserved into the Archaeological Museum "Gaio Clinio Mecenate" in Arezzo and the mosaicked vaults in the Sant'Emidio's crypt in Ascoli Piceno.

This paper presents the procedures and the results of every survey.

The Umap Software has been used to create a high density 3D point cloud from which a Digital Elevation Model and high resolution orthophotos has been generated.

Results achieved by different tests, showing strengths and weaknesses of ZScan EVO system applied to mosaics, prove that this software can be successfully employed to survey this type of cultural heritage.

INDICE

INTRODUZIONE	5
LA FOTOGRAMMETRIA DIGITALE APPLICATA AL RILIEVO DEI BENI CULTURALI	7
LA FOTOGRAMMETRIA	7
L'AVVENTO DEL DIGITALE	8
IL RILIEVO DEI BENI CULTURALI	8
L'ESPERIENZA DI MENCI SOFTWARE	9
DESCRIZIONE E ANALISI DEI DATI DI PARTENZA	10
METODI, STRUMENTI E PROCEDURE	12
LA STRUMENTAZIONE HARDWARE E SOFTWARE Z-SCAN EVO	12
PROCEDURE DI ACQUISIZIONE ED ELABORAZIONE DATI	13
RILIEVI PREPARATORI	15
SANTA MARIA DELLE GRAZIE, AREZZO	22
MUSEO ARCHEOLOGICO GAIO CLINIO MECENATE DI AREZZO	24
LA CRIPTA DI SANT'EMIDIO AD ASCOLI PICENO	30
RISULTATI E DISCUSSIONE	37
CONCLUSIONI	39
RINGRAZIAMENTI	40
BIBLIOGRAFIA	41

INDICE DELLE ILLUSTRAZIONI

FIGURA 1: VISTA ZENITALE DEL MODELLO E DISPOSIZIONE DEI CENTRI DI PRESA	19
FIGURA 2: PIEVE DI SANTA MUSTIOLA: MODELLO 3D DELL'ABSIDE E DISPOSIZIONE DEI CENTRI DI PRESA DELLA CAMERA	20
FIGURA 3: MODELLO 3D DEL SOFFITTO DEL PORTICO E POSIZIONE DEI CENTRI DI PRESA	22
FIGURA 4: DEM DEL SOFFITTO DEL PORTICO	23
FIGURA 5: PROFILO DELLA ROSETTA AL CENTRO DEL CASSETTONE	23
FIGURA 6: ORTOFOTOMOSAICO DEL SOFFITTO A CASSETTONI DEL PORTICO	23
FIGURA 7: ORTOFOTOMOSAICO DEL MOSAICO 24664	25
FIGURA 8: ORTOFOTOMOSAICO DEL MOSAICO 24642	26
FIGURA 9: MODELLO 3D DEL MOSAICO 24661	27
FIGURA 10: ORTOFOTOMOSAICO DEL MOSAICO 24661	28
FIGURA 11: PARTICOLARE 1:1 DELL'ORTOFOTO DEL MOSAICO 24661	28
FIGURA 12: ORTOFOTOMOSAICO DEL FRAMMENTO 24659	29
FIGURA 13: ORTOFOTOMOSAICO DELLA LUNETTA "PROCESSIONE DI PENITENZA"	31
FIGURA 14: MODELLO 3D DELLA VOLTA LATERALE E DISPOSIZIONE DEI CENTRI DI PRESA	32
FIGURA 15: ORTOFOTO DELLA VOLTA LATERALE	33
FIGURA 16: ORTOFOTOMOSAICO DELLA VOLTA LATERALE	33
FIGURA 17: MODELLO 3D E DISPOSIZIONE DEI CENTRI DI PRESA DELLA VOLTA A CROCIERA CENTRALE	34
FIGURA 18: DEM DELLA VOLTA CENTRALE	35
FIGURA 19: ORTOFOTO DELLA VOLTA CENTRALE	35

FIGURA 20: ORTOFOTOMOSAICO DELLA VOLTA CENTRALE	35
FIGURA 21: PARTICOLARE 1:1 DELLE TESSERE MUSIVE DELL'ORTOFOTO DELLA VOLTA CENTRALE	36
FIGURA 22: VISTE 3D DEL MODELLO REGISTRATO	36

INDICE DELLE TABELLE

TABELLA 1: DESCRIZIONE DELLE ATTIVITÀ SVOLTE	6
TABELLA 2: GANTT CHART. IN GRIGIO LE ATTIVITÀ PRATICHE, IN NERO QUELLE DI RICERCA BIBLIOGRAFICA E ELABORATO	6

INTRODUZIONE

Nell'ambito delle attività pratiche del Master di II livello in Sistemi Informativi Territoriali e Telerilevamento ho avuto la possibilità di svolgere il mio progetto formativo presso l'azienda Menci Software di Arezzo¹.

Azienda leader nel rilievo metrico e computer vision, la Menci Software si occupa da anni di sviluppare nuove e innovative tecniche di rilievo tridimensionale e di creare algoritmi di elaborazione dati per la misura da immagini e per la ricostruzione tridimensionale da immagini digitali, per il disegno e la mappatura cartografica.

Le attività svolte durante il progetto formativo sono state le seguenti:

- studiare le tecniche fotogrammetriche in particolare riferimento ai beni culturali;
- studiare e conoscere le attività della Menci Software;
- studiare il funzionamento dei Software UMap e ZMap;
- testare il sistema ZScanEVO su nuovi campi di applicazione;
- fornire dei report di efficacia;
- elaborare i risultati;
- produrre dei tutorial a scopo didattico.

L'obiettivo del progetto formativo è stato quello di testare il sistema ZScan EVO per individuare nuovi possibili campi di applicazione.

Sulla base delle esigenze aziendali ci siamo voluti concentrare sul rilievo di superfici musive e soffitti affrescati o decorati a mosaico, in particolare i mosaici romani bicromi e policromi conservati al Museo Archeologico Gaio Clinio Mecenate di Arezzo e i mosaici policromi della cripta di Sant'Emidio nel Duomo di Ascoli Piceno.

Queste attività sono state precedute da un periodo di formazione e di approccio conoscitivo ai prodotti hardware e software. Questo periodo mi ha permesso prendere coscienza delle potenzialità della strumentazione e soprattutto di arrivare sufficientemente preparata al rilievo delle superfici musive. Inoltre, ho potuto potenziare le mie conoscenze pregresse sulla fotogrammetria e sul trattamento e produzione di DEM, ortofoto e ortofotomosaici.

Di seguito (Tab. 1) si riportano in dettaglio le attività seguite ed affrontate secondo degli step progressivi:

¹ www.menci.com

	Attività svolte
1	Conoscenza dell'azienda Studio dei documenti e dei lavori svolti negli anni precedenti Ricerca bibliografica
2	Prove operative della strumentazione hardware Elaborazione dati
3	Rilievi ed elaborazioni:
3.1	Museo Archeologico di Arezzo
3.2	Santa Maria delle Grazie
3.3	Cripta del Duomo di Ascoli
4	Preparazione delle presentazioni e dei video tutorial sui prodotti UMap e ZMap
5	Stesura dell'elaborato finale

TABELLA 1: DESCRIZIONE DELLE ATTIVITÀ SVOLTE

Le attività presentate nella Tab. 1 sono riportate di seguito in un grafico Gantt (Tab. 2), per una visualizzazione completa del mio percorso di tirocinio.

Attività	Luglio				Settembre				Ottobre				Novembre	
	sett1	sett2	sett3	sett4	sett5	sett6	sett7	sett8	sett9	sett10	sett11	sett12	sett13	sett14
1														
2														
3,1														
3,2														
3,3														
4														
5														

TABELLA 2: GANTT CHART. IN GRIGIO LE ATTIVITÀ PRATICHE, IN NERO QUELLE DI RICERCA BIBLIOGRAFICA E ELABORATO

LA FOTOGRAMMETRIA DIGITALE APPLICATA AL RILIEVO DEI BENI CULTURALI

LA FOTOGRAMMETRIA

La fotogrammetria² è la scienza che si occupa di rilevare oggetti nella realtà ottenendo e fornendo informazioni metriche senza operare direttamente sull'oggetto ma attraverso una serie di operazioni effettuate sulle immagini fotografiche, siano esse analogiche o digitali. Le informazioni ricavate possono essere sia di natura quantitativa che qualitativa.

All'interno dell'attività di rilievo fotogrammetrico possiamo distinguere due principali campi applicativi: il rilievo topografico e il rilievo architettonico. Il rilievo topografico implica l'utilizzo della fotogrammetria aerea o altrimenti detta fotogrammetria dei lontani (long range photogrammetry), in cui l'oggetto da rilevare si trova ad una distanza maggiore di 300 metri; il rilievo architettonico utilizza invece la tecnica nota come fotogrammetria terrestre o fotogrammetria dei vicini (close range photogrammetry), che si occupa del rilievo di oggetti posti entro il raggio di 300 metri.

La fotogrammetria lega insieme le regole della geometria proiettiva³ alle proprietà ottiche della fotografia e, malgrado la prima fosse già stata teorizzata dai grandi artisti del Rinascimento, solo con l'invenzione della fotografia è stato possibile applicare sul campo i principi teorici della disciplina⁴.

² Non si vuole assolutamente fornire una descrizione dettagliata della materia, quello che segue è dunque un accenno e un'introduzione indicativa alla fotogrammetria. Non essendo, dunque, questa la sede per un approfondimento, si rimanda a manuali e testi teorici, di varia ampiezza di trattazione, sulla scienza fotogrammetrica: CUNDARI 1983; FONDELLI 1992; KRAUS 1994; SELVINI-GUZZETTI 2000; DOCCI-MAESTRI 2009; SACCARDI 1991; BEZOARI *et al.* 1984; SALVINI S.D; MENCI-CECCARONI 2003; GOMARASCA 2009.

³ Vd. SACCARDI 1991; LONG 2005.

⁴ L'accademico e fisico francese Arago, fu il primo a occuparsi di questo problema; nel 1839 presentò la fotografia all'accademia delle Scienze francese prospettandone la piena potenzialità metrica. Negli anni 1859-61 il colonnello francese A. Laussedat presentò i primi esperimenti fotogrammetrici discretamente riusciti. Per una panoramica storica dell'evoluzione della scienza fotogrammetrica. Cfr. la voce "Fotogrammetria" in [http://www.treccani.it/enciclopedia/fotogrammetria_\(Enciclopedia-Italiana\)/](http://www.treccani.it/enciclopedia/fotogrammetria_(Enciclopedia-Italiana)/)

L'AVVENTO DEL DIGITALE

Grazie al passaggio alle tecnologie digitali, la fotogrammetria ha conosciuto nuovi e interessanti sviluppi; di conseguenza anche i campi applicativi si sono moltiplicati, favoriti dalla crescente diffusione di strumentazioni per l'acquisizione e restituzione dei dati⁵.

Il digitale ha permesso inoltre di ridurre i tempi di acquisizione e di conseguenza ha ridotto le spese in termini sia di risorse umane sia di risorse economiche. La possibilità, inoltre, di poter gestire una grande mole di dati ha consentito di accelerare i tempi di post-produzione arrivando alla produzione di DEM (Digital Elevation Model), ortofoto, cartografia e curve di livello in tempi decisamente minori rispetto al passato.

Tra le maggiori innovazioni e vantaggi si ricorda che, con il passaggio dalle copie fotografiche analogiche alle copie digitali si è potuto superare il problema della deformazione delle foto dovuta al tempo, usura e condizioni climatiche. Inoltre, si è passati dagli stereorestitutori analogici a postazioni software, che attraverso lo sviluppo di nuovi algoritmi di elaborazione permettono di automatizzare processi come ad esempio quello per il calcolo dell'orientamento sia interno che esterno o per l'estrazione di modelli digitali di elevazione.

