

La conoscenza nella forma digitale: trasmissibilità nel tempo e nello spazio del Bene Culturale. La cavalcata equestre di Vespasiano Gonzaga

Luigi Fregonese (*), Laura Taffurelli (**), Francesco Fassi (**), Cristiana Achille (**)

(*) Politecnico di Milano, Dip. BEST, Laboratorio LARIFO, Via Scarsellini, 15 31100 Mantova

(**) Politecnico di Milano, Dip. BEST, Laboratorio 3D-Survey, gruppo SITECH, Piazza Leonardo da Vinci, 32 Milano
(luigi.fregonese,laura.taffurelli, francesco.fassi, cristiana.achille)@polimi.it

Key words: Beni Culturali, Rilievo con sensori attivi TLS, Modellazione 3D, Reverse Engineering.

Riassunto

La digitalizzazione tridimensionale di un bene artistico-architettonico rende possibile la creazione di un archivio digitale ad alta risoluzione delle sue caratteristiche topologiche e di conseguenza materico-conservative. Con l'acquisizione di range images (Guidi ed al., 2010) e l'integrazione del dato visibile o multi-spettrale in un modello 3D, opportunamente generato, è possibile fornire il supporto necessario alle indagini diagnostiche e di monitoraggio, utili alla manutenzione e al restauro, oltre che la possibilità di indagare attraverso l'analisi della forma, le congruenze stilistiche, formali e storiche del manufatto. La virtualizzazione della geometria porta necessariamente a una maggiore fruibilità e alla valorizzazione del bene in termini di conservazione e conoscenza, grazie alla trasmissibilità nel tempo e all'integrazione delle informazioni raccolte.

Questo studio focalizza la sua attenzione sull'applicabilità di un sistema laser a scansione terrestre al rilievo di sculture di media dimensione e la possibilità di generare, tramite mesh poligonali, un modello 3D per la riproducibilità e restituzione solida del manufatto a fini divulgativi. La statua equestre del duca Vespasiano Gonzaga a Sabbioneta (Mantova) costituisce un esempio applicativo su cui testare metodi e strumenti e valutare il processo di acquisizione e modellazione 3D.

Abstract

The three-dimensional digital survey of an artistic and architectural Cultural Heritage allows to create a high resolution digital archive of its topological features and therefore of its material and conservative features. Thanks to range images acquisition (Guidi et al., 2010) and visible or multi-spectral data integration into an optimized 3D model, we can provide the necessary support for diagnostic and monitoring, useful to maintenance and restoration, as well as to the possibility of checking by means of shape analysis, stylistic formal and historical suitability of the artifact. Necessarily digital shape acquisition leads to greater usability and exploitation of the artifact in terms of conservation and knowledge, thanks to over time transmissibility and gathered data integration.

This study focuses its attention on the applicability of terrestrial laser scanner system to surveying medium sized sculptures and towards the possibility of creating, with polygon meshes, a 3D model for the reproducibility and solid depiction for dissemination purposes. The duke Vespasiano Gonzaga's equestrian statue in Sabbioneta (Mantova) is an example to test and evaluate methods and tools of the acquisition processes and 3D modeling.

Introduzione

In un contesto necessariamente multidisciplinare il rilievo è materia caratterizzata da un doppio compito: da una parte quello analitico, finalizzato a definire la conoscenza del Bene Culturale dal punto di vista geometrico materiale, radiometrico, con analisi dei dissesti e dei degradi atti a descrivere quadri diagnostici dello stato di conservazione, di degrado o di rischio; dall'altra quello metodologico-sperimentale, il cui obiettivo è quello di definire le migliori strategie di intervento in merito alle strumentazioni utilizzabili, alle metodologie di applicazione ed alla ricerca delle forme migliori di rappresentazione, nonché, come ultimo aspetto, la sostenibilità economica funzione delle scelte sui metodi di rappresentazione del rilevato.

L'approccio conoscitivo applicato ai metodi di rilievo e di restituzione dei Beni Culturali parte dalla definizione data dall'art. 29 del Codice dei Beni Culturali in cui si afferma che "La conservazione del patrimonio culturale è assicurata mediante una coerente, coordinata e programmata attività di studio, prevenzione, manutenzione e restauro". In questa definizione si considera l'attività di rilievo come un'attività complessa che richiede un approccio globale nella definizione dei modelli di organizzazione, nelle strategie conoscitive e attuative.

