

Multi-sensor data per il rilievo e la documentazione dei Beni Culturali

Francesco Fassi, Fiorella Gaudio, Cristiana Achille

Politecnico di Milano, Piazza Leonardo da Vinci, 32 20133 Milano
BEST - Building Environment Science and Tecnology
SITECH Surveying Information Technologies for Cultural Environmental Heritage -3D Survey Group
Piazza Leonardo da Vinci, 32 20133 – Milano +39 02 2399 6516
e-mail: (francesco.fassi, fiorella.gaudio, cristiana.achille)@polimi.it

Abstract

Nel progetto conoscitivo e di valorizzazione dei Beni Culturali il rilievo assume un ruolo cognitivo fondamentale, nelle sue già sperimentate fasi di rappresentazione 2D così come nel sempre crescente interesse per il dato tridimensionale. Anche se il rilievo 3D non è ancora una prassi consolidata, negli ultimi anni, la valorizzazione dei Beni Culturali passa anche attraverso la creazione di complessi sistemi digitali tridimensionali, arricchiti con molte tipologie di informazione che soddisfano svariate esigenze, spesso in contrasto tra loro: elevato grado di dettaglio, fotorealismo, leggerezza del modello per la visualizzazione interattiva anche via web, flessibilità, bassi costi hardware e utilizzo del dato in modo completo, accurato e fruibile. Ad oggi non esiste uno strumento di rilievo completo che possa soddisfare tutte le esigenze sopra elencate e che possa essere adottato per tutte le diverse scale del rilievo. Necessariamente se ne deduce la necessità di trovare una metodologia di integrazione fra le diverse tecniche di misura e i diversi metodi di modellazione, cioè individuare una procedura multi-sensore che sia sufficientemente flessibile e adattabile alle svariate esigenze, alle diverse scale ed accuratezze richieste. Gli esiti della ricerca condotta sul campo sono rivolti da una parte all'utilizzo contestuale ed integrato di più tecniche di rilievo e dall'altra a cercare di implementare un metodo proprio per la gestione semplificata dei dati e del loro utilizzo, cercando degli standard di carattere tecnico, presenti da tempo per la rappresentazione 2D ma non ancora fissati per il dato 3D.

Abstract

In this paper we would like to present a possible operating way to survey and to model a very complex architecture, integrating different kinds of instrumentation and modeling methods. In particular we would like to focalize the attention on a possible measure and data elaboration procedure the lets to collect and post-elaborate data in a short time in order both to extract classical architectural products, such as sections and profiles and to build complete and accurate 3D models. The necessity to build multi-data source procedure buds inside a five years project (still in progress) with the goal to survey and to three-dimensionally model the Milan's cathedral Main Spire. It is a very complex "object" and, for this reason, it can be considered a very hard and useful test field for the new 3D survey technologies and in particular for the diverse "real-based" modeling methodologies. In the paper the survey workflow and the relative elaboration steps are described, focusing on the problematic and justifying the key choices.

1. INTRODUZIONE

Il rilievo ha come oggetto la restituzione e la rappresentazione della Guglia Maggiore della Cupola centrale del Duomo di Milano per una durata prevista di 4 anni; il lavoro è stato commissionato dalla Veneranda¹ Fabbrica del Duomo. Data la complessità del contesto, la necessità di lavorare in

¹ La Veneranda Fabbrica è un ente ecclesiastico che provvede alla valorizzazione del Duomo, nella sua funzione religiosa, culturale, storica e civica e anche alla sua manutenzione e custodia; provvede al restauro e alla conservazione del manufatto, dalla gestione delle Cave di Marmo alla posa in opera degli elementi (<http://www.duomomilano.it>).

presenza di ponteggi e opere provvisorie gradualmente poste in opera in funzione della durata dei restauri, le attività di acquisizione dei dati in sito si articolano e si articoleranno in funzione delle tempistiche di cantiere. Gli elaborati prodotti di volta in volta saranno di supporto all'attività di cantiere stessa. Il rilievo ha una scala media nominale di restituzione 1:20, riservando alla scala 1:50 le porzioni meno raggiungibili e non direttamente influenti nella finalità del rilievo (Gaudio, Monti, 2009). Il rilievo prevede come 'prodotti' le rappresentazioni 2D (piante, sezioni, profili,...), i dati topografici necessari per il controllo delle deformazioni della struttura (in particolare il controllo della cupola) e la realizzazione di un modello 3D completo e dettagliato di tutte le parti.



