

LA MEMORIA DIGITALE DELLA FORMA GEOMETRICA: SCANNER 3D E FOTOGRAMMETRIA DIGITALE PER LA REALIZZAZIONE DI MODELLI VIRTUALI, PER LA RIPRODUZIONE, PER LA CONSERVAZIONE E PER LA RIATTUALIZZAZIONE DI OGGETTI

Caterina BALLETTI, Francesco GUERRA, Paolo VERNIER

Università IUAV di Venezia – Circe Laboratorio di Fotogrammetria
Tolentini S.Croce 191, 30135 Venezia
balletti@iuav.it; guerra2@iuav.it; vernier@iuav.it

Attualmente le attività di ricerca svolte dal laboratorio di fotogrammetria del Circe si propongono due obiettivi generali: il primo è di verificare metodi e strumenti per il rilievo di oggetti di dimensione contenuta, come modelli lignei, globi terrestri e particolari architettonici (come ad esempio i capitelli di uno stesso ordine che nel corso dei secoli si realizzarono in diverse varianti) dei quali si intende analizzare l'impianto geometrico di base confrontandolo rispettivamente con le realizzazioni architettoniche (nel caso dei modelli lignei), la cartografia coeva (nel caso dei globi) e le varianti (nel caso dei capitelli).

Le strumentazioni che si intendono mettere a confronto sono:

- i sistemi di scansione 3D ottici (triangolatori, conoscopia, luce strutturata, ecc.) e
- i sistemi fotogrammetrici digitali, monoscopici, stereoscopici e automatici.

Il confronto riguarderà gli aspetti metrici (precisione e ripetibilità) e quelli applicativi (caratteristiche e praticità d'uso) in relazione a classi di oggetti. Il secondo riguarda in particolare la richiesta di un'adeguata modalità di rappresentazione, nel tentativo di affrontare la sempre aperta questione relativa alla rappresentazione dello stato iniziale/ideale di un manufatto nei confronti di quello che risulta dal rilievo numerico effettuato.

La strada che si intende seguire è quella della costruzione di modelli digitali tridimensionali dei dati rilevati che seguano entrambi i percorsi (geometrie ideali-geometrie rilevate) e di valutare l'efficienza dei modelli digitali creati in relazione da una parte alla natura degli oggetti stessi, dall'altra dalla necessità/volontà di ri-attualizzare e ri-utilizzare gli oggetti originali.

Il primo obiettivo è strettamente ed essenzialmente di ordine tecnico e si propone di affrontare problematiche proprie dei settori scientifici che si occupano di misura e di rappresentazione. Il secondo obiettivo, invece, pur partendo, e non trascurando, le considerazioni tecniche, vuole affrontare il difficile rapporto tra virtuale e reale che attualmente è uno dei temi principali attorno a cui ruota il dibattito sulla divulgazione e diffusione delle conoscenze relative ai beni culturali.

I sistemi a scansione hanno, negli ultimi anni, sostituito il rilievo fotogrammetrico sia nel caso dell'architettura che in quello di oggetti più piccoli (particolari, statue, vasi, ecc.). Gli strumenti utilizzati per le scansioni tridimensionali sono comunemente chiamati laser scanner. Con questo nome si intendono sia i sistemi basati su triangolazione che quelli a tempo di volo: i primi sono utilizzati su oggetti di piccole dimensioni mentre i secondi sono impiegati per rilievi di architetture (o parti di città) o di porzioni di territorio (cave, frane, ecc.).

I principi di funzionamento degli scanner 3d a triangolazione rispetto a quelli a tempo di volo sono completamente diversi anche se il dato che da essi si deriva è tipo logicamente molto simile: una

nuvola di punti che descrive la superficie dell'oggetto rilevato. Semplificando si può considerare uno scanner 3D a tempo di volo un strumento assai simile ad una stazione totale automatizzata estremamente veloce nell'acquisizione delle osservazioni; lo scanner a triangolazione invece è molto vicino ai sistemi fotogrammetrici che si basano sul principio della triangolazione spaziale.

Infatti due camere digitali calibrate di cui è noto l'orientamento relativo e assoluto o un sensore d'immagine ed un emettitore di luce strutturata in posizione ed orientamento noti sono sostanzialmente equivalenti.

Tra gli operatori del rilievo si è verificato, dopo l'abbandono della fotogrammetria per i sistemi 3D, ad un ritorno verso i metodi fotogrammetrici; questo è legato all'evoluzione della fotogrammetria che ha trovato nuova linfa in due fattori: l'elevata potenza di calcolo a basso costo e strumenti di acquisizione di immagini digitali ad altissima risoluzione. Informatica ed elettronica hanno permesso la realizzazione di nuovi sistemi fotogrammetrici che, utilizzando i tradizionali principi operativi di misura, si propongono come alternativi ai sistemi a scansione.