Questa ricerca ha affrontato il tema della conoscenza della statua equestre di Vespasiano Gonzaga confrontando il dato materiale con il documento storico e la sua memoria. In particolare la scelta di rilevare l'oggetto con un laser scanner terrestre ad alta risoluzione fa sì che il modello tridimensionale costituito dalla semplice nuvola di punti, sia risultato sufficientemente denso da permettere di distinguere e di monitorare con estrema chiarezza particolari e dettagli dell'ordine di qualche millimetro. Il modello tridimensionale che si è creato, partendo da questi punti, ha permesso tutta una serie di analisi e di confronti importanti per definire lo stato dell'opera d'arte. E' chiaro che le procedure di rilievo e le relative metodologie offrono oggi un vasto campo applicativo tuttora da investigare.

L'altro campo di indagine è stato quello storico. Ogni opera artistica, e la Cavalcata di Sabbioneta non fa eccezione, presenta una ricchezza di contenuti storici e artistici che possono essere colti con l'osservazione diretta, ma anche con quella documentale del contesto artistico e architettonico nella quale essa è inserita. Si è tentato di vagliare ogni testimonianza, scritta e figurata, che è stato possibile reperire. Se si considerano la distruzione dell'archivio di Sabbioneta e la pressoché totale assenza di materiale relativo al gruppo statuario in ogni altra sede di ricerca, non meraviglia che la Cavalcata non sia mai stata argomento di studio approfondito, ad esclusione dei recenti restauri del 2009, successivi a questa ricerca. Tuttavia, questo studio condotto dal gruppo di lavoro del Laboratorio di Rilievo e Fotogrammetria LARIFO del Polo Regionale di Mantova del Politecnico di Milano, ha contribuito a introdurre alcune interessanti novità.

1- Il caso studio: la cavalcata equestre di Vespasiano Gonzaga



Figure 1-2 – La cavalcata equestre di Vespasiano Gonzaga, Palazzo Ducale di Sabbioneta (Mantova), autore incognito, 1587circa.

Realizzata su richiesta del duca Vespasiano Gonzaga dopo il 1587, negli anni in cui egli conseguì gli importanti riconoscimenti del cavalierato del Toson d'oro e il passaggio a ducato dei suoi territori, la cavalcata sabbionetana costituisce una celebrazione delle virtù militari proprie e familiari ed una testimonianza delle sue dirette discendenze dinastiche.

Composta in origine da 10 statue lignee, fu per buona parte distrutta da un incendio che coinvolse il Palazzo Ducale nel 1815, per cui oggi giungono fino a noi integralmente solo quattro cavalieri, tra i quali fortunatamente è presente lo stesso committente.

L'attribuzione dell'opera è ancora incerta, ma è noto che fu commissionata a un autore di origine veneziana il quale la realizzò interamente in legno decorato e dipinto. I personaggi sono i principali signori Gonzaga e i diretti discendenti del ramo di Sabbioneta, di cui Vespasiano fu il massimo rappresentante.

Il rilievo della statua equestre del duca condottiero - umanista costituisce la prima documentazione dettagliata e completa dell'opera, sia dal punto di vista geometrico che di rappresentazione delle caratteristiche del colore e della superficie. È stata infatti condotta un'acquisizione tridimensionale della forma per la realizzazione di un modello digitale, per la trasmissibilità nel tempo dell'opera artistica in un formato accessibile e visualizzabile da utenti web, oltre che per l'utilizzo del datum da parte di operatori nel campo della conservazione e del restauro. Il "catalogo digitale" costituito dal modello 3D può essere arricchito di informazioni utili alla conoscenza dell'opera (dati storici, analisi chimico-fisiche, dati multi spettrali, ecc.) ma consente anche molteplici proposte di visualizzazione.

Il rilievo con sensore attivo range based è stato accompagnato da un rilievo fotografico con camera digitale calibrata per la realizzazione di un modello 3D realistico, attraverso l'applicazione di textures.

2. I metodi di acquisizione

Il rilievo di beni culturali attraverso l'acquisizione di dati 3D e la creazione di modelli sta sempre più individuando standards e procedure al fine di ottenere prodotti qualitativamente e quantitativamente validi in accordo con le strumentazioni e le metodologie utilizzate, con le esigenze tecniche, le finalità da raggiungere e le possibilità di archiviazione dati (Remondino e Rizzi, 2009). Nel caso di manufatti e beni artistici di dimensioni ridotte come statue, elementi architettonici, decori, ecc, il rilievo può essere condotto attraverso sistemi image-based o range based, che possano assicurare l'accuratezza necessaria a descrivere correttamente il contenuto radiometrico e formale dell'oggetto. La scala di rappresentazione utilizzata in fase di restituzione condiziona fortemente la scala del modello e le precisioni richieste, che in questi casi variano da qualche millimetro fino ad accuratezze sub-millimetriche. Per questo motivo spesso è necessaria l'integrazione di varie metodologie per poter assicurare il risultato voluto.

