

## Problematiche nel rilevamento 3D in alta risoluzione per i Beni Culturali

Gabriele Bitelli <sup>(a)</sup>, Mirko Dellapasqua <sup>(a)</sup>, Valentina Alena Girelli <sup>(a)</sup>, Maria Alessandra Tini <sup>(a)</sup>

(a) DICAM Dipartimento di Ingegneria Civile, Chimica, Ambientale e dei Materiali,  
Viale del Risorgimento 2 – 40136 Bologna (BO), tel 051-2093108

### Abstract esteso

Le potenzialità della Geomatica nel rilevamento dei Beni Culturali, anche nell'ambito di interventi complessi e dagli standard qualitativi particolarmente elevati, sono sempre più evidenti ed emergono da una molteplicità di interventi realizzati a fini di documentazione, supporto al restauro, diagnostica, realizzazione di repliche, ecc. Elemento caratterizzante ed accomunante delle esperienze condotte è la possibilità di integrare tra loro tecniche e metodiche diverse, caratterizzate dalla generazione di dati digitali e di qualità controllabile. Ai fini del rilievo tridimensionale si può ricorrere a tecnologie differenti in funzione della scala di lavoro e del dettaglio richiesto: dalla scansione laser con metodo a tempo di volo o triangolazione, ai sistemi a proiezione di luce strutturata, alla fotogrammetria. Ciascuna tecnica trova il migliore utilizzo in un ambito particolare ed offre vantaggi e svantaggi.

Nel lavoro si descrive un esempio significativo che è stato condotto di recente nell'ambito delle attività finalizzate al restauro della Fontana del Nettuno di Bologna. La fontana, progettata dall'architetto e pittore palermitano Tommaso Laureti nel 1563, costituisce uno dei simboli più rappresentativi della città. Il restauro, commissionato dal Comune di Bologna, ha coinvolto l'Istituto Superiore per la Conservazione ed il Restauro di Roma (ISCR), l'ISTI del CNR di Pisa e cinque dipartimenti dell'Università di Bologna: il DA (Dip. di Architettura), il Dip. di Chimica "Giacomo Ciamician", il DICAM (Dip. di Ingegneria Civile, Chimica, Ambientale e dei Materiali), il BiGeA (Dip. di Scienze Biologiche, Geologiche e Ambientali) e il DIN (Dip. di Ingegneria Industriale).

Il progetto di restauro e conservazione del Nettuno si è avvalso di una nuova modalità di attuazione del restauro, grazie anche alla multidisciplinarietà espressa dalle diverse componenti tecnico-scientifiche coinvolte nella indagine: il restauro si avvale infatti del supporto di un modello tridimensionale completo e ad altissima fedeltà della fontana come base per un sistema informativo di condivisione dei dati di diversa origine e natura che vengono prodotti dai differenti specialisti coinvolti. L'area di Geomatica del DICAM è stata incaricata di coordinare le attività di rilievo finalizzate alla produzione di tale modello 3D, i cui requisiti erano estremamente stringenti.

La complessità dell'oggetto e la necessità di prodotti a diverse scale di dettaglio hanno richiesto l'integrazione tra quattro tecniche di rilievo, per le quali si riportano alcune considerazioni sulle problematiche incontrate. In primo luogo è stato utilizzato un laser scanner a tempo di volo *Riegl VZ400* per la produzione di un modello tridimensionale di inquadramento dell'intera fontana, completo della parte sotterranea. I cunicoli hanno presentato una delle principali criticità di questa fase del rilievo, da una parte per gli spazi angusti che hanno richiesto una grande quantità di stazioni e dall'altra per la difficoltà di allineamento alle nuvole di punti della parte fuori terra in un unico sistema di riferimento locale. Il *dataset* completo ottenuto consta di circa 140 milioni di punti con distanza media di 5 mm. L'accuratezza di questo prodotto ha permesso di supportare alcune delle prime indagini, costituendo inoltre il riferimento per la georeferenziazione dei prodotti di maggiore dettaglio. La definizione del sistema di riferimento locale è stata realizzata tramite un rilievo con

*total station Leica TS30*. Sono stati poi stimati i parametri di rototraslazione del sistema locale nel sistema cartografico adottato dal Comune di Bologna nella sua cartografia a grande scala; per l'altimetria, si è calcolato l'*offset* rispetto alle quote ortometriche della rete di livellazione comunale.

Utilizzando come base tale *dataset*, è stato poi realizzato un modello tridimensionale del monumento ad altissima fedeltà radiometrica e geometrica (precisione 0,5 mm). La parte della fontana relativa al basamento, costituito dalla vasca di raccolta delle acque, dal rivestimento esterno e dai gradini, è stata rilevata dal DICAM con due diverse tecniche: la fotogrammetria digitale attuata con approccio *Structure from Motion* e la scansione 3D tramite un sistema a proiezione di luce strutturata.