Testimonianza di questa evoluzione (o solo tendenza) è la proposta sul mercato di prodotti che propongono la "scansione senza scanner": si tratta di sistemi fotogrammetrici digitali che sfruttando la autocorrelazione tra le immagini forniscono in uscita un set di punti distribuiti sull'oggetto (la nuvola di punti).

Questa sostanziale uniformità del metodo di rilievo (la triangolazione) tra fotogrammetria e scansione 3D a luce strutturata è il punto di partenza della ricerca, che vuole indagare la possibilità di utilizzare in modo alternativo i sistemi di rilievo fotogrammetrico digitale e sistemi scansione 3D a triangolazione nel caso di oggetti di piccole-medie dimensioni.

Si vogliono valutare da una parte le precisioni raggiungibili e dall'altra le condizioni operative che nel caso degli oggetti indicati possono essere determinanti nella scelta della strumentazione: si pensi per esempio ad oggetti a tutto tondo o che presentino sottosquadri o abbia collocazioni di difficile accesso.

Dopo la comparazione e la valutazione delle tecniche di acquisizione e dalla accuratezza dei dati ottenuti, verrà poi verificata la reale utilizzabilità dei dati per la realizzazione di modelli digitali degli oggetti in contesti e modalità differenti. Non è infatti scontato che dati densi ed estremamente accurati siano garanzia di modelli utili: altri parametri devono essere tenuti in considerazione come ad esempio la completezza, l'uniformità di distribuzione, la quantità (che si traduce in l'occupazione di memoria) la trasmissibilità ecc. Queste ultime caratteristiche sono legate sia alle caratteristiche dell'oggetto che all'uso del modello.

La ricerca si propone dunque due obiettivi:

- il primo è quello di confrontare, sperimentandoli sul campo, metodi, le tecniche e gli strumenti della fotogrammetria digitale e della scansione 3D, per l'acquisizioni dei dati necessari alla creazione di modelli digitali tridimensionali di oggetti di dimensione contenuta (ordine di grandezza 1mc). Le strumentazioni che si intendono mettere a confronto sono:
- i sistemi di scansione 3D ottici (triangolatori, conoscopia, luce strutturata, ecc.) e
- i sistemi fotogrammetrici digitali.

Il confronto riguarderà gli aspetti metrici (precisione e ripetibilità) e quelli applicativi (caratteristiche e praticità d'uso) in relazione a classi di oggetti. Il primo obiettivo essendo essenzialmente di ordine tecnico e si propone di affrontare problematiche proprie dei settori scientifici che si occupano di misura e di rappresentazione, in cui l'applicazione di strumenti hardware (acquisizione) e software (trattamento dei dati) ha un ruolo predominante.



HANDYSCAN di
Creaform 3d



LS3D di Deltag



Scanprobe LT di
Scansystems



LS3DE di
FAE



Vivid VI-910 di
Minolta

- il secondo è quello di individuare e studiare le possibilità di realizzare modelli tridimensionali con i dati rilevati e di valutare l'efficienza dei modelli digitali creati in relazione da una parte alla natura degli oggetti stessi, dall'altra allo scopo dalla necessità/volontà di ri-attualizzare e ri-utilizzare gli oggetti originali.

In questa fase, partendo da quanto precedentemente analizzato, si vuole affrontare il difficile rapporto tra virtuale e reale che attualmente è uno dei temi principali attorno a cui ruota il dibattito sulla divulgazione e diffusione delle conoscenze relative ai beni culturali.

Nella costruzione dei modelli digitali, da impiegarsi nella esplorazione e gestione virtuale degli oggetti, le modalità di acquisizione dei dati è una questione essenziale. Una attenta riflessione, basata su sperimentazioni e confronti fra tecniche e strumenti, è necessaria nell'economia scientifica e intellettuale dell'operazione di virtualizzazione.

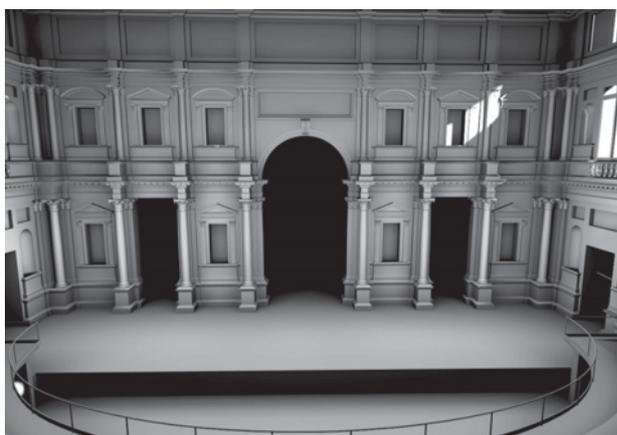


Fig.1 Teatro Olimpico di Vicenza di Andrea Palladio. *Fig.2* Esempio di modello digitale ottenuto da dati laser scanning e fotogrammetria digitale. Rilevo e rappresentazione eseguiti da SAT-SURVEY, collaudatore: prof. Francesco Guerra