Fig. 1 – Una vista del Duomo, alcune immagini dell'area di rilievo e la sezione della Guglia Maggiore e della cupola.

2. IL RILIEVO

Il processo di indagine si basa sull'integrazione di tecniche globali e locali che possono garantire una copertura a 360 ° del complesso monumentale. La scelta è di utilizzare tutte le metodologie di indagine che possano fornire una precisa "immagine 3D virtuale" dell'oggetto: topografia, fotogrammetria close range e laser scanner vengono utilizzati per integrare i diversi dati insieme, al fine di costruire l'intero modello del complesso e, in particolare, di verificare in modo ricorsivo i singoli risultati e superare limiti, difficoltà diverse e 'carenze' di ogni singola metodologia. Per una migliore operatività, l'intero oggetto è suddiviso in diverse macro-aree indagate e modellate separatamente (intradosso della volta principale; estradosso della volta; base della cupola con gli 8 archi rampanti; scala interna al primo livello; primo Belvedere; scala interna al livello più alto; secondo Belvedere). Anche se ogni parte è misurata e modellata separatamente ogni elemento è georeferenziato; allo scopo è stata realizzata una rete topografica ancorata ai tetti del Duomo.

2.1 Rilievo topografico

La geometria dell'oggetto è piuttosto complessa, ricca di decorazioni e con molti spazi stretti. E' davvero molto difficile scegliere le metodologie di misura più adeguate e anche il classico approccio topografico risulta davvero arduo. Tuttavia le misure topografiche restano essenziali per georeferenziare dati, verificare i risultati durante le diverse fasi di elaborazione e i risultati finali. Una complessa rete topografica è materializzata con 4 anelli rigidi di misura: uno alla quota dei tetti della cattedrale, uno sul rivestimento della cupola, uno al primo Belvedere e uno sul secondo Belvedere. La fase di misurazione topografica presenta alcune difficoltà, a causa del comportamento del distanziometro laser della stazione totale sulla superficie del marmo, problema che per ora abbiamo aggirato applicando un "bersaglio mobile" durante l'acquisizione dei punti.

2.2 Le acquisizioni Laser scanner

Un rilievo scanner laser² completo sembra essere la scelta giusta per velocità e risoluzione per ottenere il modello puntuale 3D di un "oggetto enorme". Il rilievo con questo tipo di scanner

² Lo strumento utilizzato è il laser HDS6000 Leica, a differenza di fase e con un tempo di acquisizione molto veloce (500.000 punti / sec).

presenta però diversi problemi, a causa della superficie marmorea, il marmo di Candoglia non si presta facilmente ad essere rilevato per la sua struttura cristallina (Godin 2001) e in particolare per le parti rilevate che si trovano in posizione troppo vicina allo strumento. La penetrazione del fascio laser nel materiale eterogeneo causa ‘scanalature’ nei dati di rilievo ed evidenti sistematici errori nelle misurazioni della distanza. In alcuni casi, come ad esempio sulla parte alta della prima scala in marmo, si sono registrati errori anche di 3-4 centimetri. Il problema è stato in parte superato, riducendo la potenza del laser. Abbiamo anche testato uno scanner TOF, ottenendo gli stessi risultati: la situazione in spazi così ristretti non cambia. Il comportamento dello scanner sulla superficie di marmo e la geometria dell' oggetto sembra suggerire di scegliere un altro metodo di indagine, rilievo e di modellazione della guglia. La scelta è stata comunque quella di effettuare tutte le scansioni possibili per utilizzarle poi sia come riferimento di macro-controllo per verificare il modello (costruito in altro modo) sia come base per georeferenziare tutti i pezzi modellati, sia in vista del futuro uso ‘divulgativo’ di visualizzazione.

