

Trasformare le immagini in modelli tridimensionali. Il rilievo delle facciate rupestri attraverso la fotomodellazione

Beniamino Polimeni¹

Riassunto

Le moderne tecniche di rilevamento tridimensionale ci consentono di mettere insieme informazioni quantitative e qualitative utili per generare rappresentazioni innovative degli oggetti architettonici ed archeologici. La fotogrammetria tradizionale, in particolare, è stata profondamente rivoluzionata da nuove applicazioni web-based che generano modelli texturizzati mediante immagini digitali con un intervento minimo da parte dell'utente. Queste nuove tecniche di rilievo ci consentono di acquisire i caratteri geometrici degli oggetti architettonici in un tempo ridotto e con un rapporto ottimale tra l'accuratezza e la facilità di impiego. Quando altri metodi certamente più sofisticati come la scansione laser non possono essere usati per problemi di accessibilità, o quando lo scopo del rilievo necessita di una accuratezza non elevata, la fotomodellazione diventa, per l'accessibilità e l'automazione dei processi, una valida alternativa. L'obiettivo dello studio presentato è quello di analizzare questi nuovi metodi nel rilievo della facciate rupestri presenti nell'area della Cappadocia. Per farlo verranno analizzati alcuni casi di studio con l'intento di verificarne l'affidabilità e comprendere le procedure operative.

PAROLE CHIAVE: fotomodellazione, fotogrammetria a basso costo, rilievo, modellazione 3D, facciate rupestri, Cappadocia.

Abstract

TURNING IMAGES INTO 3D MODEL. 3D SURVEYING OF CAVE FAÇADES TROUGH THE USE OF PHOTO MODELING SOFTWARE

The current techniques of 3D surveying and modelling allow us to put together quantitative and qualitative information useful for creating new and remarkable representations of architectural sites and archaeological objects. Traditional photogrammetry has been particularly revolutionized by software and web-services that automatically generate textured and dense models from user supplied digital imagery, requiring little or no post-processing. These new techniques allows us to acquire metric data about photographed objects in very little time and with a good ratio between accuracy and ease of access. When even other techniques that are certainly more reliable, such as laser scanning, cannot be used for various reasons, or when differences between details leads to a search for more practical solutions in data-collecting operations, Photo Modelling, if the boundary conditions guarantee its correct use, becomes a valid alternative and an excellent tool of automated data-collecting. The aim of this study is to analyze these new methods for creating 3D meshes of Cappadocian Cave façades. To do this, some significant case studies will be analyzed with the purpose of understanding and verifying problems and issues of their reliability.

KEY WORDS: photo modelling, 3D surveying, Cappadocian Cave Façades.

¹ Università degli Studi Mediterranea di Reggio Calabria - Dipartimento di Architettura e Analisi della Città Mediterranea; e-mail: beniamino.polimeni@unirc.it.

INTRODUZIONE

All'interno dell'insieme delle indagini che riguardano la conoscenza dei manufatti rupestri artificiali il tema del rilievo architettonico svolge un ruolo fondamentale.

La conoscenza geometrica dell'oggetto ci consente, infatti, di acquisire le informazioni metriche indispensabili per la comprensione della struttura del manufatto, dei caratteri formali, delle trasformazioni eventualmente subite e delle tecniche di scavo utilizzate.

L'insieme delle elaborazioni prodotte a seguito della restituzione grafica dei dati rilevati funge inoltre da "base topologica", ovvero da supporto su cui registrare in forma sintetica la varietà delle informazioni provenienti dai diversi settori disciplinari impegnati nel processo di conoscenza: la fase diagnostica e progettuale si serve, ad esempio, di carte tematiche per rappresentare, attraverso caratterizzazioni di tipo simbolico, i fenomeni di degrado che condizionano o hanno condizionato lo stato di conservazione dell'oggetto, i materiali, nonché le proposte progettuali che mirano alla conservazione. Nel campo architettonico e archeologico il rilievo ha subito, nell'ultimo decennio, diversi mutamenti tecnici legati essenzialmente alla capacità di restituire modelli digitali tridimensionali senza contatto e con grande accuratezza.