IL RILIEVO DEI BENI CULTURALI

Il settore dei Beni Culturali, negli ultimi anni, è stato interessato fortemente dall'impiego di tecnologie di rilievo tridimensionale⁶. La necessità di documentare, in tempi brevi e con costi contenuti, sia grandi aree territoriali⁷ sia singoli dettagli architettonici, ha indotto studiosi, ricercatori e aziende che operano nel settore a sviluppare strumentazioni e apparati software intuitivi e di semplice utilizzo in modo tale da permettere di effettuare un rilievo preciso svincolandolo dalla necessità di esecuzione da parte di tecnici o ingegneri esperti di fotogrammetria.

Nell'ambito della conservazione e del restauro, le applicazioni della fotogrammetria digitale garantiscono una grande precisione, permettendo inoltre una significativa semplificazione delle operazioni di indagine necessarie per identificare lo stato di conservazione dei soggetti rilevati e fornendo una base di partenza per le successive operazioni di intervento. Importanti sono anche gli interventi volti al recupero e la salvaguardia dei beni culturali e che si servono delle moderne tecniche di rilievo per

⁵ MARANGONI – GEDDO 1996.

⁶ Per un approfondimento sulle tecnologie a servizio dei beni culturali si veda: BALLETTI-GUERRA 2006; BIANCHINI 2008; BITELLI 2002; BITELLI *et al.* 2007; BONORA *et al.* 2007; FABRIS *et al.* 2010;

⁷ Nota su fotogrammetria per l'archeologia BONORA 2003; CAIROLI GIULIANI 1976; CAMPANA – FORTE 2001; CERAUDO 1999.

pianificare le metodologie operative⁸.

Con la diffusione delle tecniche di restauro virtuale, tecnica utilizzata in principio soprattutto a scopo divulgativo, si assiste sempre più spesso a lavori volti alla ricostruzione virtuale di manufatti antichi con l'ausilio della computer grafica. Questi lavori devono essere intesi sia come ricostruzione ideale del manufatto ma anche e soprattutto come verifica e sintesi dei dati analitici⁹. Negli ultimi anni inoltre, l'avvento della realtà aumentata (Augmented Reality) ha aperto nuove frontiere per la diffusione e la valorizzazione dei beni culturali, abbattendo i confini del museo o dell'esposizione e permettendo una fruizione totale e oltre i confini del reale¹⁰.

In questa chiave di lettura è possibile considerare dunque la fotogrammetria digitale come uno strumento capace di fornire elaborati dai quali ottenere sia una corretta rappresentazione grafica sia una accurata conoscenza delle caratteristiche qualitative dell'oggetto rilevato.

L'ESPERIENZA DI MENCI SOFTWARE

Le soluzioni software proposte da Menci coprono una vasta gamma di applicazione che vanno dalla fotogrammetria aerea a quella terrestre. Una grande importanza è data allo sviluppo di soluzioni software per il rilievo da drone a rotore o planante (UFLY), i cui campi di applicazione vanno dalla geologia alla cartografia. L'azienda si occupa inoltre di gestione e analisi di immagini satellitari, dell'utilizzo di tecniche fotogrammetriche per il rilievo di deformazioni in seguito ad incidenti stradali o per il rilievo planimetrico per incidenti stradali (Policemap, DISPLAN)¹¹, fino all'uso della fotogrammetria tridimensionale in campo biomedico. Inoltre, l'azienda sviluppa software per la gestione e la presentazione dei dati 3D tramite un ambiente grafico rapido ed intuitivo che permette di poter aggiungere alla visualizzazione 3D dei collegamenti a risorse web, immagini, ortofoto, file vettoriali CAD (SiteManager).

Nell'ambito della mia esperienza, è fondamentale citare l'apporto che l'azienda ha fornito al campo dei beni culturali¹². Primo fra tutti ZScan, innovativo strumento per l'acquisizione di nuvole di punti mediante l'uso di una camera fotografica digitale, una slitta di precisione e un software basato su un algoritmo proprietario per l'analisi multifocale dell'immagine. I risultati sono accurati sia geometricamente che cromaticamente. Il sistema software lavora su triplette di immagini, scattate da una

⁸ DOMINICI *et al.* 2000.

⁹ LIMONCELLI 2012.

¹⁰ BARCELO *et al.* 2000; NICCOLUCCI 2000; CAPRIOLI *et al.* 2003; BORRA 2000; UNGARO *et al.* 2010.

¹¹ MENCI *et al.* 2008.

¹² È da segnalare che l'applicazione dello strumento non è limitata al campo dei beni culturali. ZScan è infatti utile anche per il rilievo in architettura, beni culturali, restauro, archeologia, micro modellazione, perizie giudiziarie, mobile mapping, misure industriali, reverse engineering, scienze naturali.

barra a ricircolo di sfere, attraverso un algoritmo di analisi multifocale dell'immagine che genera il modello 3D. L'acquisizione non prevede dunque l'utilizzo di un laser scanner, abbattendo conseguentemente i costi di realizzazione del rilievo. Tra i vari ambiti di applicazione ricordiamo i più importanti realizzati da privati o Università in collaborazione con Menci Software: la creazione di un database CAD a partire dal rilievo fotogrammetrico della facciata del Duomo di Milano in collaborazione con ENI¹³, il Castello di Shawbak in Giordania in collaborazione con l'Università di Firenze¹⁴, il relitto di San Pietro in Bevagna a Taranto promosso dall'Istituto Superiore per la Conservazione ed il restauro¹⁵, la Chiesa di San Pietro a Coppito (AQ) in collaborazione con l'Università di Siena¹⁶, la statua di Ercole e Caco in Piazza della Signoria a Firenze (CNR-ICVBC)¹⁷, l'area dello stadio olimpico di Torino in collaborazione con il Politecnico di Torino¹⁸, l'anfiteatro di Lucca¹⁹, il Palace Tomb di Petra in Giordania (CNR-ITABC)²⁰, il rilievo del telamone del tempio di Zeus Olimpo ad Agrigento in collaborazione con l'Università di Palermo²¹.

DESCRIZIONE E ANALISI DEI DATI DI PARTENZA

Il periodo di stage presso l'azienda Menci è iniziato con la formazione teorica e con l'approfondimento delle tradizionali tecniche fotogrammetriche. Questo primo passaggio è stato seguito dall'analisi dei prodotti aziendali per meglio conoscere le applicazioni e le finalità proprie di ogni software sviluppato negli anni e per arrivare preparata alla fase di sperimentazione. Ho quindi effettuato uno spoglio dei documenti, degli articoli prodotti a seguito di sperimentazioni e applicazioni eseguite da parte della stessa azienda, da istituzioni, università o da studi privati. Attraverso questo studio ho potuto valutare non solo quali tecniche sono da preferire ad altre ma soprattutto il reale apporto di conoscenza e tecnica che la fotogrammetria ha fornito negli anni. Questo tipo di approccio è stato fondamentale nella preparazione ai successivi rilievi metrici che ho affrontato sia in autonomia che con l'ausilio dei tecnici della Menci, sempre disponibili a fornirmi assistenza in ogni fase del mio progetto.

Lo scopo del mio progetto è stato testare il pacchetto ZScan EVO, evoluzione del precedente ZScan²².

¹³ GIUNTA *et al.* 2005

¹⁴ VANNINI 2009.

¹⁵ PETRIAGGI *et al.* 2010.

¹⁶ PARENTI *et al.* 2010.

¹⁷ TIANO *et al.* 2008.

¹⁸ NEX – RINAUDO 2008.

¹⁹ CAMIN *et al.* 2010.

²⁰ GABRIELLI *et al.* 2008.

²¹ LO BRUTTO – SPERA 2011.

²² CASELLA *et al.* 2006; CECCARONI 2005; MENCI – CECCARONI 2008; MENCI 2004.

ZScan EVO si svincola dalla necessità di scattare delle triplette di foto ma, a partire da blocchi di immagini scattate a mano libera, ricostruisce i modelli tridimensionali in automatico grazie ad un innovativo algoritmo di ricostruzione 3D che genera una nuvola di punti RGB a densità parametrizzabile.

Il pacchetto software prevede l'utilizzo delle seguenti soluzioni:

EVO CAPTURE: è un software associato al tablet da utilizzare al momento del rilievo e consente di visualizzare il *live view* della fotocamera, memorizzando la sequenza delle strisciate e verificando la zona di sovrapposizione (overlap) delle foto.

EVO CHECK: software che installato sul PC da campo permette la verifica preliminare della nuvola di punti ottenuta.

UMAP: è un software di ricostruzione tridimensionale che permette di importare un numero illimitato di immagini da cui si ricava, in modalità totalmente automatica un modello 3D a nuvola di punti RGB, questo modello avrà densità parametrizzabile e scalabile sulla base dei punti rilevati a terra. I colori della nuvola sono fedeli alla realtà in quanto i punti acquisiscono direttamente i colori delle foto.

AFTERWORK: software di post produzione, che rielabora e semplifica i modelli 3D prodotti da *U-Map*.

Per quanto riguarda la parte di applicazione alle superfici musive è stata mia cura effettuare una ricerca bibliografica sui lavori effettuati negli scorsi anni sui pavimenti e sulle superfici a mosaico²³. Di grande importanza i rilievi del pavimento musivo di San Marco a Venezia²⁴ che hanno portato alla produzione di ortofoto digitali 3D²⁵. Studi recenti hanno dimostrato la validità dell'uso di tecniche fotogrammetriche per il rilievo in dettaglio delle superfici musive associandole ai rilievi con il laser scanner²⁶.

²³ Vd. BOGDANI *et al.* 2007; DE FELICE *et al.* 2007; GUIDI *et al.* 2002; TUCCI *et al.* 2009.

²⁴ ACHILLE *et al.* 2002; ACHILLE 2005.

²⁵ MONTI *et al.* 1991.

²⁶ MONTI - MAINO 2012.

METODI, STRUMENTI E PROCEDURE

LA STRUMENTAZIONE HARDWARE E SOFTWARE Z-SCAN EVO

L'attrezzatura hardware di ZScan EVO, utilizzata durante i miei rilievi, si compone di:

- asta topografica con testa tilt regolabile e inclinabile;
- Porta-tablet e braccetto di collegamento all'asta ;
- macchina fotografica Canon EOS 600D;
- obiettivo standard 18-55 mm, calibrato presso i laboratori Menci;
- cavo USB della camera;
- prolunga del cavo USB che permette di potere utilizzare l'asta topografica fino alla massima estensione in altezza (5 m).

Oltre all'attrezzatura standard EVO, a seconda delle necessità caratterizzanti di ogni rilievo, ho utilizzato:

- Canon EOS 400D
- barra ZScan: slitta di precisione con carrello a ricircolo di sfere di 900 mm di lunghezza e con testa tilt regolabile;
- pulsante di scatto remoto;
- sistema di illuminazione con softbox e stativo;
- treppiede con testine intercambiabili;
- obiettivi calibrati da 20mm, 24mm e 35mm.

Il pacchetto di software utilizzati in questo mio progetto sono:

EVOCapture è un software installato sul tablet e che, collegato alla camera tramite USB, permette di visualizzare in tempo reale l'area inquadrata dalla camera. Utilizzato durante rilievi eseguiti per strisciate consecutive permette di verificare la sovrapposizione degli scatti e, se la sovrapposizione non è sufficiente, impedisce lo scatto suggerendo al rilevatore di modificare l'area inquadrata.

UMap è l'innovativo software di ricostruzione tridimensionale che elabora immagini scattate in sequenza e a mano libera. Inserendo il certificato di calibrazione della camera, calcola in automatico la posizione dei centri di presa della camera ed effettua il bundle. Il modello può essere poi scalato e georeferenziato. Il risultato è una nuvola di punti RGB ad alta definizione e a densità definita dall'utente.