I sensori laser attivi (a triangolazione, a differenza di fase, ad impulsi) e le immagini digitali portano alla generazione di nuvole o grigliati di punti che, una volta registrati e strutturati, possono essere elaborati per la creazione di superfici mesh. Dopo vari processi di integrazione o segmentazione, riduzione, semplificazione, chiusura dei buchi e risoluzione degli errori, si passa alle fasi di restituzione (con o senza texture) ed analisi. Naturalmente più è complesso il caso di studio, più è difficile la totale automazione dei passaggi sopra descritti, comportando un necessario apporto di interazione da parte dell'utente.

Si possono presentare inoltre problemi di occlusioni date dalle complesse geometrie dei modellati o come spesso accade problemi dovuti alle risposte diverse dei materiali e alle riflessioni delle superfici che costituiscono il bene rilevato, determinando errori topologici, errori grossolani e a volte mancanza totale di dato. Questo può essere del tutto o in parte risolto con un approccio alla modellazione di dati multi sorgente (Fassi ed altri, 2010).

2.1 Rilievo laser della statua equestre di Vespasiano Gonzaga

Nel caso della statua equestre di Vespasiano Gonzaga (252 x 218 x 110 cm circa) si è deciso di analizzare i risultati di modellazione derivati dall'acquisizione con laser scanner a differenza di fase Leica HDS6000. Il tipo di laser utilizzato può essere impiegato per il rilievo di beni artistici di medie e piccole dimensioni, dato che è in grado di restituire un dato molto denso, in tempi rapidi e con buona accuratezza (6 mm nel posizionamento x,y alla distanza di 25m e 2mm sulla superficie modellata), ma la sua risposta può essere fortemente influenzata dalle caratteristiche di distanza dall'oggetto, dall'angolo di incidenza, dalla riflettività dei materiali e dalle condizioni ambientali di illuminazione e umidità (T. Voegtler, S. Wakaluk, 2009). Naturalmente la risoluzione dello strumento è tale da escludere l'applicazione nel caso di oggetti finemente modanati e con caratteristiche da indagare al di sotto delle accuratèzze dichiarate sopra.

Per quanto riguarda il nostro oggetto di studio l'apparato decorativo è stato ben rilevato dal laser e la sovrapposizione tra le varie scansioni acquisite da diversi punti di vista, ha permesso un buon ricoprimento e sovrapposizione dei dati. Sono stati riscontrati tuttavia molti outliers dovuti al colore e riflettività del materiale, che sono stati eliminati soprattutto con procedure automatiche, ma anche con interventi da parte dell'operatore (questa procedura se fatta con cura migliora decisamente le successive fasi di modellazione, ma comporta dispendio di tempo). I punti risultanti dopo le fasi di pulitura e selezione dell'area sono stati di circa 11 milioni e mezzo.

E' stato effettuato anche il rilievo topografico di 5 target esterni alla statua, per un controllo sulla procedura di allineamento delle scansioni, avvenuta sulla base del riconoscimento di punti omologhi (standard error sui target topografici, 0,001m).