Tali mutamenti hanno determinato un notevole incremento nell'utilizzo di tecniche di modellazione e di rilievo 3D basate sulla scansione laser o generati da scene reali, che presentano ormai passaggi chiari e ben definiti. In questo nuovo ambito la fotomodellazione web-based rappresenta una delle evoluzioni più interessanti.

Nei successivi paragrafi tale metodo di rilievo verrà descritto attraverso l'applicazione su alcuni casi di studio, con lo scopo di definirne procedure, limiti e possibilità operative.

LE NUOVE TECNICHE PER LA FOTO MODELLAZIONE

La fotomodellazione è una tecnica di rilievo di sviluppo recente che consente di creare una nuvola di punti o una *mesh* tridimensionale a partire da un repertorio di immagini raster.

I vantaggi di questa tecnica consistono principalmente nei costi contenuti dell'hardware e nell'accessibilità dei software a disposizione.

Vantaggi particolarmente evidenti se messi a confronto con le tecnologie che si basano sulla scansione laser (tab. 1) che, pur garantendo allo stato attuale una maggiore precisione, presentano dei costi medi ancora elevati (DE LUCA, 2011). Come prodotto della rivoluzione digitale degli ultimi anni la fotomodellazione può essere considerata uno sviluppo della fotogrammetria tradizionale: "la pratica di determinare le proprietà geometriche degli oggetti dalle immagini fotografiche".

I costi, l'accessibilità, la qualità e la diversità dei risultati ottenuti attraverso questa nuova tecnica arrivano oggi a soddisfare i bisogni ed i vincoli (tecnici ed istituzionali) del rilievo a scala architettonica, liberando l'utente finale dalle complesse procedure che la fotogrammetria tradizionale richiedeva durante le fasi che dall'acquisizione delle immagini conducono alla ricostruzione geometrica.

Gli sviluppi recenti nel campo dell'analisi dell'immagine, della visione computazionale e della sensoristica permettono oggi di definire dei trattamenti completamente automatici riguardanti l'estrazione dei punti omologhi, la calibrazione e l'orientamento delle immagini oltre che la generazione delle nuvole di punti o *mesh* poligonali arricchite da *textures* (PIERROT-DESEILLIGNY et al., 2011).

Questa facilità di approccio è testimoniata da un utilizzo sempre crescente di queste tecniche così come testimoniato dalle campagne di rilievo tridimensionale dei siti storici o dei monumenti basate sull'acquisizione delle immagini reperibili online (flickr, google) (SNAVELY et al., 2008) che, sebbene condotte da laboratori di ricerca su campioni di migliaia di file, potranno in futuro rappresentare un nuovo modo di rilevare e studiare il costruito (FRAHM et al., 2010).

In questo saggio limiteremo il campo della nostra indagine all'utilizzo di un software di fotomodellazione gratuito denominato "123D Catch", sperimentandolo su alcuni esempi di facciate rupestri. Il fine è quello di comprendere le procedure applicative ed analizzare i risultati ottenuti.

SOFTWARE LIBERI DI FOTO MODELLAZIONE

I software di fotomodellazione presenti sul mercato differiscono notevolmente per la logica di funzionamento e per le modalità d'uso.

Tra i vari pacchetti esistenti, dopo un attento confronto delle caratteristiche tecniche, la nostra attenzione

Caratteristiche	Fotomodellazione <i>Image based Modelling</i>	Laser Scanner 3D <i>Range-Based Modelling</i>
Maneggevolezza	Ottima	Buona
Tempi di acquisizione	Minori	Maggiori
Dipendenza dalla geometria	Abbastanza dipendente	Indipendente
Dipendenza dalla distanza	Indipendente	Dipendente
Costo della strumentazione	Contenuto	Elevato
Esistenza dei pacchetti <i>open source</i>	Pochi	Molto pochi

Tab. 1 - Sintesi delle principali differenze tra la scansione laser e la foto modellazione.