ZMap è una stazione fotogrammetrica multi-sensore per la produzione e l'elaborazione di dati cartografici e architettonici. Permette di gestire DTM (Digital Terrain Model) acquisiti con diverse tecnologie, foto aeree e da satellite, ortofoto e ortomosaici, cartografia vettoriale e nuvole di punti. Il CAD proprietario presente all'interno dell'applicativo consente di applicare numerose funzioni di editing sia alla nuvola di punti che ai DEM.

Nell'ambito del progetto, non sono state utilizzate tutte le potenzialità del software ma solo le funzioni di post-processing della nuvola e quindi pulizia dei punti, produzione di DEM, profili, ortofoto e generazione ed editazione delle linee di taglio e ortofotomosaici.

ZMap-Flat è un modulo di ZMap e comprende le funzionalità necessarie allo sviluppo di una superficie a singola curvatura in vista piana.

PROCEDURE DI ACQUISIZIONE ED ELABORAZIONE DATI

Operazioni preliminari

Prima di ogni rilievo è necessario effettuare alcuni semplici passaggi dopo i quali può iniziare il rilievo vero e proprio.

- Assemblaggio attrezzatura e collegamento cavi (in generale il tempo necessario per l'assemblaggio è di circa 10 minuti).
- Posizionamento e misurazione distanza tra target.

La prima operazione consiste nel posizionamento dei target necessari per segnalare i punti d'appoggio che serviranno a scalare i modelli ottenuti ed eventualmente, se vi fossero più modelli della stessa area, ad unirli in un unico modello. Questa soluzione si adotta nel caso non si disponga di una Stazione Totale di appoggio per il rilievo topografico dei punti. Vengono effettuate delle misure tra i target, prendendo nota delle distanze ed avendo cura di annotare l'unità di misura²⁷. A questo punto è possibile iniziare il rilievo fotografico.

Procedure di rilievo

Il rilievo deve essere effettuato scattando delle foto sequenziali con overlap di almeno il 70%. Ogni strisciata deve sovrapporsi con la precedente con un sidelap di almeno il 50%.

Ai fini di una corretta ricostruzione 3D ogni punto da rilevare deve essere inquadrato da almeno 3 foto; questo passaggio è fondamentale per evitare potenziali "buchi" nel modello. Inoltre, scattare delle foto in più può essere d'aiuto nell'eventualità alcune di queste vengano mosse, sfuocate o non esposte correttamente. Le foto

²⁷ Per potere scalare il modello è necessario individuare almeno due punti target.

superflue e ridondanti possono essere scartate per agevolare la procedura di ricostruzione; al contrario la mancanza di foto di una determinata zona compromette la buona ricostruzione e la densità costante del modello.

Ricostruzione modello 3D

Al termine delle fasi di rilievo, le immagini vengono importate nel software di ricostruzione UMap e attraverso delle procedure completamente automatizzate si avvia la ricostruzione del modello . Il Workflow prevede:

- *Add Images*: importazione delle immagini;
- *Do Bundle*: Il bundle consiste nella ricerca dei punti di legame (Finding Features), correlazione automatica dei punti (Matching Features) e infine la compensazione a stelle proiettive (Bundle Adjustment). Al termine delle operazioni è possibile visualizzare il modello bundle con i punti presa della camera per le immagini che hanno contribuito alla ricostruzione del modello.
- *Scale Model*: attraverso questa l'opzione, utilizzando le coordinate locali dei punti target posizionati prima del rilievo è possibile scalare il modello.
- *Recostruction*: l'ultima operazione consiste nella effettiva ricostruzione del modello. Prima di ricostruire viene chiesto di indicare il passo di ricostruzione. Il valore indicato determinerà il GSD (Ground Sample Distance) e cioè la risoluzione del modello in termini di distanza media tra un punto 3D e l'altro (espressa nell'unità di misura impostata per la scalatura del modello), il GSD determina quindi la densità dei punti del modello.

Il modello generato è pronto per le successive elaborazioni.

Post-Processing

Le fasi di elaborazione della nuvola di punti hanno visto la generazione di prodotti a partire dalla nuvola di punti, le elaborazioni portate avanti dei seguenti lavori hanno previsto la produzione di:

- UCS (User Coordinate System), sistemi di riferimento definiti dall'utente che permettono la visualizzazione e la definizione di sistemi di riferimento locali;
- DEM (*Digital Elevation Model*): rappresentazione cromo-altimetrica raster delle quote di una superficie;
- Ortofoto, un'immagine di cui si conoscono le coordinate di riferimento spaziali associate ad ogni pixel ottenibile grazie ad un raddrizzamento prospettico o ad una proiezione; può essere usata per misurare distanze reali;
- Ortofotomosaico, risultato della composizione delle singole ortofoto.

RILIEVI PREPARATORI

La corretta esecuzione del rilievo è fondamentale per ottenere il migliore dei risultati²⁸. Malgrado la semplicità e l'intuitività del software di ricostruzione 3D UMap, una scorretta procedura di rilievo, sia per inesperienza sia per gli inconvenienti che spesso si incontrano sul campo, possono compromettere irrimediabilmente il risultato dell'intera operazione. Al momento del rilievo è possibile, infatti, incontrare difficoltà di ripresa a causa della presenza di ostacoli²⁹ che bloccano la visibilità o a causa di condizioni di illuminazione non favorevoli³⁰.

Fondamentale è la condizione di illuminazione; si deve controllare spesso l'esposizione ed evitare che le foto siano sovraesposte o, al contrario, sottoesposte.

Ho effettuato quindi numerose prove per prendere confidenza con la strumentazione hardware, concentrandomi soprattutto sulle modalità di rilievo e sulle impostazioni di presa della macchina fotografica.

Già in precedenza era stata sottolineata la difficoltà del software ad elaborare immagini che non si sovrapponevano in maniera adeguata, che fossero caratterizzate da eccessive variazioni tra luce e ombra, che fossero di numero non adeguato nel caso ci si trovi a rilevare angoli, insenature o curve³¹. I costanti aggiornamenti del software hanno comunque migliorato gli algoritmi di calcolo e colmato buona parte delle lacune ma l'aspetto del rilievo ricopre ancora un ruolo fondamentale.

Ho iniziato sin da subito ad esercitarmi mettendo in pratica tutti i passaggi fondamentali per l'esecuzione di un rilievo accurato. Questi primi rilievi sono stati documentati minuziosamente, annotando tutti i tempi necessari ai vari passaggi in modo tale da poterli utilizzare in presentazioni a scopo didattico.

Di seguito si riportano le procedure, i dati ed i risultati finali dei rilievi, in ordine cronologico, effettuati con la strumentazione ZScan EVO e la successiva elaborazione della nuvola di punti 3D, soffermandosi sui risultati rilevanti di ogni specifico caso trattato.

²⁸ A questo proposito si rimanda ai lavori di testing su Z-SCAN EVO nel 2011 da Debora Caldarelli. Cfr. CALDARELLI 2011, CALDARELLI *et al.* 2012.

²⁹ Tra le difficoltà maggiori di un rilievo all'aperto si segnalano: alberi addossati all'edificio, veicoli parcheggiati o, se si effettua un rilievo nelle vicinanze di un centro abitato, veicoli o persone in movimento.

³⁰ L'illuminazione esterna è condizionata dall'altezza del sole che generano ombre più o meno nette o dai bruschi passaggi da cielo nuvoloso a soleggiato: le conseguenze possono andare dal blocco del software per l'impossibilità di ricostruire il modello alla produzione di ortofoto con colori non omogenei.

³¹ CALDARELLI 2011.

Arezzo, loc. Tregozzano, Villa Guillichini

Come primo rilievo si è scelto di fotografare un soggetto di forma regolare ovvero un portone di servizio che dà accesso ai magazzini di Villa Guillichini. Sono state scattate 15 foto ed effettuate 3 strisciate.

Di seguito i risultati dell'elaborazione:

Soggetto rilevato: Portone verde

Rilievo

Camera utilizzata: CanonEOS 600D
Focale: 20 mm
Modalità: AV
Distanza di presa: 3 m
Foto: 15
Tempo rilievo: 15'

Elaborazione

Foto elaborate: 15
Tempo bundle: 00:03:04
Tempo di ricostruzione: 00:09:14
Step di ricostruzione: 10
Punti 3D: 173425

Arezzo, loc. Tregozzano, Villa Guillichini

Rilievo di un elemento in cemento con andamento verticale; sono state scattate 9 foto ed effettuate 3 strisciate.

Il software di ricostruzione UMap al momento del bundle è andato in blocco.

Soggetto rilevato: elemento verticale

Rilievo

Camera: Canon EOS 600D
Distanza focale: 20mm
Modalità: M
Distanza di presa: 5 m
Numero Foto: 9
Tempo rilievo: 10'

Arezzo, loc. Tregozzano, Villa Guillichini, Fontana

Il rilievo è stato diviso in due parti. La fontana è stata fotografata utilizzando la camera montata all'asta e le foto sono state scattate tramite il tablet; sono state eseguite 5 strisciate e scattate 25 foto.

Soggetto rilevato: Fontana

Rilievo

Camera: Canon EOS 600D
Distanza focale: 20 mm
Modalità: AV
Distanza di presa: 5 m
Numero Foto: 25
Tempi rilievo: 15'

Elaborazione

Foto elaborate: 18
Tempo bundle: 00:02:07
Tempo di ricostruzione: 00:07:51
Step di ricostruzione: 10
GSD: 1 cm
Punti 3D: 264763

In seguito è stato effettuato il rilievo del particolare della nicchia da distanza ravvicinata. Sono state effettuate 3 strisciate: la prima è stata realizzata con la macchina montata all'asta e con la testina inclinata di ca. 30° e scattando con il tablet, le ultime due sono state effettuate a mano libera perché l'altezza dell'asta impediva di riprendere in modo frontale la parte bassa della nicchia.

Soggetto rilevato: Nicchia

Rilievo

Camera: Canon EOS 600D
Distanza focale: 20 mm
Modalità di ripresa: AV
Distanza di presa: 1 m
Numero Foto: 27
Tempo per scatto delle foto: 20'

Elaborazione

Foto elaborate: 26
Tempo bundle: 00:06:40
Tempo di ricostruzione: 00:10:12
Step di ricostruzione: 10
GSD: 1 cm
Punti 3D: 235579

I due modelli sono stati uniti insieme attraverso la collimazione dei punti target. I punti sono stati inseriti sul software ZMap, è stato esportato il file di testo e poi è stato importato all'interno del software UMap, si è proceduto poi alla collimazione dei punti. Facendo ripartire la ricostruzione i due modelli sono stati registrati insieme

Arezzo, loc. San Polo, Pieve di San Paolo

La pieve di San Paolo risale al periodo paleocristiano. L'edificio infatti nel 1256 fu soggetto a un rifacimento romanico e nuovamente modificato in epoca medioevale. Esistevano due absidi laterali, andate perdute nel medioevo, mentre risalente al quattrocento è il campanile.

Sono stati effettuati i rilievi della facciata, del portone, dell'abside e un rilievo generale del retro della pieve. Tutti i rilievi sono stati eseguiti con la fotocamera montata all'asta e gli scatti effettuati con il tablet.