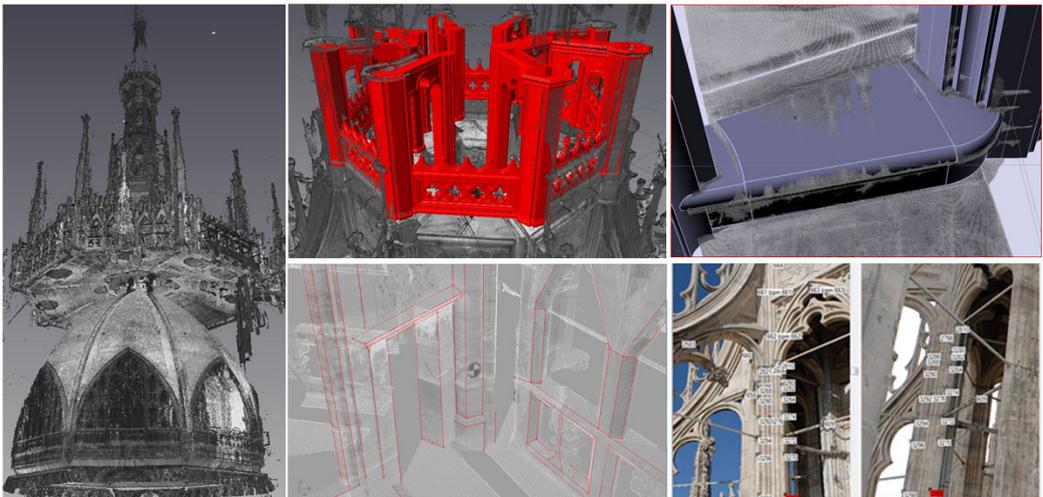


Fig. 2 – Una visualizzazione globale delle nuvole di punti della cupola interna, l'estradosso e la guglia (1,6 miliardi di punti facilmente visualizzati e navigati). Confronti tra il modello fotogrammetrico sovrapposto alla nuvola laser dove è possibile notare la buona precisione nel modello.

L'alta densità dei punti permette una lettura "tridimensionale" della geometria dell'oggetto in tutti i suoi dettagli. Le immagini della figura 2 sono schermate dalla finestra di visualizzazione di PointtoolsView, un software relativamente nuovo che sembra essere il miglior pacchetto di visualizzazione sul mercato oggi. Grazie alla potenza del carico scansioni ad alta risoluzione, una nuvola di punti grezza può già essere un modello virtuale utilizzabile senza alcuna post-elaborazione o modellazione particolare (esclusa la necessaria registrazione delle nuvole). La possibilità di effettuare misurazioni e caricare modelli 3D rende possibile anche ad un "semplice spettatore" la comprensione, in modo rapido e autonomo della complessità dell'oggetto, e nello stesso tempo può fornire un ottimo strumento per effettuare analisi e indagini virtuali semplici sul modello (ma non può sostituire completamente la fase di modellazione ed estrazione di forme e geometrie nel formato CAD). La possibilità di ‘volare’ con filmati e la visualizzazione stereoscopica preparano la strada alle elaborazioni future di dimostrazione, divulgazione e "intrattenimento museale".

2.3 rilievo fotogrammetrico Close Range

Visti i problemi attinenti al rilievo laser scanner e le oggettive difficoltà nell'applicazione del metodo topografico tradizionale, la fotogrammetria è stata quasi una scelta ‘naturale’. Le immagini

orientate sono utili per realizzare un texture mapping preciso; per la descrizione delle operazioni di restauro e la classificazione delle alterazioni del materiale e per creare il modello 3D real based dell'intero complesso e delle sue parti. In questo caso la difficoltà principale rimane l'orientamento di una quantità veramente enorme di foto e la gestione completa di tutti i blocchi orientati. Inoltre, la difficoltà di potersi muovere 'liberamente' unita alla 'ristrettezza' del luogo crea molte difficoltà, sia nella fase di acquisizione che in quella di organizzazione dello schema delle prese (dalla giusta geometria di acquisizione alla regolazione dell'immagine). La scelta delle immagini corrette per la fase di orientamento e la stessa acquisizione è la parte di lavoro più complessa e particolarmente impegnativa e dispendiosa in termini di tempo. La forma dei blocchi fotogrammetrici, vicina al limite dell'elaborazione, fornisce di conseguenza una maggiore incertezza sulle coordinate XZ dei punti 3D. Per contenere e minimizzare il problema sono stati acquisiti punti di controllo topografici in quantità, al fine di realizzare un migliore orientamento, irrigidire i blocchi e avere a disposizione un numero sufficiente di punti di controllo per valutare l'accuratezza della restituzione finale 3D. Fino ad ora abbiamo acquisito e orientato circa 600 foto, con circa 1000 punti di legame e 100 di controllo acquisiti topograficamente.