Tab. 1 - Summary of the main differences between laser scanning and image based modelling.

è stata rivolta a quelli *freeware* e basati su *server web*, che forniscono come risultato finale del rilievo una *mesh* poligonale eventualmente texturizzata.

Tra i vari pacchetti appartenenti a questa categoria abbiamo scelto di concentrarci sul software libero e *cloud-based* 123D Catch della Autodesk¹, al fine di descriverne il funzionamento e l'applicazione all'interno del contesto rupestre.

I motivi di tale scelta dipendono principalmente dalla sua facilità d'uso e dalla sua affidabilità generale. "Catch" appartiene alla famiglia 123D di Autodesk: un insieme di applicativi che possono essere scaricati liberamente il cui scopo è quello di rendere accessibili le operazioni di rilievo 3D basate sulle immagini raster, la modellazione di oggetti complessi e la creazione di modelli fisici.

Basato sugli algoritmi di *structure from motion*, Catch è un servizio *cloud* che, una volta acquisite le immagini dell'oggetto architettonico, le processa restituendo un 3D texturizzato editabile sotto forma di *mesh*. Il processo che porta alla generazione della *mesh* è estremamente semplice: l'utente ha il compito di effettuare un *upload* delle immagini del rilievo sul server, selezionando unicamente il livello di dettaglio necessario. Il server, successivamente, restituisce come *output* un file che contiene la prima versione dei dati processati. La qualità e l'accuratezza del modello sono ovviamente legate alla qualità delle immagini inviate.

Di fondamentale importanza è dunque progettare il rilievo in modo da avere delle buone condizioni di luce, evitando eccessive variazioni di esposizione e illuminazione tra i diversi fotogrammi. Sebbene non sia necessario referenziare le immagini all'oggetto è utile fare in modo che gli scatti siano strettamente concentrati sull'oggetto da restituire.

È inoltre consigliabile prevedere un percorso di ripresa dalla geometria semicircolare, in cui ogni singolo scatto abbia un angolo di circa 15-30° rispetto al successivo, in modo da ottenere delle immagini che in virtù della loro equidistanza siano facilmente confrontabili.

In maniera conforme a quanto accade per altri sistemi di rilievo, va evidenziato come la *mesh* ottenuta può essere caratterizzata da coni d'ombra o parti approssimate, come conseguenza degli angoli di presa e di condizioni di luce di zone particolari (bucature, cavità). Queste imperfezioni possono essere corrette durante le successive fasi di *editing*. Va sottolineato che il software funziona con le immagini provenienti da tutti i moderni dispositivi digitali e non ne richiede la calibrazione.

POST PROCESSING DELLA MESH

L'automazione del processo che conduce dalle immagini alla *mesh* va completato attraverso la fase di *editing*. Autodesk raccomanda l'utilizzo di un *editor* chiamato Meshmixer, allo stato attuale in versione beta, liberamente scaricabile dal sito della casa.

Per mezzo di una interfaccia minimale il software consente di compiere le principali operazioni di *editing* sulla *mesh* importata: le più comuni sono quelle di *filling*, ovvero il riempimento di eventuali parti mancanti nella superficie, e di *smoothing*, utile a ridurre eventuali errori di processamento dovuti a fattori differenti.

Gli algoritmi di *filling* sono tre ed agiscono in modo sostanzialmente differente. L'algoritmo di *filling* di *default* è denominato *COILS*. Questo è ottimizzato per produrre transizioni continue intorno ai bordi della superficie che vanno a diminuire all'interno di essa. L'algoritmo *RotInvCoord* ha invece il vantaggio di presentare una superficie più regolare nelle parti interne delle zone da coprire con un decremento verso quelle esterne, tendendo solitamente a produrre una superficie di riempimento "appiattita".

Il filtro *Membrane* crea invece un'area di riempimento dalla superficie minima e risulta ideale per il riempimento di porzioni ridotte. Anche le operazioni di *smoothing* presentano differenti possibilità, consentendo di variare l'algoritmo impiegato, la scala di applicazione e la sua efficacia.