Soggetto rilevato: Facciata

Rilievo

Camera: Canon EOS 600D
Focale: 20 mm
Modalità: AV
Esposizione: - f/9
 - ISO-200
Distanza di presa: 10 m
Foto: 23
Tempi rilievo: 21'

Elaborazione

Foto elaborate: 23
Tempo bundle: 00:09:34
Tempo di ricostruzione: 00:32:14
Step di ricostruzione: 10
GSD: 2 cm
Punti 3D: 169159

Soggetto rilevato: Portone

Rilievo

Camera utilizzata: CanonEOS 600D
Focale: 20 mm
Modalità: AV
Esposizione: - f/9
 - ISO-200
Distanza di presa: 5 m
Foto: 21
Tempi rilievo : 15'

Elaborazione

Foto elaborate: 21
Tempo bundle: 00:06:50
Tempo di ricostruzione: 00:34:41
Step di ricostruzione: 10
GSD: 1 cm
Punti 3D: 372241

Soggetto rilevato: Abside esterna

Rilievo

Camera utilizzata: CanonEOS 600D
Focale: 20 mm
Modalità: AV
Esposizione: - f/9
 - ISO-200
Distanza di presa: 3 m
Foto: 70
Tempo rilievo: 45'

Elaborazione

Foto elaborate: 70
Tempo bundle: 00:32:00
Tempo di ricostruzione: 00:57:00
Step di ricostruzione: 10
GSD: 1,8 cm
Punti 3D: 624859

Soggetto rilevato: parte posteriore della chiesa

Rilievo

Camera utilizzata: CanonEOS 600D
Focale: 20 mm
Modalità: AV
Esposizione: - f/9
 - ISO-200
Distanza di presa: 10 m
Numero Foto: 35
Tempi rilievo: 20'

Elaborazione

Foto elaborate: 20
Tempo bundle: 00:12:00
Tempo di ricostruzione: 00:33:00
Step di ricostruzione: 10
GSD: 2,3 cm
Punti 3D: 317521

Statua

La statua oggetto del rilievo rappresenta una figura femminile con abito con panneggio e una brocca sulla spalla, è stato effettuato all'interno dell'azienda; la prima operazione è stata quella di creare uno sfondo adatto alla ripresa: l'utilizzo di un panno nero ha permesso di isolare il soggetto da rilevare rispetto allo sfondo non omogeneo. La statua, in gesso e ricoperta da uno strato di vernice riflettente, è stata illuminata in maniera tale da evitare contrasti tra zone in luce e zone in ombra, creando una condizione di luce diffusa ed uniforme. Non avendo a disposizione quindi particolari attrezzature per l'illuminazione, mi sono limitata a regolare le luci della stanza in maniera ottimale. Il rilievo è stato effettuato montando la macchina fotografica su un treppiede e lo scatto è stato effettuato attraverso il pulsante remoto; in questo modo è stato evitato ogni eventuale tremolio al momento dello scatto dovuto sia al movimento della camera sia alla pressione esercitata sul pulsante. La camera fotografica è rimasta immobile per tutto il rilievo mentre la statua è stata girata di ca. 15° ad ogni scatto (Fig. 1). Il modello è stato poi pulito dai punti ricostruiti del panno nero posto dietro.

Soggetto rilevato: statua

Rilievo

Camera: Canon EOS 400D

Focale: 35 mm

Modalità: AV

Esposizione: - f/5.6

- ISO-200

Distanza di presa: 1 m

Foto: 105

Tempo rilievo: 1 h

Elaborazione

Foto elaborate: 105

Tempo bundle: 00:18:00

Tempo di ricostruzione: 01:02:00

Step di ricostruzione: 10

Punti 3D: 267785

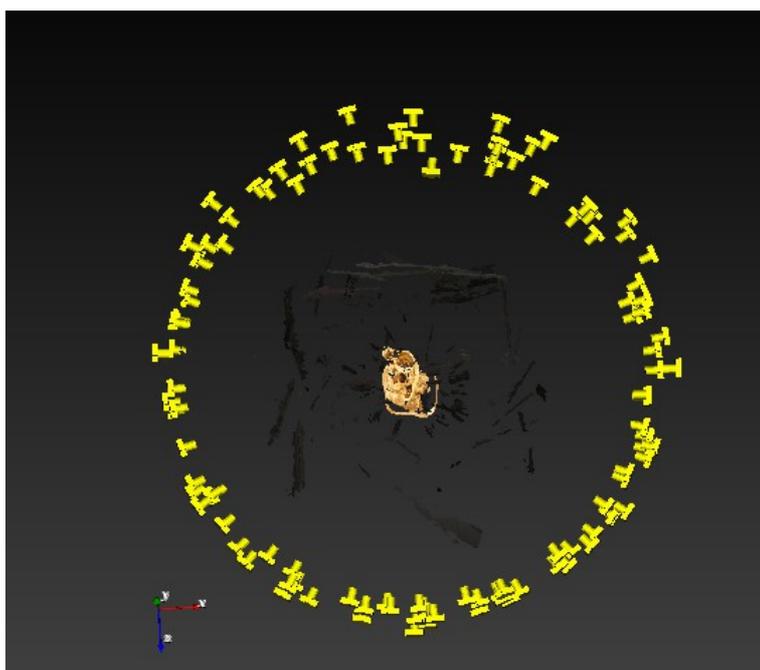


FIGURA 1: VISTA ZENITALE DEL MODELLO E DISPOSIZIONE DEI CENTRI DI PRESA

Le problematiche emerse durante i rilievi di soggetti posti all'interno di edifici, la statua appena esposta, ma anche il rilievo dei mosaici al Museo Archeologico di Arezzo, sono essenzialmente legate alle condizioni di illuminazione al momento del rilievo. Quanto emerso è stato dunque utile per la progettazione dei successivi rilievi in interno.

Arezzo, loc. Quarto, Pieve di Santa Mustiola

Sorta nel V secolo d.C, la pieve venne ricostruita nel VII-VIII secolo d.C. La forma basilicale con tre navate (oggi rimaneggiate e ridotte) e tre absidi semicircolari fu realizzata in epoca romanica. Le due absidi laterali sono andate perdute. L'abside di sinistra è stata sostituita dal campanile costruito nel 1866 .

il rilievo è stato eseguito con l'attrezzatura standard Z-Scan EVO; sono state effettuate 4 strisciate complete avendo cura di seguire il profilo dell'abside (Fig. 2).

Soggetto rilevato: abside esterna

Rilievo

Camera utilizzata: Canon EOS 600D

Modalità: AV

Distanza focale: 20 mm

Esposizione: - f/7.1

- ISO-400

Distanza di presa: 6 m

Numero Foto: 107

Tempo rilievo: 1h 8'

Elaborazione

Foto elaborate: 82

Tempo bundle: 01:34:07

Tempo di ricostruzione: 05:20:00

Step di ricostruzione: 10

GSD: 1 cm

Punti 3D: 686179

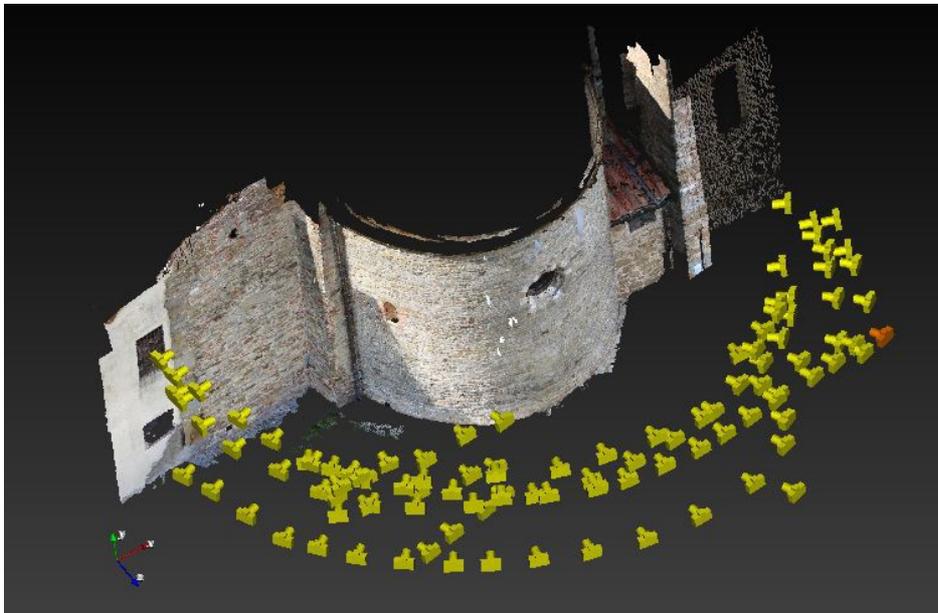


FIGURA 2: PIEVE DI SANTA MUSTIOLA: MODELLO 3D DELL'ABSIDE E DISPOSIZIONE DEI CENTRI DI PRESA DELLA CAMERA

Arezzo, loc. Tregozzano, Villa Guillichini, interno della villa

In previsione del rilievo della volta a crociera della cripta ad Ascoli Piceno si è voluto tentare il rilievo di una piccola volta a crociera affrescata presente a villa Guillichini. Questo rilievo è servito come esercizio per individuare le corrette posizioni da cui effettuare gli scatti e soprattutto per potere valutare il miglior tipo di illuminazione da adottare.

Il software al momento del bundle è andato in blocco. È probabile che il problema sia da ascrivere alla eccessiva uniformità della superficie. Il dataset di immagini è stato messo sotto analisi per il debug, ad oggi ancora in corso.

Soggetto rilevato: volta a crociera

Rilievo

Camera utilizzata: Canon EOS 600D

Distanza focale: 24 mm

Modalità: Manuale

Esposizione: - f/8

- 1/40sec

- ISO-400

Distanza di presa: 1,5 m

Numero Foto: 120

Tempi rilievo: 1h

SANTA MARIA DELLE GRAZIE, AREZZO

Nel luogo dove oggi sorge la chiesa vi era un santuario pagano con una fonte che nel periodo etrusco-romano era consacrata ad Apollo e nell'Alto Medioevo era detta *Fonte Tecta*. Nel 1425, San Bernardino tentò inutilmente di farla distruggere. Cacciato dalla città, egli vi tornò nel 1428 riuscendo questa volta nello scopo e facendo costruire al posto della fonte un oratorio dove tra il 1428 e il 1431 Parri di Spinello dipinse a fresco l'immagine della "Madonna della Misericordia", oggi inserita nell'altare marmoreo di Andrea Della Robbia. La costruzione della chiesa ebbe luogo tra il 1435 e il 1444: su disegno di Domenico del Fattore fu eretto un edificio tardo gotico, ad una sola navata, con volte a crociera e con abside poco profonda. Intorno al 1490 fu addossato alla facciata il portico progettato da Benedetto da Maiano. Sul fianco destro, dopo la morte di San Bernardino (1444) fu aggiunta la cappella a lui dedicata.

Il rilievo è stato effettuato con la macchina fotografica montata sull'asta topografica ad un'altezza di 2.5 m e collegata al pulsante di scatto remoto. Sono state effettuate 16 strisciate da 9 foto ciascuna con un overlap dell'80% e un sidelap del 50% (Fig. 3).