Tale rilievo si è dimostrato di una certa complessità, soprattutto per l'elevata accuratezza richiesta in rapporto alle dimensioni dell'oggetto. In primo luogo, per ottenere elaborati digitali di più facile gestione, è stato necessario suddividere la fontana in porzioni elementari rilevate separatamente e successivamente georeferenziate sulla base del modello ottenuto con rilievo laser.

Il rivestimento esterno della vasca, costituito da lastre di marmo bianco e rosso tipo di Verona, è stato rilevato con uno scanner a luce strutturata *Artec MHT*, caratterizzato da una precisione strumentale di 0,1 mm. Tale sistema permette di ottenere direttamente *mesh* fotorealistiche con caratteristiche geometriche e radiometriche rispondenti alle specifiche definite dal progetto. L'utilizzo di questo strumento ha presentato difficoltà imputabili alla natura delle superfici, del materiale e delle condizioni di illuminazione, data la presenza di numerose superfici piane, lucide e talvolta bagnate, accompagnate da elementi decorativi in forte aggetto, con tessiture radiometriche uniformi. Questi fattori si sono tradotti in difficoltà nell'allineamento reciproco delle scansioni, nella presenza di lacune e nella rumorosità della *mesh*, in corrispondenza delle aree interessate dalla presenza di acqua.

Per quanto riguarda i gradini, interamente realizzati in marmo rosso tipo di Verona, si è scelto di effettuare il rilievo per via fotogrammetrica; è stata usata una camera full frame *Canon EOS 6D* e il programma *Photoscan* per la produzione della *mesh* texturizzata. L'elevato grado di dettaglio richiesto e la morfologia dell'oggetto, caratterizzata da superfici piane e fortemente angolate (alzate e pedate dei gradini) con aggetti molto evidenti in relazione alla dimensione stessa dell'oggetto, hanno portato alla necessità di set fotografici molto numerosi (circa 300-400 foto per ogni modello), con immagini con campi di vista molto ridotti e spesso con ricoprimenti trasversali limitati. Questi ingenti set di immagini sono stati accuratamente selezionati ed elaborati preventivamente al processo fotogrammetrico vero e proprio, per la correzione radiometrica, mediante l'uso di *Color Checker*. Tramite una dettagliata operazione di mascheramento sono stati eliminati gli elementi di disturbo, quali la presenza di luce solare diretta sui gradini, di riflessi sulle superfici lucide del marmo, di acqua ed oggetti estranei. Nonostante l'accurato pretrattamento dei dati, nel corso della elaborazione fotogrammetrica si sono riscontrate rumorosità nelle nuvole di punti e macroscopici errori negli allineamenti, quali imbarcamenti alle estremità del modello o deviazioni di sottoinsiemi di fotogrammi consecutivi. Queste difficoltà sono state superate con l'adozione di numerosi *tie point* e con l'inserimento nei set fotografici di immagini di insieme per irrobustire la geometria delle prese.

Sono stati realizzati complessivamente 16 modelli (8 per il rivestimento esterno e 8 per i gradini), con una lunghezza media del lato della *mesh* intorno a 0,5 mm e con una dimensione media di circa 8 Gb per i modelli ottenuti dallo scanner e di 3 Gb per le *mesh* fotogrammetriche.

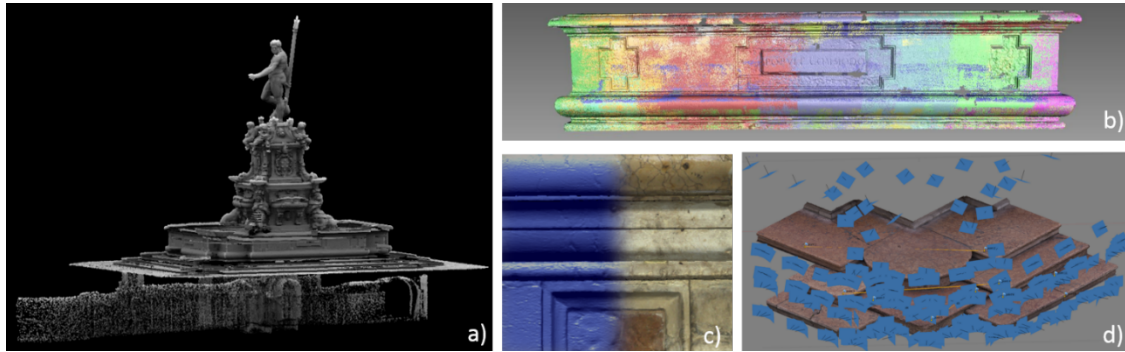


Figura 1 – Rilievo tridimensionale della Fontana del Nettuno: a) Nuvola di punti da scansione laser della fontana e dei relativi cunicoli sotterranei; b) Ricostruzione di un lato del basamento tramite allineamento delle scansioni eseguite con scanner Artec MHT; c) Particolare della mesh ottenuta tramite scansione; d) Mesh texturizzata di uno spigolo dei gradini con rappresentazione simbolica dei punti di presa fotografici.