

PROGETTO DI RESTAURO
DEL COMPLESSO MONUMENTALE
DELLA FONTANA DEL NETTUNO

**Rilievo tridimensionale della fontana e
degli ambienti sotterranei.**

Relazione a cura di:
Prof. Ing. Gabriele Bitelli

Bologna, 30/04/2016



ALMA MATER STUDIORUM
UNIVERSITÀ DI BOLOGNA
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE,
CHIMICA, AMBIENTALE E DEI MATERIALI

INDICE

La relazione si riferisce alle tre attività relative al rilevamento che sono state condotte dall'area di Geomatica del DICAM nell'ambito della Convenzione:

1. Rilievo 3D del cunicolo sotterraneo
2. Modello generale della fontana a supporto della progettazione del ponteggio
3. Rilievo tridimensionale del basamento

1. RILIEVO 3D DEL CUNICOLO SOTTERRANEO

È stato rielaborato il rilievo con laser a scansione eseguito dal gruppo di Geomatica del DI-CAM nel cunicolo sotterraneo al Nettuno.

L'acquisizione del dato (figura 1) è stata eseguita con laser a scansione Riegl VZ400 (strumento a tempo di volo con precisione intrinseca intorno ai 3 mm), effettuando 15 stazioni nel sotterraneo, alcune delle quali hanno avuto anche la funzione di asservire la georeferenziazione della nuvola di punti complessiva sul sistema di riferimento che era stato istituito in superficie - mediante misure con total station di precisione - per il rilievo della fontana del Nettuno.

Sono stati posizionati target retroriflettenti al fine di agevolare l'allineamento delle nuvole di punti e la loro successiva fusione. Le maggiori difficoltà sono state dovute alla geometria del luogo, con ambienti particolarmente angusti e problematiche di occlusioni e lacune nella rappresentazione finale. In special modo, le occlusioni sono particolarmente numerose ed impattanti nella nicchia sottostante la statua; per questo motivo i dati sono stati integrati con un rilievo fotogrammetrico per aumentare l'informazione disponibile.

Il prodotto finale è stato fornito sotto forma di una nuvola di punti densa (figura 2), costituita da 43 milioni di punti, dalla quale i colleghi delle altre unità di ricerca hanno potuto derivare le informazioni utili alle rispettive attività (es. sezioni orizzontali e verticali).

Per quanto sopra esposto, il prodotto finale è referenziato nello stesso sistema tridimensionale della fontana, come visibile in figura 3.



Figura 1: Fasi di acquisizione nel cunicolo sotterraneo con sistema laser a scansione



Figura 2: Nuvola di punti derivante dal rilievo laser



Figura 3: La nuvola di punti relativa al cunicolo e la scansione dell'intera fontana, entrambe eseguite dal DICAM, sono inserite nello stesso sistema di riferimento.

2. MODELLO GENERALE DELLA FONTANA A SUPPORTO DELLA PROGETTAZIONE DEL PONTEGGIO

E' stato fornito allo Studio che ha operato la progettazione del ponteggio un modello generale, sfolto al fine di essere più facilmente fruibile, della struttura della fontana del Nettuno e dei principali edifici prospicienti. Questi ultimi non erano stati oggetto di un rilievo accurato ma il loro modello 3D, pur se in parte incompleto, aveva lo scopo di supportare l'analisi del dimensionamento del ponteggio in rapporto allo spazio circostante.

I dati derivano da rilievo con laser a scansione a tempo di volo. Il dataset completo (dettaglio parziale in figura 4) consta di circa 4.5 milioni di punti con interdistanza media che è stata ridotta alla consegna intorno a 3-5 cm.