Soggetto rilevato: Soffitto a cassettoni del portico

Rilievo

Fotocamera: Canon EOS 600D
Distanza focale: 20 mm
Modalità di ripresa: Manuale
Esposizione: - f/7.1
 - 1/125 sec
 - ISO-400

Foto: 144

Tempi rilievo: 01:35 h

Elaborazione

Foto usate per il bundle: 144
Tempo bundle: 03:12:35
Tempo ricostruzione: 03:10:01
Passo di ricostruzione: 10
GSD: 9 mm
Punti 3D: 2198485

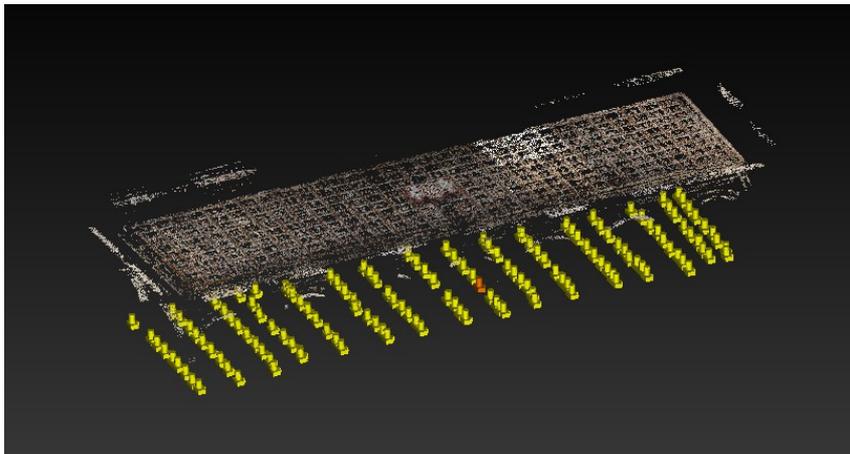


FIGURA 3: MODELLO 3D DEL SOFFITTO DEL PORTICO E POSIZIONE DEI CENTRI DI PRESA

Dopo la fase di ricostruzione si è passati alla pulizia della nuvola 3D, seguito dalla produzione di un DEM a passo 1 cm (Fig. 4) da cui si sono ricavati: dei profili (Fig. 5), le ortofoto con un pixel size di 1 mm e, infine, l'ortofotomosaico completo (Fig. 6).

Di seguito si riportano i risultati dell'elaborazione della nuvola di punti:

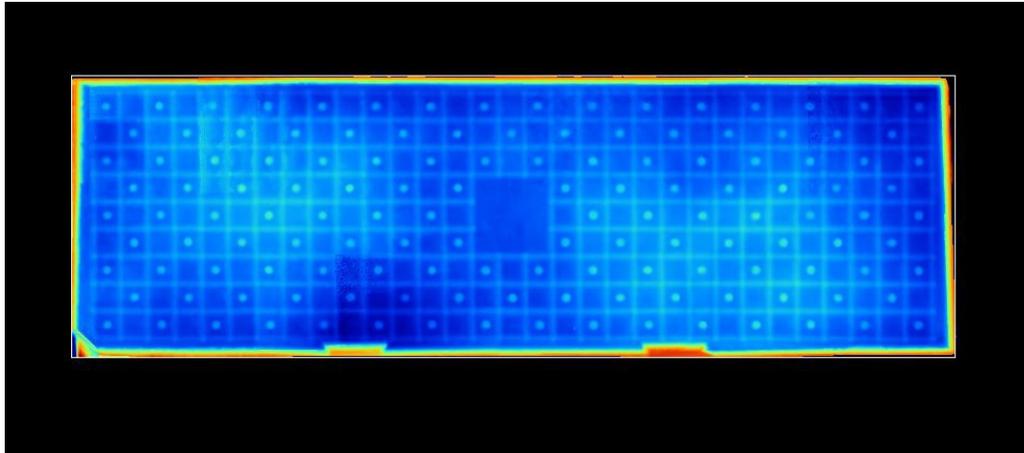


FIGURA 4: DEM DEL SOFFITTO DEL PORTICO

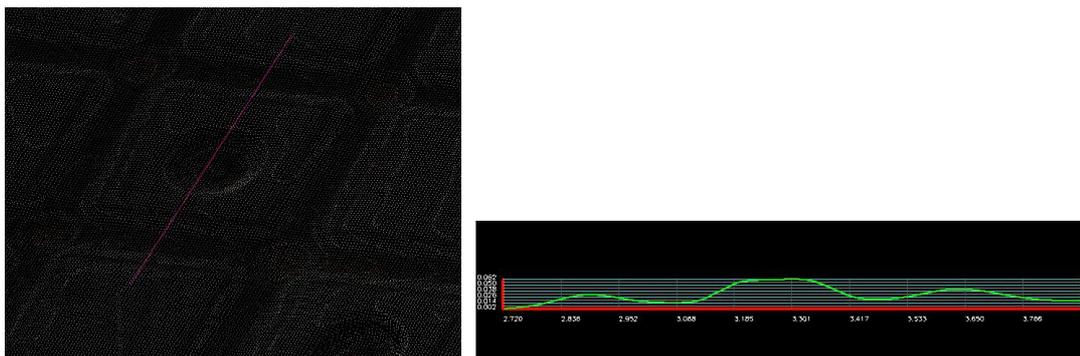


FIGURA 5: PROFILO DELLA ROSETTA AL CENTRO DEL CASSETTONE



FIGURA 6: ORTOFOTOMOSAICO DEL SOFFITTO A CASSETTONI DEL PORTICO

MUSEO ARCHEOLOGICO GAIO CLINIO MECENATE DI AREZZO

Il museo di Arezzo conserva numerosi lacerti musivi di epoca romana ritrovati all'inizio del secolo ad Arezzo.

Nell'area della chiesa di San Lorenzo si ipotizza che fosse posta un'importante sede di culto dedicata alla triade capitolina, situata entro le mura, in prossimità dell'antico cardo e di una delle porte principali della città. In questa stessa area agli inizi del '900 furono condotti da privati, sotto il controllo della Soprintendenza, alcuni scavi, che misero in vista le costruzioni romane sovrapposte ed in parte inglobanti le strutture etrusche.

Altri mosaici furono trovati nella *Domus* di via Margaritone.

I rilievi dei mosaici sono stati ripetuti due volte: i risultati del primo rilievo non hanno dato buoni risultati in quanto le condizioni di illuminazione non erano ottimali. Durante il secondo rilievo sono stati utilizzati due softbox per illuminare al meglio le aree da inquadrare. Qui di seguito si presentano i risultati del secondo rilievo.

Sezione Romana, Sala IX

Rilievo del mosaico a motivi geometrici e a pelte, inv. 24664

Il mosaico pavimentale a tessere policrome in pietra calcarea con decorazione a pelte e onde bordate da *guilloche*, ritrovato in via Margaritone (I-II sec. d.C.)

Il rilievo del mosaico è stato effettuato montando la camera sul treppiede servendosi della barra ZScan per effettuare delle strisciate regolari.

Sono state effettuate 5 strisciate con un overlap di ca. 70% e un sidelap del 50%.

Soggetto rilevato: mosaico 24664

Rilievo

Fotocamera: Canon EOS 600D

Distanza focale: 20 mm

Modalità di ripresa: Manuale

Esposizione: - f/4

- 1/40sec

- ISO-400

Distanza di presa: 1.40m

Foto: 32

Tempi rilievo: 25'

Elaborazione

Foto usate per il bundle: 25

Tempo bundle: 00:06:40

Tempo ricostruzione: 00:25:04

Passo di ricostruzione: 10

GSD: 2 mm

Punti 3D: 822812

Dopo la ricostruzione il modello è stato prima pulito, e successivamente è stato prodotto il DEM a passo di 1cm e realizzate le ortofoto con un pixel size di 2mm. Sono state create le linee di taglio e successivamente creato l'ortofotomosaico (Fig. 7)



FIGURA 7: ORTOFOTOMOSAICO DEL MOSAICO 24664

I due mosaici presentati di seguito fanno parte del medesimo pavimento proveniente dalla Domus di San Lorenzo. Entro una fascia di riquadratura a tessere nere, nel campo bianco è rappresentata una scena di caccia. Sono raffigurati un cane di profilo nell'atto di inseguire con un balzo un cervo che fugge veloce verso sinistra. Il cane ha il muso tozzo, gli orecchi portati all'indietro e tiene le fauci aperte nell'atto di abbaiare (Fig. 8); il cervo, dalle lunghe corna ramosi, ha un corpo agile ed elegante e solleva gli arti anteriori nella velocità della corsa (Fig. 9).

I mosaici sono databili tra la fine del I secolo d.C. e il II secolo d.C.

Sezione Romana, Sala X

Rilievo del lacerto musivo a soggetto faunistico: inv. 24642

Soggetto rilevato: Mosaico 24642

Rilievo

Fotocamera: Canon EOS 600D

Distanza focale: 24 mm

Modalità di ripresa: Manuale

Esposizione: - f7.1

- 1/8

- ISO-200

Foto: 40

Tempo rilievo: 15'

Elaborazione

Foto usate per il bundle: 40

Tempo bundle: 00:07:39

Tempo ricostruzione: 00:47:54

Passo di ricostruzione: 10

GSD: 3 mm

Punti 3D: 777166

È stato prodotto il DEM a passo di 1 cm e realizzate le ortotofoto con un pixel size di 2 mm utilizzate per comporre l'ortofotomosaico finale.



FIGURA 8: ORTOFOTOMOSAICO DEL MOSAICO 24642

Sezione Romana, Sala X

Rilievo del lacerto musivo a soggetto faunistico: inv. 24661

Soggetto rilevato: Mosaico 24661

Rilievo

Fotocamera: Canon EOS 600D

Distanza focale: 24 mm

Modalità di ripresa: Manuale

Esposizione: - f/7.1

- 1/6 sec

- ISO-200

Foto: 40

Tempi rilievo: 9'

Elaborazione

Foto usate per il bundle: 40

Tempo bundle: 00:06:40

Tempo ricostruzione: 00:53:03

Passo di ricostruzione: 10

GSD: 3 mm

Punti 3D: 718734



FIGURA 9: MODELLO 3D DEL MOSAICO 24661

Dopo la pulizia della nuvola di punti (Fig. 9) è stato prodotto il DEM a passo di 1 cm e realizzate le ortofoto con un pixel size di 2 mm, infine è stato composto l'ortofotomosaico (Figg. 10-11)



FIGURA 10: ORTOFOTOMOSAICO DEL MOSAICO 24661



FIGURA 11: PARTICOLARE 1:1 DELL'ORTOFOTO DEL MOSAICO 24661

Sezione Romana, Sala XII

Rilievo dei due lacerti musivi a motivi geometrici, inv. 14509 - 24659

I due frammenti musivi appartenenti al mosaico pavimentale della Domus di S. Lorenzo. Il pavimento è limitato da fasce di tessere nere, che comprendono triangoli coi lati a gradino; seguono, entro due linee di riquadratura, una serie di pelte, interrotte agli angoli da elementi fogliati entro un rettangolo. Nel campo sono presenti dei motivi fogliari che compongono motivi allacciati. Il tema figurativo, molto comune ed ampiamente documentato, è databile al I secolo d.C.

Il rilievo è stato effettuato con la camera montata all'asta topografica con testina inclinata e collegata al pulsante di scatto remoto. Si è preferito utilizzare il pulsante piuttosto che il tablet in quanto, per una corretta inquadratura ed esposizione del soggetto da fotografare, l'asta veniva tenuta con un'angolazione di ca. 60° dal terreno ed era dunque difficoltoso potere gestire al meglio la strumentazione (soprattutto per il maggiore peso da dover sopportare).(Fig. 12)

Soggetto rilevato: Mosaici 14509 e 24659

Rilievo

Fotocamera: Canon EOS 600D

Distanza focale: 24 mm

Modalità di ripresa: Manuale

Esposizione: - f/4

- 1/60 sec

- ISO-400

Distanza di ripresa: 1,80 m

Foto: 49

Tempi rilievo: 14'

Elaborazione

Foto usate per il bundle: 49

Tempo bundle: 00:07:07

Tempo ricostruzione: 01:21:00

Passo di ricostruzione: 10

GSD: 2 mm

Punti 3D: 1303177



FIGURA 12: ORTOFOTOMOSAICO DEL FRAMMENTO 24659

LA CRIPTA DI SANT'EMIDIO AD ASCOLI PICENO

La cripta di Sant'Emidio, costruita nella metà del 'XI secolo, ospita le reliquie del santo patrono della città. Le reliquie di Sant'Emidio furono trasportate dalle catacombe di Campo Parignano dall'allora vescovo Bernardo II. Il ritrovamento dei resti del santo, primo vescovo di Ascoli, fu definita una *inventio miracolosa*. La leggenda vuole che siano state individuate grazie alla presenza di una pianta di basilico che cresceva all'interno della sepoltura ipogea della necropoli del piccolo tempio di Sant'Emidio alle Grotte, primo luogo di tumulazione del santo.