I due algoritmi di *smoothing* presenti sono denominati *Uniform* e *Cotan*, quest'ultimo è, nella maggior parte dei casi, più efficiente rispetto al primo poiché tende a mantenere la geometria originale dei poligoni dell'area selezionata.

La scelta, l'applicazione ed i parametri relativi a questi filtri dipendono dagli obiettivi e dalla finalità del rilievo. Le operazioni di ottimizzazione ed *editing* sono infatti utili nel rendere esplicita la forma complessiva dell'oggetto ma generano delle superfici che non possono essere utilizzate a scopo metrico.

Una volta completato il processo di ottimizzazione della *mesh* questa può essere usata in vari modi: i dati digitali possono infatti costituire un archivio di risorse "metriche" dell'oggetto utile per estrapolare le misure degli elementi geometrici da analizzare o, alternativamente, possono essere esportati come oggetti 3D da utilizzare su altri software di rappresentazione in modo da integrarsi con ulteriori analisi a scala diversa.

CASI DI STUDIO

La Cappadocia è una regione storica dell'Anatolia un tempo ubicata nell'area corrispondente all'attuale Turchia centrale, che comprende parti delle province di Kayseri (anticamente conosciuta come Cesarea), Aksaray, Niğde e Nevşehir.

La regione è caratterizzata dalle sue peculiari formazioni geologiche e dal suo patrimonio storico e culturale. Il Parco Nazionale di Göreme e i siti rupestri che lo caratterizzano sono stati dichiarati Patrimonio dell'Umanità dall'UNESCO nel 1985.

I casi di studio presentati in questo saggio rappresentano due singolari esempi di facciate rupestri presenti nell'area. Per le loro caratteristiche geometriche e formali, la Durmuş Kadir Kilise (Chiesa di Durmuş Kadir) a Göreme e la Karşı Kilise (Chiesa di San Giovanni) a Gulşehir, costituiscono, infatti, gli "estremi" di un insieme di esempi che si presentano con caratteri forte-

¹ Autodesk® 123D™ Catch, Autodesk MeshMixer™ are registered trademarks or trademarks of Autodesk, Inc.

mente variegati lungo tutto il territorio della regione. La Durmuş Kadir Kilise, probabilmente costruita tra il sesto ed il settimo secolo dopo Cristo, è una chiesa rupestre costituita da due vani rettangolari adiacenti. Il vano principale è diviso in tre parti da spesse colonne rettangolari in mezzo alle quali è situata la fonte battesimale. Sul vano secondario sono presenti le testimonianze archeologiche di alcune tombe scavate all'interno della struttura ad altezze differenti. La configurazione dei due vani ha un legame architettonico forte con le aperture esterne che scandiscono la facciata mantenendo l'equilibrio presente in pianta, con uno stretto rapporto tra le parti "piene" e le parti "scavate". La chiesa di San Giovanni a Gulşheir, probabilmente costruita all'inizio del tredicesimo secolo, ha invece una facciata semplice, senza discontinuità, scandita da alcune decorazioni scavate sulla parte corrispondente al primo livello. Si tratta dunque di due esempi eterogenei che testimoniano la ricca varietà formale presente all'interno delle facciate rupestri di questi territori.

ACQUISIZIONE DELLE IMMAGINI

Per l'acquisizione delle immagini è stata usata una Camera digitale modello Canon EOS 350 con un sensore da 8 megapixel ed uno zoom Canon con una lunghezza focale che va dai 18 ai 55mm nel formato APC, usato prevalentemente in modalità grandangolare.

Il motivo di questa scelta è da legarsi alla possibilità di introdurre all'interno del fotogramma il maggior numero possibile degli elementi dell'oggetto, oltre che alla necessità di avere una maggiore profondità di campo ed evitare eventuali fuori fuoco. Per il rilievo della Durmuş Kadir Kilise (fig. 1) sono state acquisite undici immagini orizzontali cercando di seguire un percorso semicircolare orientato da est ad ovest con un intervallo tra una immagine e l'altra compreso tra i 10° ed i 15°.