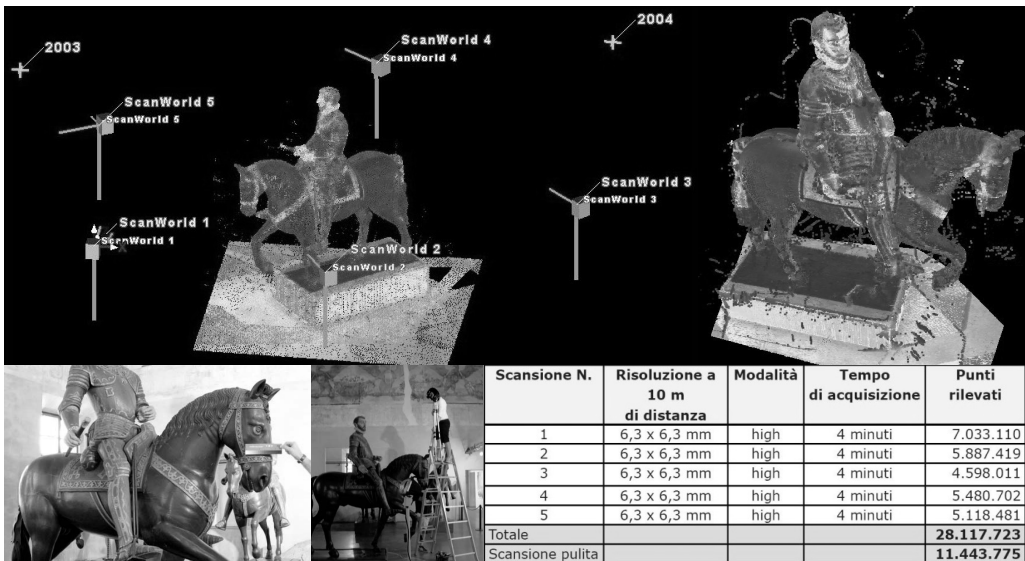


Figura 3 – Il rilievo è stato eseguito con 5 scansioni ad alta risoluzione intorno alla statua con il Laser scanner HDS6000 di Leica, per un totale di circa 28 milioni di punti. I colori scuri e molto lucidi che rivestono l'opera, derivati da interventi novecenteschi, hanno determinato la generazione di molti outliers che sono stati eliminati con operazioni semi-automatiche di pulitura del dato. Il rilievo delle textures del modello è stato effettuato con una camera digitale calibrata Canon EOS 1000D da 10 Mpixel.

3 La modellazione

La procedura di modellazione tramite superfici mesh (software RapidformXO), ha seguito la prima fase di segmentazione del dato laser nelle componenti principali del manufatto (cavaliere; testa,

coda e corpo del cavallo, basamento, ecc) e un'ulteriore riduzione del numero di punti a seconda della complessità della parte da modellare, per cui è stato necessario effettuare alcune prove per trovare la migliore combinazione tra numero di punti/mesh e superficie da triangolare.

La successiva eliminazione dei principali errori topologici indotti dal dato non strutturato è stata effettuata in modo automatico, ma ha previsto l'intervento manuale soprattutto nelle zone più complesse (coda intrecciata del cavallo, mani e piedi del cavaliere) o laddove per l'angolo di incidenza del raggio laser durante l'acquisizione o per la finitura superficiale dell'oggetto, sono rimasti problemi non sempre eliminabili con semplici procedure di smoothing, se non perdendo accuratezza nella restituzione.

Un ulteriore passaggio prima dell'ottenimento del modello 3D completo è stato quello della chiusura delle parti mancanti, applicando gli algoritmi di filling holes automatici su buchi di diverse tipologie: (i) fori semplici di dimensioni molto ridotte (tipologia più diffusa), dovuti all'eliminazione di mesh errate; (ii) buchi a sezione più complessa e di dimensioni più grandi, esclusivamente causati dalla mancanza di dato (per esempio, nel nostro caso le cinque scansioni non hanno ricoperto interamente il sottopancia del cavallo) o dai sottosquadri del modello, risolvibili o con procedure di interpolazione della superficie mancante o con una nuova acquisizione ad hoc.

Una volta conclusa questa fase, è stata applicata una decimazione razionale della mesh e il suo ricampionamento al fine di regolarizzarla ulteriormente. La messa a punto del modello si è poi conclusa con l'unione delle varie parti in cui era stato suddiviso e un'operazione di smoothing della superficie.



Figure 4-5 – Modello digitale 3D della statua equestre e applicazione delle texture per procedura DLT. Il modello è caratterizzato da una precisione della superficie modellata che consente anche la lettura di dettagli con dimensioni intorno ai 4mm. L'utilizzo dello stesso per finalità di visualizzazione e georeferenziazione dati è stato utile per le fasi di restauro (2009) successive al rilievo e per la documentazione digitale del bene per web users.

4 Allineamento e applicazione di texture per la virtualizzazione del modello finale

La fase di mappatura del modello con immagini fotografiche riprese da varie angolazioni e con condizioni di illuminazione il più possibile controllate, è l'ultimo (ma non per forza semplice) passaggio prima della restituzione virtuale su piattaforma web o per immagini renderizzate.

Questa fase è molto importante nel caso della restituzione di beni culturali finalizzata alla conoscenza e all'analisi dell'oggetto, per la mappatura del degrado o per il monitoraggio delle deformazioni e delle lesioni. Un errato allineamento delle immagini sul modello compromette la correttezza del risultato e l'individuazione spaziale della caratteristica. Se però le finalità proposte dal lavoro sono puramente di visualizzazione e navigazione del dato a fini divulgativi, allora il margine di precisione e aderenza alla realtà può essere di grado inferiore, permettendo operazioni di fotoritocco sulle luci, sui colori e sulle parti mancanti di informazione RGB.

