

## **Tecniche Laser Scanner per la rappresentazione dei beni culturali: il rilievo dell'apparato scultoreo della Torre Ghirlandina di Modena**

Eleonora Bertacchini, Alessandro Capra, Cristina Castagnetti, Riccardo Rivola, Isabella Toschi

Università degli Studi di Modena e Reggio Emilia, DIEF, Dipartimento di Ingegneria "Enzo Ferrari"  
Strada Vignolese 905, 41125 Modena

### **Abstract esteso**

Il campo dei Beni Culturali ha da sempre richiesto un'adeguata rappresentazione per registrare sia lo stato di fatto che il proprio divenire: le attività di conservazione e valorizzazione dovrebbero infatti essere esercitate sulla base di un'approfondita fase preliminare di conoscenza e documentazione del patrimonio da tutelare. L'approccio adottato a tale scopo è stato inizialmente volto a indagare principalmente l'aspetto storico-artistico; oggi, invece, a fianco dell'indagine qualitativa, risulta sempre più necessaria anche quella metrica per determinare posizione, geometria e forma dell'oggetto e ottenere una sua accurata documentazione metrica digitale. Tra le differenti soluzioni metodologiche, la più promettente appare attualmente essere la digitalizzazione tridimensionale, in quanto, pervenendo a una rappresentazione 3D dello spazio, ne permette una completa e più intuitiva percezione. Numerose sono le metodologie di acquisizione e gestione dei dati (Pavlidis et al., 2001), ma, per le loro caratteristiche di automatismo e rapidità, si stanno sempre più affermando le tecniche laser a scansione 3D.

Il presente lavoro si propone di descrivere una procedura applicativa volta al rilievo e modellazione ad alta risoluzione di elementi scultorei per la generazione di un loro completo archivio metrico digitale. Il caso di studio presentato è relativo alla Torre Civica di Modena, comunemente chiamata "Ghirlandina" e simbolo della città. Dichiarata dall'UNESCO nel 1997 "Patrimonio dell'Umanità" insieme alle antistanti Cattedrale e Piazza Grande, la Ghirlandina presenta un interessante e ricco apparato scultoreo decorativo che ne adorna il paramento esterno: esso è stato oggetto di un articolato intervento di restauro e consolidamento (Cadignani, 2010), conclusosi nel mese di Settembre 2011. A supporto e integrazione di tali attività, il Dipartimento di Ingegneria "Enzo Ferrari", nell'ambito di convenzioni stipulate con il Comune di Modena e dopo aver acquisito il modello 3D della struttura esterna della Torre, si è occupato del rilievo ad alta risoluzione dei suoi elementi scultorei restaurati. Per questa attività la strumentazione scelta è risultata costituita dal braccio articolato a sette assi *ROMER CMM INFINITE 2.0* e dal sensore Laser a Triangolazione *ScanWorks PERCEPTRON*, avente precisione nominale pari a 0.07 mm. La fase di acquisizione del dato si è svolta contestualmente all'ultimo mese degli interventi di restauro per poter usufruire dell'impalcatura metallica che, circondando l'esterno della Torre, permetteva di raggiungere l'altezza necessaria per il rilievo. Tali condizioni di lavoro, oltre a richiedere un adeguato coordinamento tra i professionisti coinvolti nei vari interventi, hanno evidenziato la necessità di adottare speciali accorgimenti atti a ridurre il più possibile le vibrazioni e consentire una restituzione finale degli elementi con una risoluzione dell'ordine di grandezza del decimo di millimetro. In totale, sono stati acquisiti 130 elementi di diverse tipologie scultoree (sculture angolari, mensole, bassorilievi romani e capitelli di bifore e trifore), disposti in corrispondenza delle cornici marcapiano, fino agli ordini architettonici superiori posti a oltre 40 m di altezza dal piano di campagna. Per gestire in tempo reale l'acquisizione delle singole nuvole di punti e verificarne la correttezza e "completa" descrizione della superficie scultorea, è stato utilizzato il *software* 3D *RESHAPER vs 6.2.0.2392*, installato sul PC portatile collegato allo strumento stesso.