Per la chiesa di San Giovanni (fig. 2) a Gulşheir sono state invece utilizzate otto immagini con un percorso che va da ovest ad est limitando il rilievo alla parte



Fig. 2 - Chiesa di San Giovanni.
Fig. 2 - St. John rocky Church.



Fig. 1 - Durmuş Kadir Kilise.
Fig. 1 - Durmuş Kadir Kilise.

inferiore della facciata. Il motivo di tale scelta è stato dettato dall'impossibilità ambientale di ottenere degli scatti utili al rilievo di tutta la facciata. In questo caso, date le particolari condizioni di luce si è optato per l'utilizzo del cavalletto, in modo da poter privilegiare dei diaframmi intermedi che potessero garantire una adeguata profondità di campo e le migliori prestazioni delle lenti usate. Va infine sottolineato come in entrambi i casi le immagini sono state acquisite in modalità RAW e convertite in JPG solo successivamente ad una fase di *editing* al computer.

RISULTATI

Dopo avere effettuato l'*upload* della sequenza delle immagini all'interno di 123D Catch è stata ottenuta una prima *mesh* texturizzata iniziale. Per entrambi gli oggetti sono state effettuate le prime operazioni di *editing* direttamente da 123D con l'eliminazione delle parti della scena che non avevano un interesse specifico nello studio della facciata. Il software consente di selezionare la qualità dell'*output* finale attraverso la selezione della risoluzione della *mesh* da esportare.

Per entrambi i modelli si è scelto di utilizzare una qualità media, utile per diversi processi di analisi e visualizzazione. La *mesh* è stata esportata in formato OBJ per la successiva fase di *editing* all'interno di MeshMixer. In questa fase l'unica funzione utilizzata è stata quella "Fill" necessaria per chiudere i piccoli buchi generati da 123D nel primo esempio a causa dei coni d'ombra presenti all'interno della sequenza, con dei buoni risultati dal punto di vista visivo. Sia in un caso che nell'altro il processo che va dall'*upload* delle immagini alla generazione della *mesh* è stato rapido e senza interruzioni significative.

Le differenze riscontrate all'interno dei files finali dipendono essenzialmente dalla geometria e dalla posizione delle prese. Nel caso della Durmuş Kadir Kilise (fig. 4) la geometria della facciata, caratterizzata da profonde bucatore, ha generato una superficie complessiva accurata nelle parti visibili della scena e nell'intorno ambientale, con delle incertezze all'interno di tutte le parti profonde al di sotto delle ampie bucatore.



Fig. 3 - Durmuş Kadir Kilise, mesh poligonale della facciata. La texture è stata rimossa per evidenziare le caratteristiche geometriche dell'oggetto.

Fig. 3 - Durmuş Kadir Kilise, polygonal mesh of the façade. The texture has been removed to highlight the geometrical characteristics of the object.



Fig. 4 - Durmuş Kadir Kilise, mesh poligonale della facciata. La texture è stata rimossa per evidenziare le caratteristiche geometriche dell'oggetto.

Fig. 4 - Durmuş Kadir Kilise, polygonal mesh of the façade. The texture has been removed to highlight the geometrical characteristics of the object.

Il rilievo di queste parti meriterebbe probabilmente una ulteriore campagna di analisi, utile a generare ulteriori parti tridimensionali da unire con la *mesh* iniziale. Il risultato complessivo è comunque compatibile con gli scopi del rilievo in termini di resa geometrica e accessibilità.

Nel caso della chiesa di San Giovanni (fig. 5) le caratte-



Fig. 5 - Chiesa di San Giovanni a Gulşehir, mesh poligonale della facciata. La texture è stata rimossa per evidenziare le caratteristiche geometriche dell'oggetto.

Fig. 5 - Church of St. John at Gulşehir at Gulşehir, polygonal mesh of the façade. The texture has been removed to highlight the geometrical characteristics of the object.