La cripta, originariamente semicircolare, fu modificata nel 1704 da Giuseppe Giosafatti. La pianta fu resa quadrangolare e fu rialzato il soffitto di circa 60 cm, furono inserite 28 colonne di marmo rosso di Verona e il gruppo marmoreo che rappresenta il battesimo di Polisia.

Lo spazio della cripta è ripartito in sette navate costituite complessivamente da 63 colonne, di cui alcune in travertino altre in marmo. Nel 1954 Mons. Ambrogio Squitani dispose il decoro delle pareti e delle 4 vele al di sopra dell'altare con una serie di pregiati mosaici. Questi rievocano avvenimenti ascolani accaduti durante l'ultimo anno della seconda Guerra Mondiale e la benevola protezione di Sant'Emidio nei confronti dei fedeli della città.

L'esecuzione dei mosaici fu affidata allo Studio del Mosaico Vaticano tra il 1950 e il 1954.

Condizioni al momento del rilievo: problematiche incontrate

Al momento del rilievo la cripta era interessata da lavori di restauro condotti dalla Fondazione *RavennAntica*. I lavori di restauro interessavano le tre volte absidali e le cinque lunette mosaiccate ad esse adiacenti. L'impalcatura e i teloni di copertura impedivano non solo l'accesso alle volte ma anche la visibilità. Delle sei volte mosaiccate, dunque, solo tre erano libere dalle impalcature e dalle coperture protettive e solo su queste era possibile effettuare dei rilievi.

L'interesse si è focalizzato quindi sulla splendida volta a crociera centrale, sotto la quale si trova la statua marmorea raffigurante il "battesimo di Polisia", decorata con quattro coppie di angeli che reggono un sole dai lunghi raggi dorati.

Oltre alla volta centrale, si è deciso di rilevare anche la volta adiacente e la lunetta mosaiccata con il soggetto "Processione di penitenza".

Rilievo della lunetta mosaicata con soggetto "Processione di penitenza"

Le riprese fotografiche della lunetta laterale sono state effettuate utilizzando la camera montata all'asta topografica attraverso la testina tilt.

Per coprire al meglio tutta l'area da rilevare sono state effettuate 4 strisciate: due eseguite con la macchina parallela alla parete e due eseguite con una inclinazione progressiva in modo tale da avere a disposizione delle strisciate di passaggio tra la parete e la volta e permettere così la ricostruzione unica dei due elementi.

Soggetto rilevato: lunetta con mosaico "Processione di penitenza"

Rilievo

Fotocamera: Canon EOS 600D

Distanza focale: 20 mm

Modalità di ripresa: Manuale

Esposizione:

- f/4

- 1/25 sec

- ISO-800

foto: 50

Tempi rilievo: 21'

Elaborazione

Foto usate per il bundle: 50

Tempo bundle: 00:50:00

Tempo ricostruzione: 01:24:02

Passo di ricostruzione: 10

GSD: 4 mm

Punti 3D: 1899322

La nuvola di punti è stata pulita, è stato creato il DEM a passo 1 mm, sono stati estratti i profili e infine prodotte le ortofoto con un pixel size di 0,3 mm e l'ortofotomosaico finale (Fig. 13).



FIGURA 13: ORTOFOTOMOSAICO DELLA LUNETTA "PROCESSIONE DI PENITENZA"

Rilievo della volta a crociera laterale

Per coprire l'intera estensione della volta laterale sono state effettuate tre strisciate complete da 15 foto ciascuna con un overlap dell'80% e un sidelap del 70%, due strisciate sono servite per rilevare i due intradossi laterali mentre ulteriori foto di raffittimento sono state scattate per migliorare l'inquadramento degli spigoli. (Fig. 14)

Soggetto rilevato: volta a crociera laterale

Rilievo

Fotocamera: Canon EOS 600D

Distanza focale: 20 mm

Modalità di ripresa: Manuale

Esposizione:

- f/7.1

- 1/125 sec

- ISO-400

foto: 78

Tempi rilievo: 1h 32'

Elaborazione

Foto usate per il bundle: 74

Tempo bundle: 01:07:02

Tempo ricostruzione: nd³²

Passo di ricostruzione: 10

GSD: 4 mm

Punti 3D: 3108025

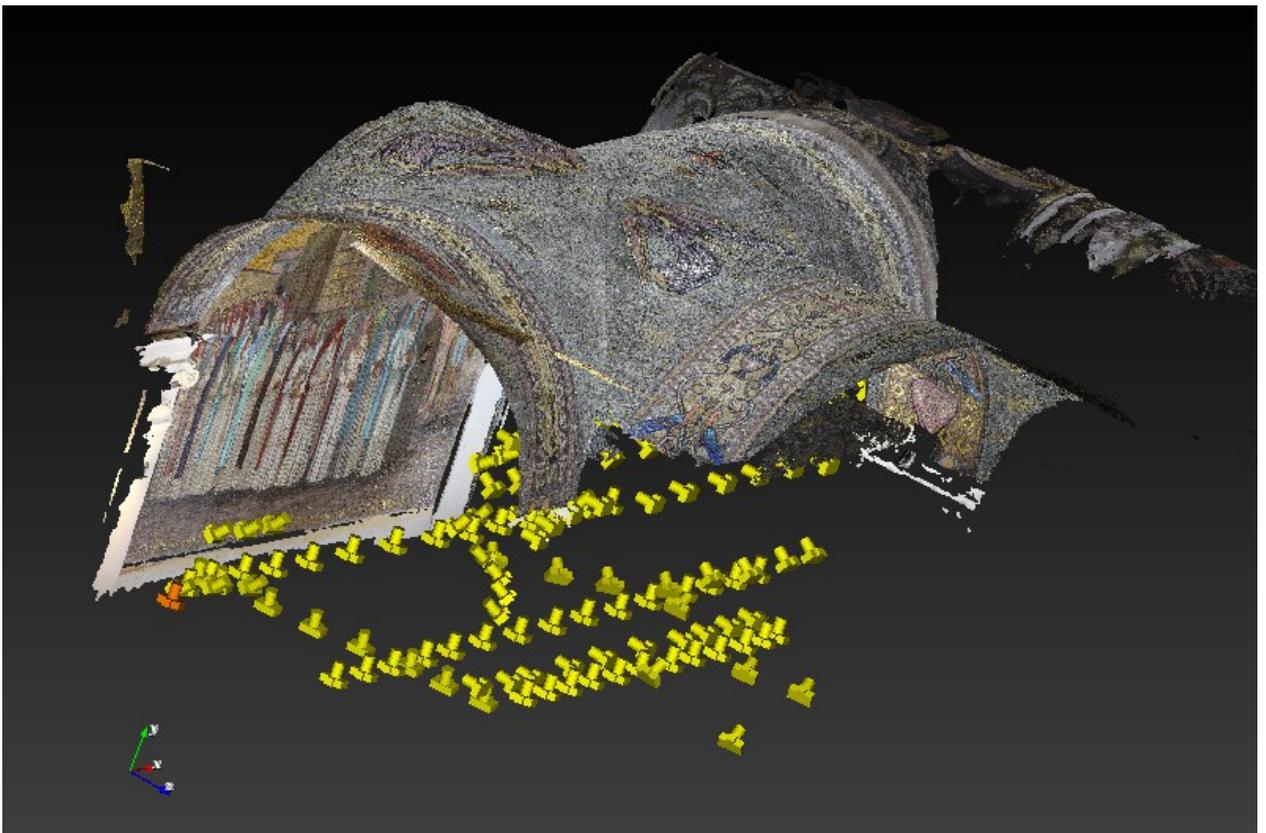


FIGURA 14: MODELLO 3D DELLA VOLTA LATERALE E DISPOSIZIONE DEI CENTRI DI PRESA

³² A causa di continui blocchi del software non si dispone del tempo totale di ricostruzione del modello.

Il modello pulito è stato usato per la ricostruzione del DEM a passo 1 mm e la generazione delle ortofoto con un pixel size di 0,3mm (Fig. 15), infine è stato prodotto l'ortofotomosaico (Fig.16).



FIGURA 15: ORTOFOTO DELLA VOLTA LATERALE



FIGURA 16: ORTOFOTOMOSAICO DELLA VOLTA LATERALE

Rilievo della volta a crociera centrale

A causa della presenza della statua marmorea del *Battesimo di Polisia* e del cantiere di restauro dietro la statua gli scatti non sono stati eseguiti per strisciate complete. Sono state effettuate dunque 2 strisciate complete e due parziali con overlap dell'80% e sidelap del 70%. Per completare il rilievo sono stati eseguiti altri scatti posizionando il treppiede dietro la statua e utilizzando la barra Z-Scan per facilitare sia l'immobilità della camera che l'uniformità delle strisciate con le precedenti; sono state scattate ulteriori foto di raffittimento per gli spigoli e gli intradossi. Tutti gli scatti, per evitare vibrazioni eccessive, sono state effettuate con un pulsante di scatto remoto. (Fig. 17)

Soggetto rilevato: Volta a crociera centrale

Rilievo

Fotocamera: Canon EOS 600D
Distanza focale: 20 mm
Modalità di ripresa: Manuale
Foto: 156
Tempi rilievo: 1h40'

Elaborazione

Foto usate per il bundle: 156
Tempo bundle: 01:25:40
Tempo ricostruzione: nd
Passo di ricostruzione: 10
GSD: 3 mm
Punti 3D: 3468308

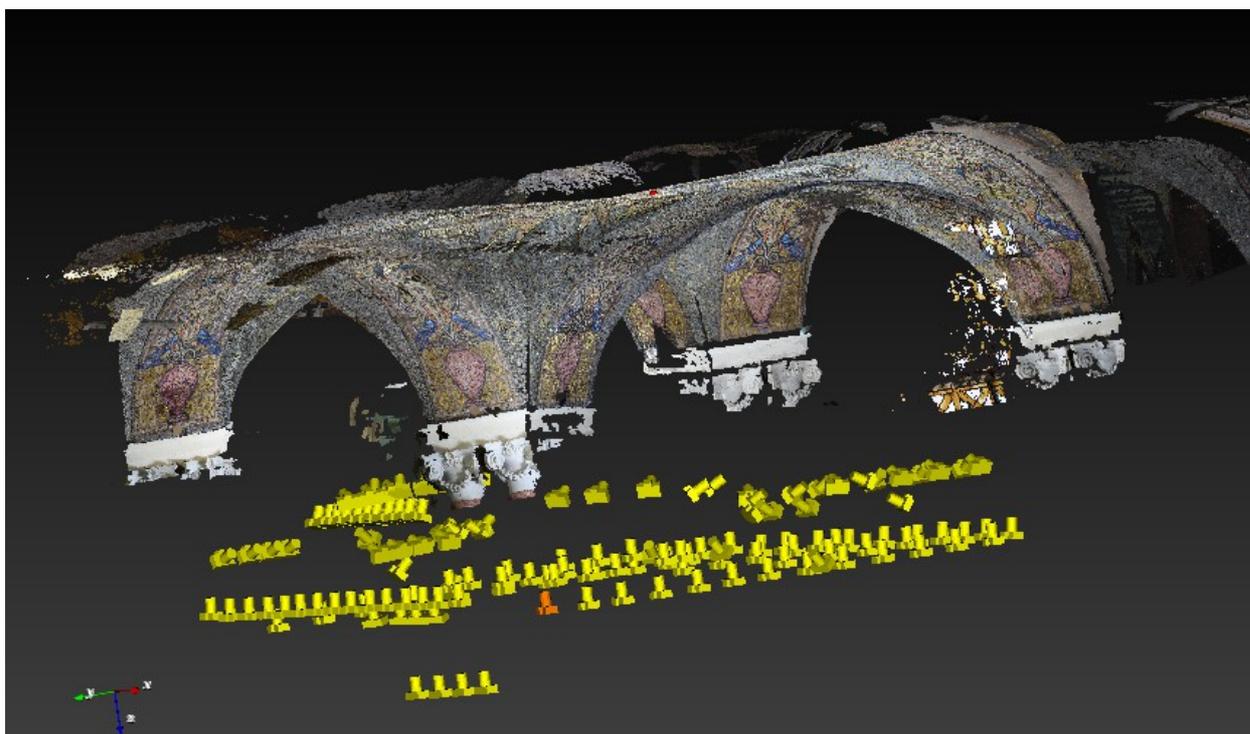


FIGURA 17: MODELLO 3D E DISPOSIZIONE DEI CENTRI DI PRESA DELLA VOLTA A CROCIERA CENTRALE

Dopo la pulizia della nuvola di punti è stato prodotto il DEM (Fig. 18) a passo 1mm e generate le ortofoto con pixel size di 0,3mm (Fig.19) per la mosaicatura dell'ortofotomosaico (Figg. 20-21).