Sono stati proposti metodi di allineamento automatico di immagini multispettrali e multimodali basati su “depth map” del modello 3D (A. Pelagotti ed altri, 2009) oltre alle “tradizionali” tecniche di texturing delle immagini basate sulla Trasformazione Lineare Diretta e l’individuazione di punti omologhi sul modello e sull’immagine. Nel nostro caso applicativo è stata adottata la seconda procedura, in cui la selezione di immagini adatte al ricoprimento dell’intero modello 3D e l’individuazione dei punti si è dimostrata molto lunga e complessa. Questa tecnica infatti prevede la selezione delle immagini più nadirali all’andamento medio della superficie da mappare, con evidenti difficoltà nel caso di oggetti geometricamente molto articolati (coda del cavallo, testa di Vespasiano, mani, ecc) e la necessità di avere un’ampia copertura di riprese fotografiche dell’oggetto da molteplici angolazioni. Inoltre i programmi di texture mapping non consentono un’adeguata unione tra immagini adiacenti creando zone di confine irrisolte o mal integrate. Si è tuttavia scelto di procedere con questa metodologia fino al ricoprimento dell’intero modello, verificando il tempo impiegato e valutando il risultato finale. Il modello digitale 3D fotorealistico della statua equestre di Vespasiano Gonzaga è quindi il risultato della mappatura di circa 60 di immagini, riprese con camera digitale Canon 1000D da 10 MP e collegate al modello con la selezione di 7-10 punti per immagine, per un totale di 10-15 ore di elaborazione.

5 Conclusioni

Il rilievo di Beni Culturali, in particolare di oggetti di medie e piccole dimensioni, per la creazione di database e modelli 3D può essere affrontata con strumenti di rilievo a scansione a differenza di fase, con il raggiungimento di accuratezze adeguate alla conoscenza geometrica e dimensionale del bene nel momento in cui la sua superficie è caratterizzata da decorazioni di alcuni millimetri di grandezza. Nel momento in cui si volesse mappare con maggior precisione lesioni o deformazioni è indispensabile ricorrere a diverse metodologie o a strumenti a triangolazione, che possono assicurare il raggiungimento dello scopo ponendo particolare attenzione alle caratteristiche del materiale, della superficie e del colore dell’oggetto. Per la trasmissibilità del bene nel tempo e nello spazio a fini divulgativi il lavoro ha raggiunto perfettamente il suo scopo, offrendo un supporto utile ad analisi fino ad ora mai condotte sulla statua equestre di Vespasiano Gonzaga e consentendo di introdurre alcune novità nella conoscenza del bene.

Considerando poi la storia di questa particolare cavalcata e il fatto che nessun bene è indistruttibile od eterno, al contrario (si auspica) della loro memoria, il lavoro di catalogazione digitale costituisce un’importante via per la conservazione.

Ringraziamenti: *un grazie al Comune di Sabbioneta e al lavoro di ricerca ed elaborazione dati di E.Brunelli e G. Bagnara.*

Riferimenti bibliografici

- G. Guidi, M. Russo, J.A. Beraldin (2010), “Aquisizione 3D e modellazione poligonale”, ed.McGraw-Hill, Milano.
- F. Fassi, C. Achille, L. Fregonese, C. Monti, (2010) “Multiple data source for survey and modelling of very complex architecture”, International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Vol. XXXVIII, Part 5, Symposium, Newcastle upon Tyne, UK.
- F. Remondino, A. Rizzi, (2009), “Reality-based 3D documentation of world heritage sites: methodologies, problems and examples”, 22nd CIPA Symposium, Kyoto, Japan.
- T. Voegtler, S. Wakaluk, (2009), “Effects on the measurements of the terrestrial laser scanner HDS 6000 (Leica) caused by different object materials”, ISPRS Congress Laserscanning09 Paris, France.
- F. Fassi, L. Fregonese, R. Brumana, C. Monti, C. Achille, C. Cassani, E. Vio (2007), “High density digital form for Cultural Heritage: synthetic modeling and reverse engineering of the four horses of the Basilica of San Marco in Venice”, XXI International Cipa Symposium, Athens, Greece.
- M. Fabris, V. Achilli, D. Bragagnolo, A. Menin, G. Salemi (2007), “ The *Cavallo ligneo* of the Palazzo della Ragione (Padua, Italy)”, XXI International Cipa Symposium, Athens, Greece.