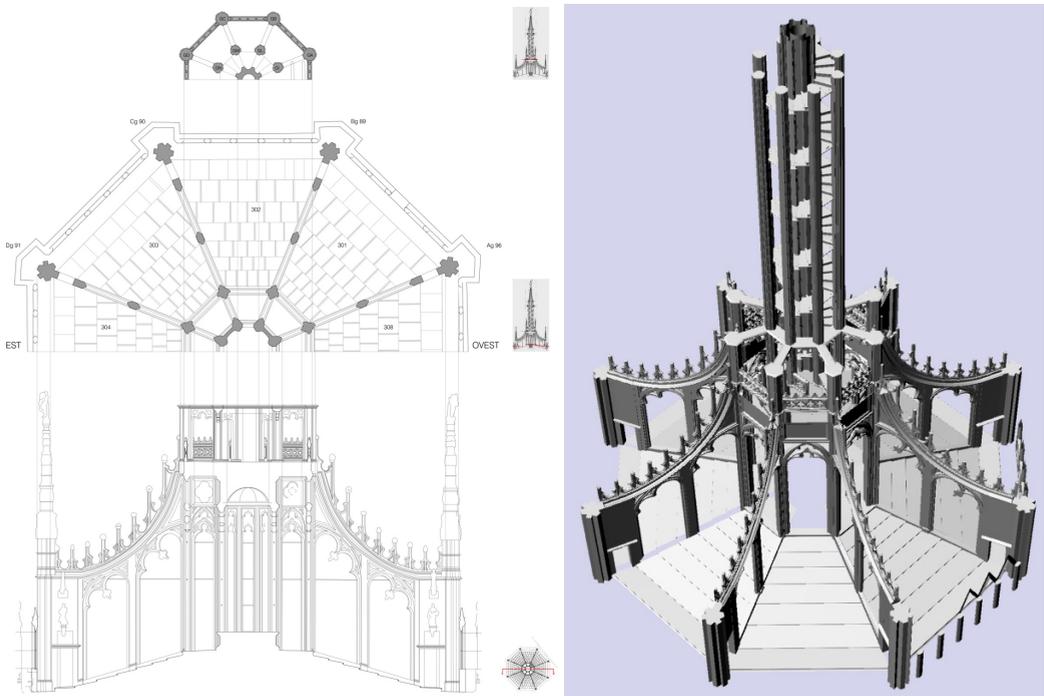


Fig. 3 – Vista delle piante e sezione 2D, a destra il modello 3D realizzato fino a questo momento.

3. UN APPROCCIO MULTI DATA, fotogrammetria e laser scanner

Fotogrammetria e laser scanner hanno approcci e specifiche differenti, l'idea di integrare le due metodologie può sembrare evidente: sensori diversi possono essere combinati così da coadiuvarsi a vicenda. L'idea è quella di seguire un processo di rilievo e di elaborazione che dovrebbe essere unico ai fini della ricostruzione 3D e restituzione 2D. Topografia e misurazioni manuali sono normalmente utilizzati per la costruzione di disegni bidimensionali rilevando informazioni solo delle parti sufficienti per la ricostruzione di sezioni e profili. Dall'altra parte, i modelli 3D sono in genere un prodotto del 2D ottenuto con le classiche operazioni di estrusione. L'estrazione di oggetti semplici da modellazione d'immagine o da punti di laser scanner sta diventando al giorno

d'oggi una procedura standard. Il nostro obiettivo è quello di condurre rilievi e relative elaborazioni concentrando gli sforzi sulla costruzione di un modello 3D accurato dal quale estrarre poi le informazioni 2D necessarie. Questo offre diversi vantaggi:

- gli sforzi durante la fase di indagine sono ridotti;
- è possibile estrarre le informazioni 2D future dal modello 3D;
- si può proporre un nuovo modo di lavorare e progettare passando da una tradizione 2D ad una logica innovativa tridimensionale, non ancora radicata nelle attività professionali quotidiane.