Si vuole qui ribadire un concetto ben noto a coloro che si occupano di rilievo ovvero che ogni rilievo deve essere finalizzato, deve essere destinato a un preciso scopo.

Gli oggetti sui quali si vogliono applicare le tecniche di acquisizione e studiare le modalità di fruizione attraverso modelli digitali, hanno quale caratteristica comune la loro unicità che implica la necessità della loro conservazione. Questo comporta il più delle volte l'impossibilità di una loro fruizione che non sia quella museale.

Al fine compiere le sperimentazioni relative sia acquisizione che alla fruizione dei modelli digitali si sono individuati 4 tipologie di oggetti che, dal punto di vista della forma, presentano una grande finezza di dettaglio:

- a) i modelli lignei di facciate di palazzi o chiese (p.e. il modello ligneo di Ca' Venier dei Leoni, sul Canal Grande a Venezia, progetto solo in parte realizzato e oggi sede del museo Guggenheim)
- b) le matrici lignee delle k lografie (p.e. le tavole lignee della pianta prospettica del 1500 di Jacopo De Barbari),
- c) i globi,
- d) elementi architettonici di dettaglio come i capitelli classici.

Attualmente la sperimentazione è stata fatta sui globi, in particolare su uno dei globi di Vincenzo Coronelli conservato alla Biblioteca Marciana a Venezia.



Fig. 3 Acquisizione laser del globo di Coronelli e materializzazione del sistema di riferimento

Fig. 4 Nuvola di punti con valore RGB



Fig. 5 acquisizione laser di un basso rilievo; Fig. 6 Nuvola di punti rilevata con Scanprobe LT di Scansystems

Il raggiungimento del primo obiettivo prevede l'organizzazione del lavoro in 5 fasi:

1. studio delle caratteristiche di vari sistemi di scansione 3D, reperimento di strumenti commerciali o prototipi, test di acquisizione 3D di oggetti campione pre-controllati metricamente e valutazione delle caratteristiche riscontrate. Si prevede l'utilizzo di oggetti calibrati che verranno scanditi con i vari scanner 3D che verranno messi a disposizione o presso i laboratori universitari o presso le aziende o gli enti che producono gli strumenti.
2. studio dei sistemi fotogrammetrici e organizzazione dei test come al punto precedente.
3. scansione 3D e rilievo fotogrammetrico degli oggetti individuati e valutazione comparata dei risultati ottenuti. I rilievi dovranno essere effettuati presso le sedi in cui gli oggetti sono conservati spostando la strumentazione. Questo comporterà anche una valutazione della praticità di utilizzo dei diversi sistemi di rilievo.
4. test di software di modellazione e individuazione di quelli più efficienti rispetto alle caratteristiche degli oggetti. Questo avverrà trattando uno stesso set di dati provenienti dal rilievo 3D (sia fotogrammetrico che scanner) con diversi software, scritti per esigenze differenti, dal reverse engineering di pezzi meccanici, alla modellazione di corpi organici, alla cartografia, ecc.
5. costruzione dei modelli 3D e verifica della sua accuratezza. Dopo aver individuato il software ottimale per le caratteristiche dell'oggetto si procede alla costruzione del modello 3D degli oggetti dai data set fotogrammetrico e scanner e si procede alla verifica comparata. La verifica del modello è un momento essenziale: infatti il modello digitale, per poter essere considerato una efficiente memoria della forma geometrica, deve essere correttamente operativo per le

applicazioni finali descritte nel paragrafo successivo. Questa definizione operativa dell'accuratezza pecca forse di un eccessivo relativismo che costringe ad attendere la fine della ricerca per poter valutare i risultati. In questa fase si intende invece verificare i dati di rilievo attraverso il confronto tra dimensione minima del dettaglio che si vuole rilevare e risoluzione spaziale della dei dati stessi.

Il secondo obiettivo parte dal risultato del primo, ovvero dal modello digitale che rappresenta la memoria tridimensionale dell'oggetto che ne preserva la forma geometrica. Si tratta di individuare le possibili applicazioni del modello digitale che possono essere divise in due grandi classi:

- quelle che prevedono la realizzazione di copie fisiche dell'oggetto,
- quelle che invece utilizzano direttamente il modello digitale virtuale.