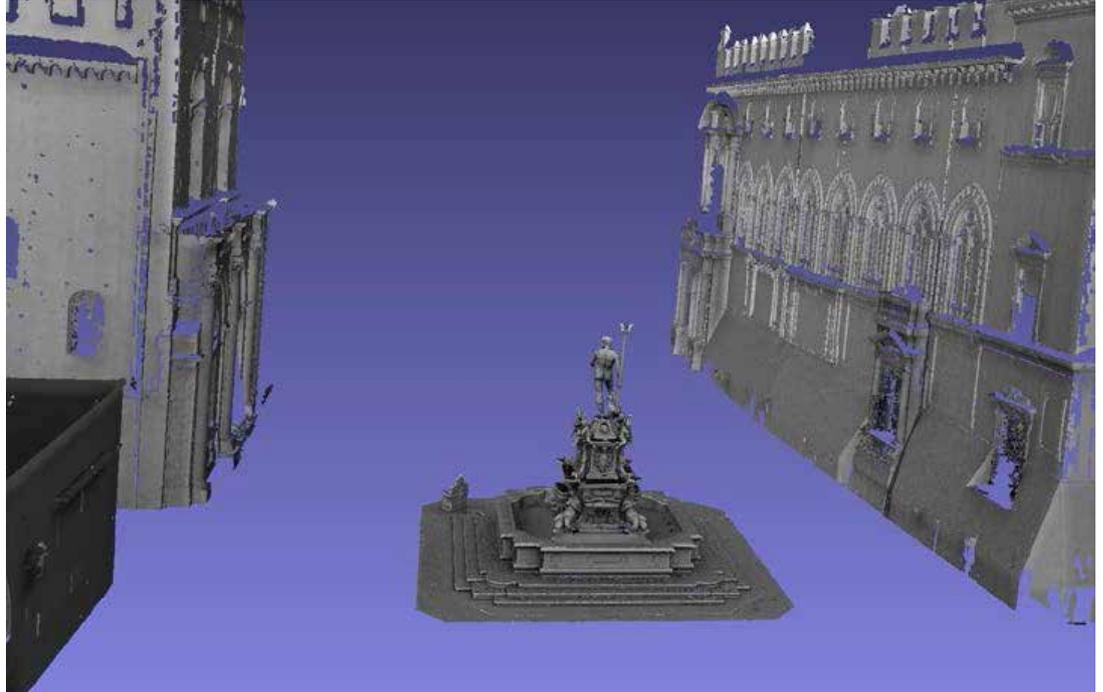


Figura 4: Modello complessivo, a bassa densità, della struttura della fontana ed edifici prospicienti.

3. RILIEVO TRIDIMENSIONALE DEL BASAMENTO

L'attività più consistente ha riguardato la generazione di un modello tridimensionale ad altissima fedeltà del basamento in marmo, della vasca e dei gradini.

La superficie rilevata costituisce circa il 65% dell'intero complesso della fontana.

Le specifiche che sono state seguite richiedevano in particolare la generazione di una mesh con lunghezza media dei lati dei triangoli intorno a 0.5 mm.

Sono state adottate ed integrate tra loro tre principali tecniche di rilevamento sulle tre parti oggetto del rilievo:

- per il basamento si è usato un sistema a scansione Artec a proiezione di luce strutturata, con precisione intrinseca pari a 0.1 mm;
- per i gradini, stante la difficoltà di utilizzare il sistema a scansione con questa geometria e materiale, si è adottato l'approccio fotogrammetrico con tecnica Structure from Motion, implementato mediante un numero elevatissimo di immagini ad altissima risoluzione acquisite da brevissima distanza;

- Per l'interno della vasca, infine, a seguito di accordi con ISCR nella riunione sopra citata, si è utilizzato il rilievo con laser a scansione Riegl VZ-400; per questa superficie, che viene completamente ricoperta dall'acqua, non era infatti richiesta la stessa fedeltà indicata per il restauro del resto della struttura.

L'attività, molto complessa stante le specifiche particolarmente stringenti del rilievo, è stata scomposta in porzioni per potere meglio essere gestita sia in fase di elaborazione che di trasferimento dei prodotti finali, particolarmente pesanti in termini di occupazione di memoria: per il basamento e per i gradini sono stati quindi trattati separatamente i fronti e gli spigoli, generando 16 set di dati separati (otto per il basamento e otto per i gradini), mentre l'interno della vasca è stato fornito in un unico dataset.

Tutti prodotti consegnati sono stati referenziati, utilizzando un approccio ICP, sul modello completo della fontana realizzato dal DICAM.

Va sottolineato che per oggetti di grande estensione con geometria piana l'elaborazione dei dati a questo livello di dettaglio è molto più complessa rispetto ad oggetti con superfici più articolate (es. statuaria), ed ha richiesto un notevole impegno sia in termini umani che di risorse hardware e software. Le varie fasi sono state seguite e verificate in corso d'opera.

Il rilievo sul luogo è stato condotto nel corso di molte giornate, operando nelle prime ore del pomeriggio al fine di avere sempre condizioni di illuminazione omogenee e senza sole diretto. Le attività sono state condizionate dalla necessità di avere le superfici asciutte, il che ha ridotto notevolmente i giorni utili trattandosi di un periodo (febbraio-marzo) che è stato abbastanza piovoso.