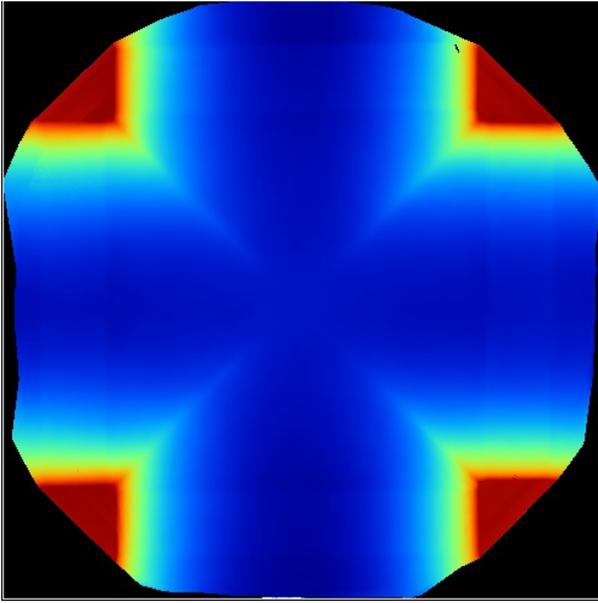


FIGURA 18: DEM DELLA VOLTA CENTRALE



FIGURA 19: ORTOFOTO DELLA VOLTA CENTRALE



FIGURA 20: ORTOFOTOMOSAICO DELLA VOLTA CENTRALE



FIGURA 21: PARTICOLARE 1:1 DELLE TESSERE MUSIVE DELL'ORTOFOTO DELLA VOLTA CENTRALE

I modelli ricostruiti per le due volte sono stati infine registrati per ottenere una visione d'insieme (Fig. 21)



FIGURA 22: VISTE 3D DEL MODELLO REGISTRATO

RISULTATI E DISCUSSIONE

Alla fine delle elaborazioni effettuate durante questo periodo di stage, molte sono le soddisfazioni dal punto di vista personale e da quello strettamente aziendale: i risultati attesi sono stati ampiamente raggiunti. Innanzitutto l'esperienza in azienda mi ha permesso di rafforzare e migliorare la conoscenza dell'applicazione della fotogrammetria. La conoscenza, inoltre, di una tecnica innovativa di ricostruzione 3D a partire da immagini, mi ha permesso di ampliare gli orizzonti conoscitivi e le potenzialità proprie di questo tipo di rilievo.

Nello specifico, l'intento di testare la strumentazione ZScanEVO alle superfici musive ha dimostrato che, malgrado vi sia esigenza di grande dettaglio e malgrado l'applicazione a materiali particolarmente riflettenti come gli smalti ed i vetri, la ricostruzione 3D è avvenuta correttamente e senza alcuna perdita qualitativa né quantitativa. I modelli sono stati ricostruiti a densità costante e i risultati dati dalle ortofoto hanno superato le aspettative in termini di qualità e fedeltà alla realtà.

In particolare, il lavoro svolto sui mosaici di Ascoli Piceno ha permesso generare modelli ad alta densità di punti per la produzione di ortofoto con un pixel size inferiore al millimetro; L'altissima risoluzione di queste immagini le rende utilizzabili sia come materiale di studio e divulgazione sia per lavori di restauro.

Ciononostante, le difficoltà riscontrate a livello di elaborazione del software hanno permesso di identificare errori e lacune di calcolo che hanno permesso agli sviluppatori dell'azienda di migliorare gli algoritmi di ricostruzione. Il continuo lavoro fianco a fianco con tutto il personale aziendale ha permesso di operare e risolvere in tempi brevi e immediati qualunque problema legato a errori di impostazione del rilievo o di qualunque altra natura.

Di seguito, si riportano in breve i risultati personali conseguiti alla fine di questo percorso:

- maggiore consapevolezza e padronanza delle tecniche fotogrammetriche;
- capacità di impostare in completa autonomia un rilievo;
- capacità di elaborare in autonomia una nuvola di punti portando a risultati quali DEM, profili, Ortofoto, editazione di linee di taglio, ortofotomosaici;
- padronanza delle procedure, migliorato approccio verso le problematiche incontrate e risoluzione delle stesse.

e quelli conseguiti anche con l'azienda:

- ampliamento del catalogo dei Case Histories aziendali;
- produzione di presentazioni da utilizzare a scopo didattico dei prodotti sulla base dei vari casi di studio affrontati;
- dimostrata capacità di ricostruzione del software UMap anche in situazioni non

comunemente rientranti nella casistica;

– dimostrata capacità del software UMap nella ricostruzione di superfici musive, piane o convesse e a curvatura multipla;

– dimostrata capacità del software UMap nella ricostruzione di superfici estremamente riflettenti come i vetri.

Le maggiori difficoltà incontrate e che necessitano una particolare attenzione sono essenzialmente legate all'esecuzione del rilievo. Le condizioni di illuminazione durante il rilievo all'interno di edifici è fondamentale per la riuscita del lavoro. È stato dimostrato già in precedenza che, i rilievi all'aperto, effettuati in condizioni di luce buona, soffrono di problematiche solo in relazione al brusco cambiamento delle zone in luce e ombra.

All'interno, invece, piccoli cambiamenti di luce, legati alla luce proveniente da una finestra, un cielo variabile che modifica in continuazione la quantità di luce, compromettono un lavoro che con piccoli accorgimenti risulterebbe invece ottimo. L'utilizzo di lampade, ombrelli e teli paraluce, è dunque fondamentale in situazioni di scarsissima luminosità, come la cripta di Sant'Emidio, ma ancora di più in situazioni in cui il controllo delle fonti di luce non può essere gestito in maniera ottimale come nel caso della sala del museo.

Un'ulteriore nota va dedicata alla fase di rilievo: è stato dimostrato che in casi in cui il soggetto è particolarmente piccolo o ricco di dettagli, come le piccole tessere di mosaico, sarebbe da preferire un supporto stabile come base d'appoggio, ad esempio un treppiede. La soluzione con asta topografica risulta ottimale nei casi di rilievo speditivo perché non vincola alle condizioni del terreno e permette all'operatore la massima libertà. Nel caso del rilievo dei mosaici è evidente che, anche piccoli spostamenti della camera possono compromettere il rilievo generando foto mosse o poco nitide. È fondamentale dunque, controllare sempre gli scatti subito dopo il rilievo quando ancora ci si trova sul posto, per evitare di dovere ripetere dall'inizio l'intera operazione.

CONCLUSIONI

Negli ultimi anni nell'ambito della valorizzazione e fruizione dei beni culturali sono stati fatti enormi passi da parte della tecnologia e delle scienze applicate. La tecnica fotogrammetrica allarga sempre di più i propri campi di applicazione, storicamente legati alla topografia e all'architettura, dimostrando una grande capacità di approcciarsi ad un mondo di solito restio davanti a questo tipo di tecniche. Malgrado il sentimento ancora preminente che porta a discostarsi dal moderno, la tecnologia non è più vista come opportunità per consentire la mera archiviazione o la conservazione dei dati. Considerando queste soluzioni come un valore aggiunto alla possibilità di trasmettere e comunicare, si potrebbe raggiungere l'ambito traguardo di oltrepassare il confine degli addetti ai lavori e raggiungere chi del bene culturale vuole fruire come puro oggetto d'arte al di là di ogni contesto culturale.

La tecnica fino a qui presa in esame dimostra che con pochi ed accurati accorgimenti è possibile realizzare un rilievo tridimensionale, di ottima qualità e anche quantitativamente apprezzabile. La sperimentazione su superfici musive ha confermato la possibilità di utilizzare le tecniche fotogrammetriche. Menci anche su superfici altamente riflettenti come vetri e smalti. Si amplia quindi la possibilità di utilizzo del sistema ZScan EVO, ampliando di conseguenza anche la sfera di utenza raggiungibile.

RINGRAZIAMENTI

Desidero ringraziare sentitamente l'Ing. Luca Menci e la Dott.ssa Francesca Ceccaroni per avermi permesso di svolgere questo periodo di stage presso la loro azienda. Li ringrazio per avere messo a mia disposizione le loro attrezzature, i loro software e per la disponibilità mostratami durante tutto il periodo di permanenza in azienda.

Un ringraziamento sentito va anche a Debora Cardarelli, Daniele Bianchini, Claudio Tortorelli per tutti i consigli tecnici gli aiuti operativi e per avermi supportata ed aiutata continuamente malgrado i loro numerosi impegni aziendali.

Un ringraziamento particolare va al Prof. Salvini per la passione che ci ha trasmesso durante le sue lezioni e alla Dott.ssa Silvia Riccucci, mio tutor per la stesura di questo elaborato, per i preziosi consigli forniti durante le esercitazioni pratiche di fotogrammetria e laser scanner.

Ringrazio la Dott.ssa Vilucchi, direttrice del Museo Archeologico Gaio Clinio Mecenate di Arezzo, per averci dato il permesso di effettuare i rilievi ed in particolare tutto lo staff del museo che ci ha supportato ed aiutato al meglio per tutta la durata dei lavori.

Ringrazio la Dott.ssa Paola Perpignani della Fondazione RavennAntica per la disponibilità dimostrataci durante i rilievi al Duomo di Ascoli, malgrado fosse interessato dai lavori di restauro, e la diocesi di Ascoli Piceno per il permesso di effettuare i lavori.

Ringrazio infine tutti i miei colleghi di Master che in modo vario hanno reso questo mio percorso appassionante, ricco di stimoli e di confronto.