Alla fase operativa di acquisizione, è seguito quindi un laborioso e attento lavoro di post-elaborazione dei dati rilevati, necessario innanzitutto per eliminare il rumore presente (*noisy clusters*) e dovuto non solo alle vibrazioni residue ma anche a particolari caratteristiche riflettenti di alcune superfici rilevate: a tale scopo, oltre a una pulizia manuale, sono stati adottati anche specifici e adeguati algoritmi di filtraggio automatico. Per gli elementi di dimensioni ridotte, essendo stati acquisiti da un'unica posizione di scansione, le nuvole di punti risultavano già inquadrate nel medesimo sistema di riferimento: nonostante ciò, le particolari condizioni di lavoro hanno reso necessario un *refinement* dell'allineamento reciproco con algoritmo ICP (*Iterative Closest Point*, Besl, McKay, 1992). Tale operazione è inoltre stata preceduta da un pre-allineamento tramite punti omologhi per gli elementi di dimensioni maggiori, per i quali è stato necessario il riposizionamento dello strumento. Per ciascun elemento, le singole scansioni sono state infine combinate in un'unica nuvola di punti, trattando le zone di sovrapposizione per ridurre il rumore a esse associato. La modellazione 3D è stata infine condotta adottando uno specifico algoritmo di *Mesh Construction* con il quale la superficie dell'elemento è stata descritta e discretizzata tramite un congruo numero di superfici piane triangolari (*Triangulated Irregular Network*, TIN). I modelli generati presentavano ancora delle difettologie residue, quali: "buchi" dovuti alla presenza di zone d'ombra non acquisite dallo strumento, superfici piane intersecantisi tra loro o aventi normali con direzione opposta rispetto a quella delle normali alle superfici attigue. È stata quindi necessaria un'attenta fase finale di *editing* al



Figura 1. Modello 3D a superfici: esempio di una scultura angolare.



Figura 2. Modello 3D a superfici: esempio di un capitello.

termine della quale gli elementi, di cui si riportano due esempi in Figure 1 e 2, sono stati esportati e forniti sotto forma di *file* numerici in formato *.stl*, adatti a essere letti dalle macchine a controllo numerico per prototipazione rapida. Oltre alla riproduzione materica non invasiva, il rilievo 3D ad alta risoluzione eseguito potrà essere finalizzato a studi più approfonditi sugli elementi acquisiti e alla ricostruzione virtuale delle loro parti mancanti e/o rovinate, anche al fine di permettere una visita virtuale al pubblico che, data l'eccessiva altezza di molti elementi, non potrebbe diversamente apprezzarne le bellezze. L'obiettivo che ci si pone per il prossimo futuro è quello di generare un ambiente virtuale tridimensionale foto-realistico dell'intero complesso monumentale del sito UNESCO di Modena: è in corso, infatti,

il rilievo con risoluzione sub-millimetrica anche dell'apparato scultoreo decorativo del Duomo, del quale è già stato acquisito il modello 3D relativo agli interni e agli esterni. Parallelamente e a integrazione di tali attività, si sta procedendo con l'elaborazione degli elementi scultorei rilevati, al fine di conferire loro un aspetto foto-realistico tramite l'utilizzo di immagini fotografiche acquisite con camera calibrata e di inquadrare gli stessi nell'unico sistema di riferimento finale.

## Bibliografia

- Besl P.J., McKay N.D. (1992), "A method for registration of 3D shape", *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 14(2): 239-256
- Cadignani R. (a cura di) (2010), *La torre Ghirlandina: storia e restauro*, Luca Sossella Editore, Roma (ISBN 9788889829912)
- Pavlidis G., Koutsoudis A., Arnaoutoglou F., Tsioukas V., Chamzas C. (2007), "Methods for 3D digitization of Cultural Heritage", *Journal of Cultural Heritage*, 8(1): 93-98