Rispetto alle tipologie degli oggetti precedentemente indicati, le applicazioni che si intendono sperimentare sono le seguenti:

a) per i modelli lignei delle facciate si intende organizzare un archivio esplorabile che consenta la fruizione da parte del pubblico via web. Si vuole poi confrontare il modello ligneo rilevato con i disegni di progetto corrispondenti. Si intende infine verificare la possibilità di utilizzare il modello digitale all'interno di city model che rappresentino una "città possibile" ad un tempo determinato, compiendo dunque delle simulazioni di configurazioni urbane immaginate. Una ulteriore ricaduta dello studio su questi modelli, è la possibilità di archiviare e diffondere le collezioni di plastici di architettura che spesso costituiscono un patrimonio di grande rilevanza dei musei di architettura ma che risultano difficilmente conservabili ed esponibili;

b) per le matrici lignee delle k lografie che non sono più utilizzabili per la stampa si intende sperimentare la costruzione di una copia fisica che possa poi essere utilizzata per una eventuale nuova tiratura. Si tratta in questo caso di una ri-attualizzazione delle matrici in cui la copia non è solo rappresentazione ma diventa operativa. Si può parlare di reverse engineering in quanto il modello digitale prodotto dalla scansione contiene tutte le deformazioni che le tavole originali presentano. Si pone perciò la necessità di modificare il modello digitale per ottenere la geometria della matrice propria dell'originale al momento della sua produzione. Infatti spesso le matrici lignee presentano delle deformazioni della superficie dalla planarità necessaria alla funzione di stampa. Tale planarità andrà recuperata modificando il modello digitale prima della sua hardcopy.



Fig.7 Sistema composta da handyscan e macchina digitale per l'acquisizione di geometria e immagine

Fig.8 Ortofoto di un singolo foglio del Libro dei Globi



Fig 8 Modello virtuale del globo e mappatura con i fusi del Libro dei Globi

c) i globi sono rappresentazioni della terra poco studiati e poco conosciuti dal grande pubblico. Il problema risiede soprattutto nella difficoltà nella gestione e nella riproduzione di questi modelli della terra. Il rilievo geometrico mediante scansione 3D, correlato ad una rigorosa assunzione di immagini digitali in grado di descrivere un modo completo la superficie disegnata consentirà di creare due differenti prodotti digitali: le rappresentazioni piane e il modello 3d virtuale. Evidentemente le rappresentazioni piane sono ottenibili dall'applicazione delle consolidate proiezioni cartografiche alla "terra virtuale" costituita dal modello digitale del globo. Si intende però nella ricerca mantenere entrambe le rappresentazioni (2D e 3D) in rispetto alla tradizione della cartografia. Di particolare importanza è lo studio dei fusi di carta o di pergamena che costituiscono il rivestimento dei globi: il loro rilievo e il loro studio costituisce un altro esempio di reverse engineering applicato ai beni culturali. Si ricorda infine l'esistenza dei "libri dei globi" nei quali sono contenuti proprio i fusi di cui sopra e che potrebbero essere significativamente confrontati con quelli rilevati;

d) la rappresentazione dei capitelli sono una applicazione classica del rilievo architettonico e archeologico. L'applicazione si intende testare è la costruzione di serie di modelli 3D che permettano di evidenziare le filiazioni dai modelli antichi, ovvero le derivazioni di alcuni capitelli rinascimentali da modelli classici. In questo caso si prevedono delle animazioni che descrivano, attraverso il morphing tridimensionale e affinità.

L'esito della ricerca da poco iniziata consisterà in tre distinti prodotti:

1. Un insieme di norme e di procedure per:
 - a. la conduzione del rilievo degli oggetti descritti individuando le tecniche più appropriate,
 - b. la costruzione dei modelli digitali degli oggetti che costituiscono la memoria della loro forma.
2. Le applicazioni a quattro casi reali (uno per tipologia di oggetti) delle norme e procedure individuate realizzando i modelli e utilizzandoli operativamente secondo quanto descritto.
3. La divulgazione, attraverso pagine 3d web, dei modelli e delle procedure per ottenerli.

Bibliografia

Guerra F., Balletti C. (2006) . Rilievo con laser scanner 3D: applicazioni per la conoscenza dei beni culturali. In: Crosilla F., Dequal S., Laser Scanner Terrestre. ISBN: 8 -8137 -19-9. UDINE: CISM (ITALY).

Guidi G., Beraldin J.A., Acquisizione 3D e modellazione poligonale. Dall'oggetto fisico al suo calco digitale, Milano, POIL.design, 2004 ISBN 88-98 -53-1