BIBLIOGRAFIA

- ACHILLE et al. 2002** - Achille, C., Brumana, R., Fregonese, L., Monti, G., Savi, C., Vio, E., *Il pavimento musivo della Basilica di San Marco. L'ortofoto 3D alla scala 1:1 come palinsesto virtuale di un sistema informativo*, in Atti della 6° Conferenza Nazionale ASITA 'Geomatica per l'ambiente, il territorio e il patrimonio culturale', pp. 29-34, Perugia, 5-8 Novembre 2002
- ACHILLE et al. 2005** - Achille, C., Brumana, R., Fregonese, L., Monti, C., Vio, E., Prandi, F., Savi, C., *Metodi avanzati di analisi e monitoraggio delle superficie musive pavimentali della Basilica di San Marco a Venezia*, in Atti della 9° Conferenza Nazionale ASITA, Catania 2005, pp. 9-14.
- BALLETTI – GUERRA 2006** - Balletti C., Guerra F., *Il rilievo per la rappresentazione 3D: la città romana di Grumentum*, in Atti del Convegno Nazionale SIFET "Le nuove frontiere della rappresentazione 3D", Castellaneta Marina, Taranto, 14-16 giugno 2006.
- BARCELO et al. 2000** - Barcelò J.A., Forte M., Saunders D.H., (a cura di), *Virtual Reality in Archaeology*, Oxford.
- BEZOARI et al. 1992** - Bezoari G., Monti C., Selvini A., *La fotogrammetria per l'architettura*, Napoli.
- BIANCHINI 2008** - Bianchini M., *Manuale di rilievo e di documentazione digitale in archeologia*, Roma.
- BITELLI 2002** - Bitelli G., *Moderne tecniche e strumentazioni per il rilievo dei Beni Culturali*, in Atti della 6° Conferenza Nazionale ASITA, Perugia (5-8 novembre), vol. 1, pp. 9-24.
- BITELLI et al. 2007** - Bitelli G., Girelli V.A., Remondino F., Vittuari L., *Tecniche digitali per il rilievo, la rappresentazione e la modellazione 3D in archeologia: il caso di Tilmen Höyük (Turchia)*, in Atti della 11° Conferenza Nazionale ASITA, Torino (6-9 novembre), pp. 427-432.
- BOGDANI et al. 2007** - Bogdani J., Fiorini A., Silani M., Zanfini M., *Esperienze di stereofotogrammetria archeologica*, in "Ocnus" 15, 2007, pp. 27-44.
- BONORA et al. 2007** - Bonora V., Rinaudo F., Tucci G., *Il campanile di Giotto. Scansioni laser e ortofoto di precisione per il controllo e la manutenzione del rivestimento lapideo delle facciate*, in Atti della 11° Conferenza Nazionale ASITA, Torino, 6-9 novembre 2007.
- BORRA 2000** - Borra D., *La modellazione virtuale per l'architettura antica. Un metodo verso l'isomorfismo percettivo*, in "Archeologia e Calcolatori" 11, pp. 259-272.
- CAIROLI GIULIANI 1976** - Cairolì Giuliani F., *Archeologia e documentazione grafica*, Roma.
- CALDARELLI 2011** - Caldarelli, D. *ZScan EVO uno strumento innovativo per il rilievo 3D in archeologia*, elaborato finale del Master di II livello in sistemi Informativi Territoriali e Telerilevamento, Centro di Geotecnologie, Università di Siena, Novembre 2011.
- CALDARELLI et al. 2012** - Caldarelli, D., Cantini, F., Ceccaroni, F., Fatighenti, B) . Nuove tecnologie per il rilievo speditivo tridimensionale in archeologia: il caso San Genesio, "Archeomatica" III 2, pp.16-19.
- CAMIN et al. 2010** - Camin L., Carrozzino M., Leonardi R., Negri A., *Nuove Tecnologie per la conoscenza e la comunicazione di Lucca romana*, in "Archeologia e Calcolatori", 21, pp. 49-73.
- CAMPANA – FORTE 2001** - Campana S., Forte M., (a cura di), *Remote Sensing in Archaeology*, XI ciclo di lezioni sulla ricerca applicata in archeologia, (Certosa di Pontignano, Siena, 6-11 dicembre 1999), Firenze.
- CAPRIOLI et al. 2003** - Caprioli M., Minchilli M., Scognamiglio A., Strisciuglio G., *Architectural and natural heritage: virtual reality with Photogrammetry and Laser Scanning*, in Proceedings of XIX International Symposium CIPA, Antalya (30 settembre - 4 Ottobre 2003).

- CASELLA et al. 2006** - Casella V., Franzini M., Menci L., Ceccaroni F., *Gestione delle strisciate della camera ADS40 nella stazione digitale Menci Software ZMap*, in "Archeomatica", speciale, pp. 42-45.
- CECCARONI 2005** - Ceccaroni F., *Generazione di ortofoto ad alta risoluzione su scansione laser: il sistema Z-Map di Menci Software*, in "Geomedia", 1, pp.26-28.
- CERAUDO 1999** - Ceraudo G. *Introduzione all'aerofotogrammetria applicata all'archeologia*, Ponza.
- CUNDARI 1983** - Cundari C., *Fotogrammetria architettonica*, Roma.
- DE FELICE et al. 2007** - De Felice G., Sibilano M.G., Volpe G., *Esperienze di laser scanning su rivestimenti pavimentali e parietali: il caso della cenatio della villa di Faragola (Ascoli Satriano, FG)*, in Angelelli C., Rinaldi F., (a cura di), *Atti del XIII Colloquio dell'Associazione Italiana per lo Studio e la Conservazione del Mosaico (AISCOM) (Canosa di Puglia, 21-24 febbraio 2007)*, Tivoli, pp. 535-542.
- DOCCI-MAESTRI 2009** – *Manuale di rilevamento architettonico e urbano*, Roma 2009.
- DOMINICI et al. 2000** - Dominaci D., Grassi S., Radicioni F., *Utilizzo delle tecniche innovative di fotogrammetria digitale per il recupero e salvaguardia dei beni architettonici* in Binci M., (a cura di), *Atti del Convegno "Politiche per la salvaguardia e il recupero dei Beni Architettonici, Documentazione e Rilievo"*, Ancona 23 giugno, pp. 33-42.
- FONDELLI 1992** - Fondelli M., *Trattato di fotogrammetria urbana e architettonica*, Firenze.
- GABRIELLI et al. 2008** - Gabrielli R., Angelini A., Vannini G., Nucciotti M., Menci L., *Nuovo sistema di fotogrammetria digitale da pallone aerostatico: il caso di studio del castello di Shawbak*, in *Atti della 12° Conferenza Nazionale ASITA, L'Aquila (21-24 ottobre)*, pp. 1167 – 1172.
- GIUNTA et al. 2005** - Giunta G., Di Paola E., Morlin Visconti Castiglione B., Menci L., *Integrated 3Ddatabase for diagnostics and documentation of Milan's cathedral facade*, in *Proceedings of XX International Symposium CIPA, Torino (26 Settembre-01 Ottobre)*.
- GOMARASCA 2009** – Gomarasca, M. *Elementi di geomatica*, Napoli.
- GUIDI et al. 2002** - Guidi G., Morelli A., Nenci C., Santella C., Tucci G., *Indagini diagnostiche applicate ai pavimenti musivi: tecniche di rilievo, analisi per campioni e indagini geofisiche*, in *Atti del XVIII Convegno internazionale Scienza e Beni Culturali "I mosaici: cultura, tecnologia, conservazione"*, Bressanone, 2-5 luglio 2002, Marghera-Venezia, Arcadia Ricerche, 2002, pp. 589-603.
- KRAUS 1994** - Kraus K., *Fotogrammetria. Teoria e applicazioni*, Torino.
- LIMONCELLI 2012** – M. Limoncelli, *il restauro virtuale in archeologia*, Roma.
- LO BRUTTO – SPERA 2011** - Lo Brutto M., Spera M.G., *Image-based and range-based 3D modelling of archaeological cultural heritage: the Telamon of the Temple of Olympian Zeus in Agrigento (Italy)* in *Proceedings of the 4th ISPRS International Workshop 3D-ARCH 2011: "3D Virtual Reconstruction and Visualization of Complex Architectures"*, Trento, Italy, 2-4 March 2011, a cura di Remondino F., El-Hakim S., XXXVIII-5/W16.
- LONG 2005** - Long B., *Fotografia digitale: il manuale*, Milano.
- MARANGONI – GEDDO 1996** - Marangoni R., Geddo M., *Le immagini digitali, formati e gestione*, Milano.
- MENCI – CECCARONI 2003** - Menci L., Ceccaroni F., *Fotogrammetria Digitale*, in *Atti della 7° Conferenza Nazionale ASITA, Verona (28-31 ottobre)*.
- MENCI – CECCARONI 2008** - Menci L., Ceccaroni F., *ZScan: generazione di modelli 3D per la ricognizione metrica e radiometrica dei beni culturali tramite immagini*, in *TECHA 2008, Technologies exploitation for the cultural heritage Advancement*, pp. 88-89.
- MENCI 2004** - Menci L., *ZMap: stazione digitale multisensore per una moderna produzione di dati cartografici* in "Geomedia" Reports. 4, pp. 26-29.

- MENCI et al. 2008** - Menci L., Moranti T., Vangi D., *Misura della deformazione di veicoli soggetti a incidenti stradali tramite la fotogrammetria*, in XXXVII Convegno Nazionale AIAS, Roma 2008.
- MONTI – MAINO 2012** – Monti M., Maino G., *L'informatica per il mosaico, tre casi prototipali* in "Archeomatica" III II, pp.22-27.
- MONTI et al. 1991** - Monti C., Brumana R., Vassena G. "Basilica di San Marco a Venezia: Analisi dell'andamento altimetrico del pavimento litico-musivo e metodologie di rappresentazione", in Bollettino della Sifet, Milano, n. 2, 1991.
- NEX – RINAUDO 2008** - Nex F., Rinaudo F., *Multi-image matching: an "old and new" photogrammetric answer to LIDAR techniques*, in International Archives of the Photogrammetry, Remote sensing and Spatial Information Sciences, Beijing XXXVII/B5, 2008, pp.621-626.
- NICCOLUCCI 2000** - Niccolucci F., (a cura di), *Virtual Archaeology*. Proceedings of the VAST Euroconference, (Arezzo, 24-25 Novembre 2000), Oxford.
- PARENTI et al. 2010** - Parenti R. – Vecchi A. – Gilento P., *Integrated System for the Study and the Management of the Historical Buildings*, in *CAA Fusion of Cultures*.
- PETRIAGGI et al. 2010** - Petriaggi R. – Davidde B. – Ghezzi M., *L'impiego del sistema ScubaScan per il rilievo 3D dei sarcofagi del relitto di San Pietro in Bevagna (Taranto)*, in XVII Salone dell'Arte del Restauro e della Conservazione dei Beni Culturali e Ambientali.
- SACCARDI 1991** – *Geometria descrittiva*, Firenze, 1991.
- SALVINI s.d** – Salvini, R. Fotogrammetria, Dispense per il Master in Sistemi Informativi Territoriali e Telerilevamento, Centro di Geotecnologie, Università di Siena.
- SELVINI – GUZZETTI 2000** - Selvini A., Guzzetti F., *Fotogrammetria generale*, Torino.
- TIANO et al. 2008** - Tiano P. – Salvo P. – Ceccaroni F., *The Microphotogrammetry as a Portable Diagnostic Tool for Monumental Surface Monitoring*.
- TUCCI et al. 2009** - Tucci G., Bonora V., Crocetto N., Nobile A., Al Turk L., *Rilievi e documentazione di superfici musive a supporto del progetto di conservazione: il caso del Mausoleo del Sultano al-Zahir Baybars in Damascus*, in Atti del Primo Convegno Internazionale "Ravenna Musiva. Conservazione e Restauro del Mosaico Antico e Contemporaneo", Ravenna, 22-24 ottobre 2009, Bologna, Ante Quem, 2010, pp. 441-451.
- UNGARO et al. 2010** - Ungaro L., Del Moro M.P., Vitti M., (a cura di), *I mercati di Traiano restituiti. Studi e restauri 2005-2007*, Roma.
- VANNINI 2009** - Vannini G., (a cura di), *Da Petra a Shawbak, archeologia di una frontiera*, in "Archeologia Viva", 135, Maggio-Giugno, pp.18-31.

SITOGRAFIA

- www.archeomatica.it/rivistaonline/
www.menci.com
www.nital.it
www.rivistageoedia.it
[http://www.treccani.it/enciclopedia/fotogrammetria_\(Enciclopedia-Italiana\)/](http://www.treccani.it/enciclopedia/fotogrammetria_(Enciclopedia-Italiana)/)
 (data 15/11/2012)