Fig. 6 - Chiesa di San Giovanni a Gulşehir, mesh poligonale della facciata. La texture è stata rimossa per evidenziare le caratteristiche geometriche dell'oggetto.

Fig. 6 - Church of St. John at Gulşehir at Gulşehir, polygonal mesh of the façade. The texture has been removed to highlight the geometrical characteristics of the object.

ristiche di accuratezza sono uniformi su tutta la *mesh* estrapolata nonostante il limitato numero di scatti effettuato.

Tale risultato è dovuto principalmente alle caratteristiche geometriche della facciata che non presenta buca- ture o porzioni scavate profonde. Anche in questo caso il risultato ottenuto è compatibile con gli scopi del rilievo e si presta a possibili integrazioni di altre sequenze di immagini.

CONCLUSIONI

Le attuali tecniche di rilievo digitale tridimensionale permettono di ottenere informazioni geometriche e colorimetriche molto più complete di quelle accessibili attraverso le tradizionali tecniche di rilievo.

La fotomodellazione in particolare consente di acquisire dati metrici degli oggetti rilevati con tempistiche ridotte e con ed un buon rapporto tra accuratezza ed accessibilità (CHANDLER & FRYER, 2011).

Quando anche altre tecniche certamente più affidabili,

come la scansione laser, non possono essere utilizzate per diverse ragioni, o quando un'eterogeneità di dettagli porta a ricercare soluzioni di maggiore praticità nelle operazioni di rilevamento, la fotomodellazione, se le condizioni al contorno ne garantiscono una corretta applicazione, diviene una valida alternativa ed un ottimo strumento di rilievo automatizzato.

I grandi vantaggi sono quindi legati ai costi e all'automatizzazione dei processi.

Gli svantaggi principali sono invece connessi alla stretta dipendenza del rilievo dal contesto ambientale, ovvero dal rapporto fra le immagini generatrici e il modello ottenuto.

È evidente quindi come in determinate condizioni di luce o nell'impossibilità di effettuare un numero sufficiente di scatti utili al rilievo sia probabile il mancato raggiungimento di risultati soddisfacenti.

Ciò che appare interessante, allo stato attuale, è la possibilità di integrare molteplici tecniche di rilievo esistenti, ognuna con i suoi pregi ed i suoi difetti, in relazione alle loro caratteristiche e prestazioni specifiche (REMONDINO, 2011).

Bibliografia

- CHANDLER J., FRYER J., 2011, Accuracy of AutoDesk 123D Catch? Aboriginal cave remeasurement using digital photogrammetry - Jim Chandler and John Fryer. [Online]: <http://www.staff.lboro.ac.uk/~cvjhc/OtherFiles/Accuracy%20of%20123DCatch.htm>.
- DE LUCA L., 2011, La fotomodellazione architettonica. Rilievo, modellazione, rappresentazione di edifici a partire da fotografie. Dario Flaccovio ed., Palermo, p. 20, ISBN 978-88-579-0070-4.
- FRAHM J.M., GEORGEL P., GALLUP D., JOHNSON T., RAGURAM R., WU C., JEN Y.-H., DUNN E., CLIPP B., LAZEBNIK S., POLLEFEYS M., 2010, Building Rome on a Cloudless Day. In 11th European Conference on Computer Vision ECCV, September 5-11, 2012, Crete, Greece.
- PIERROT-DESEILLIGNY M., DE LUCA L., REMONDINO F., 2011, Automated Image-Based Procedures for Accurate Artifacts 3D Modeling and Orthoimage. In XXIIIrd International CIPA Symposium, September 12-16, 2011, Prague, Czech Republic.
- REMONDINO F., 2011, 3D surveying and modelling of complex architectural sites and heritage objects. DISEGNARE-CON, vol. 4, pp. 90-98, ISSN 1828-5961.
- SNAVELY N., SEITZ S.M., SZELISKI R., 2008, Modeling the World from Internet Photo Collections, in International Journal of Computer Vision, vol. 80, pp. 189-210, ISSN 1573-1405.