Per entrambe le tipologie di rilevamento, scansione e fotogrammetria, sono state generate nuvole di punti ad altissima densità (interdistanza media tra i punti submillimetrica), dalle quali si sono generate superfici per mesh che sono state successivamente texturizzate con il colore.

La figura 5 riporta un piccolo campione della superficie in marmo del basamento rilevato con scanner a proiezione di luce strutturata. Riguardo ai gradini, le immagini sono state acquisite in grande numero (per un totale dell'ordine delle 1500 immagini) con camera professionale full frame (v. figura 6) al fine di ottenere, sia per le superfici di pedata che di alzata, il livello di qualità metrico richiesto. Le immagini in formato raw sono state tutte elaborate con calibrazione del colore mediante utilizzo di color checker. In figura 7 si riporta a titolo di esempio un piccolo campione del lato Est nelle varie fasi della elaborazione.



Figura 5: Rilievo del basamento con scanner a proiezione di luce strutturata, particolare del lato Est (ca. 30 cm x 30 cm): mesh a colori artificiali, mesh texturizzata con colore naturale, affiancamento con transizione tra i due risultati

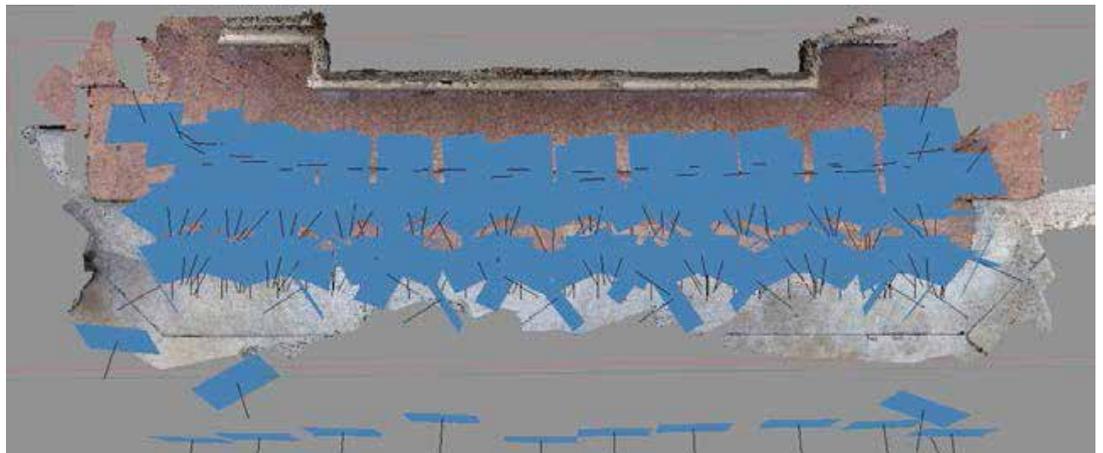


Figura 6: Rilievo fotogrammetrico dei gradini, lato Est: schema delle prese

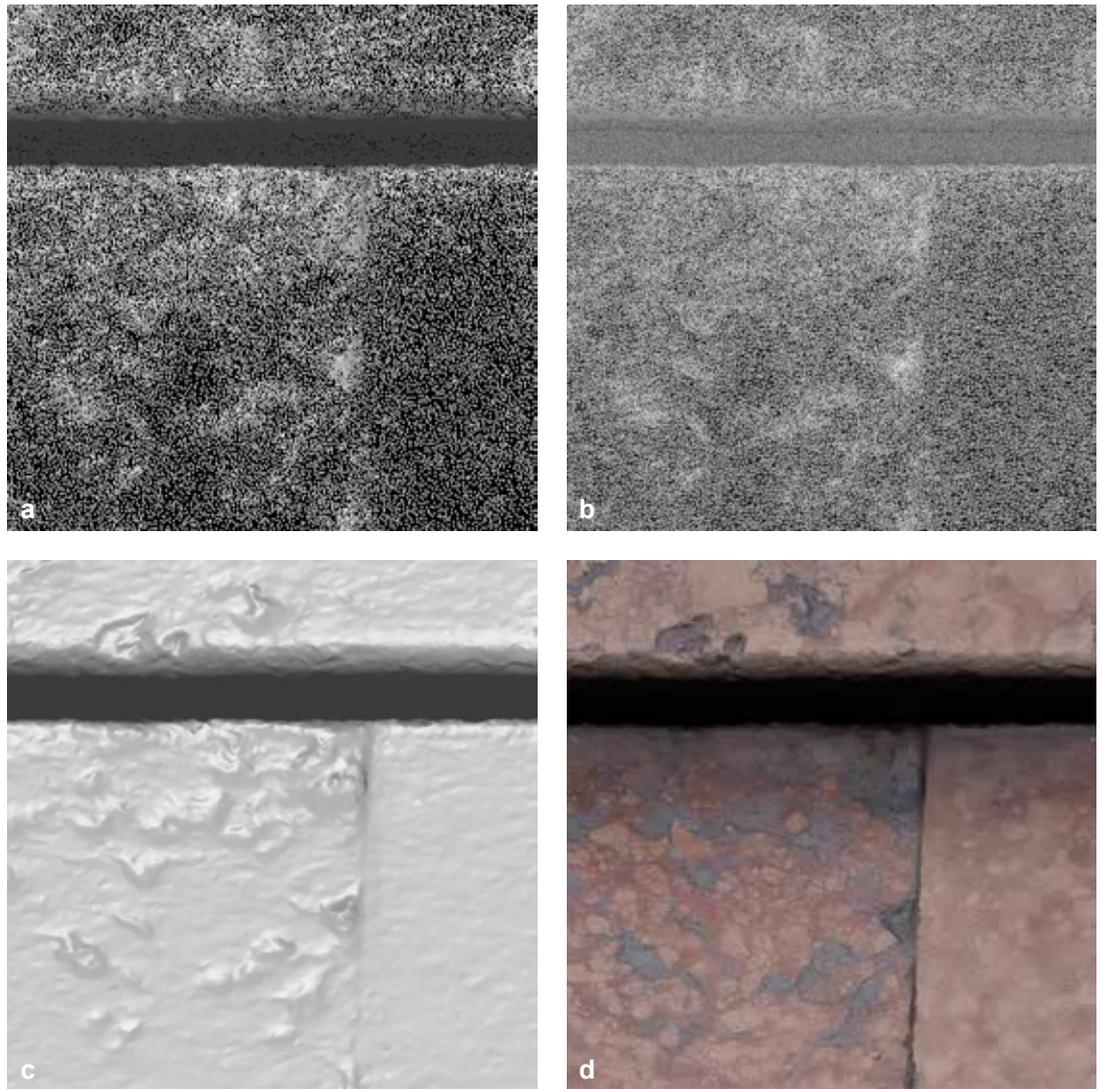


Figura 7: Dettaglio gradini sul lato Est (ca. 30 cm x 30 cm): (a) nuvola di punti densa; (b) triangolazione; (c) mesh con colore artificiale; (d) mesh texturizzata con colore calibrato

Come anticipato, i quattro lati sono stati divisi ciascuno in una parte frontale e in due parti laterali corrispondenti agli spigoli; le nuvole dei punti si sovrappongono per consentire una migliore fusione nel modello complessivo.

La nomenclatura utilizzata per i prodotti finali è quella che è stata specificata nell'ambito del progetto (es. L1_vasca_NE è il file che si riferisce allo spigolo Nord-Est del basamento in marmo, mentre L0_gradini_NE è il file corrispondente alla porzione di gradini per lo stesso spigolo). Per i fronti acquisiti con scansione a proiezione di luce strutturata è stato necessario dividere ulteriormente i file in due porzioni (parte destra e sinistra).

La dimensione dei dati è molto consistente: a titolo di esempio, il lato a Sud occupa quasi 8 Gb per il basamento e 2.8 Gbytes per i gradini.

Le singole parti sono state via via fornite a CNR-IRTI referenziate sul sistema di riferimento unico creato da DICAM per l'intera struttura, un sistema locale arbitrario con l'asse Z reso verticale grazie ad un rilievo di appoggio topografico di alta precisione.

Al termine dei lavori sono stati calcolati i parametri per la rototraslazione del sistema locale nel sistema cartografico adottato dal Comune di Bologna nella sua cartografia a grande scala (UTM-ED50); riguardo all'altimetria, si è calcolato l'offset per portare le quote ad essere congruenti con le quote ortometriche della rete di livellazione comunale.

Prof. Ing. Gabriele Bitelli