All'interno di questa logica, l'integrazione di dati e sensori diversi offre molti vantaggi:

- informazioni ridondanti: quando più sensori 'percepiscono' le stesse informazioni, la ridondanza stessa delle informazioni può essere sfruttata per ridurre l'incertezza e aumentare l'affidabilità;
- informazioni complementari: sensori multipli possono percepire le diverse caratteristiche dell'ambiente a scala diversa, questo permette quindi di misurare e ricostruire virtualmente, anche complesse caratteristiche (che non si percepiscono da ciascun sensore in modo indipendente);
- maggiore robustezza: l'elaborazione finale di un singolo sensore può essere utilizzata per controllare il prodotto di un altro oppure integrata in un processo per aumentare la precisione;
- accelerare la fase di acquisizione: la complessità e la dimensione della guglia e le difficoltà intrinseche del sito, impongono di scegliere le metodologie giuste -e possibili- al fine di semplificare l'indagine e superare i problemi (Fassi, 2009).

•

3.1 Il modello fotogrammetrico

La fase di modellazione ha inizio da un modello approssimativo, ma relativamente completo, basato sulle immagini. In particolare gli oggetti "lineari" (linear based object) sono modellati ed estratti fotogrammetricamente con il software PhotoModeler, il modello viene poi controllato e corretto utilizzando misure topografiche campione. I dati laser scanner sono utilizzati anche per trovare errori grossolani, verificare la georeferenziazione globale e completare il modello in un vero e proprio 'spazio di modellazione 3D'. L'approccio di modellazione basato sulle immagini fornisce un livello ottimale di "interpretazione visiva", perché permette di estrarre le informazioni che possono essere acquisite solo dalle immagini. D'altra parte, le capacità di modellazione del software fotogrammetrico non offrono strumenti, comandi e visualizing 3D ottimali per la modellazione; il modello realizzato a questo primo stadio è di fatto un "modello grezzo", perché ha bisogno di essere completato e costruito seguendo standard di modellazione 3D veri e propri. Inoltre, l'accuratezza dei modelli fotogrammetrici ha bisogno di essere controllata; il controllo può essere fatto utilizzando le scansioni laser, che forniscono una veloce verifica visiva, al fine di scoprire macro-errori.

3.2 Il secondo passo: verificare scanner laser e modellazione

Importando il modello fotogrammetrico grezzo nel software Rhino è possibile verificarne la precisione direttamente nello spazio 3D usando la nuvola laser come punto di riferimento e anche completare la modellazione delle parti che non potevano essere estratte a causa delle limitate capacità di modellazione del software fotogrammetrico o per tutte quelle parti nascoste e impossibili da raggiungere fotogrammetricamente. Dopo la fase di controllo è possibile costruire il vero modello generando le superfici. Al fine di creare una mappa 3D dello stato di fatto, l'intero modello 3D è poi ritagliato nei vari blocchi che lo compongono. Quindi, ogni pietra o blocco di marmo può essere analizzato, catalogato e classificato.

3.3 L'estrazione delle rappresentazioni 2D e il completamento del modello

Con Rhino è possibile estrarre automaticamente viste 2D da modelli 3D, materializzando di volta in volta il piano di proiezione desiderato. In questo modo è possibile estrarre piante, prospetti e vedute diverse. Questo "schizzo grezzo" può essere realizzato con facilità, semplificato e preparato per stampe 2D. La disponibilità di un modello 3D completo e preciso permette l'estrazione di tutti i 'desiderata 2D'. E' sempre importante verificare che ogni misura rispetti la scala di rappresentazione, verifica affidata all'indagine a campione topografica. Il modello viene poi

integrato con le informazioni-texture utilizzando classiche procedure di texture mapping, o fotogrammetriche di ri-proiezione di immagini per le zone in cui è stato possibile condurre un rilievo fotogrammetrico. La modellazione di decorazioni, come statue e ornamenti, sarà oggetto di indagine di rilievo con l'uso di strumentazione a risoluzioni diverse e poi aggiunte nel modello. E questa sarà l'ultima parte dell'evoluzione futura dell'intero progetto.

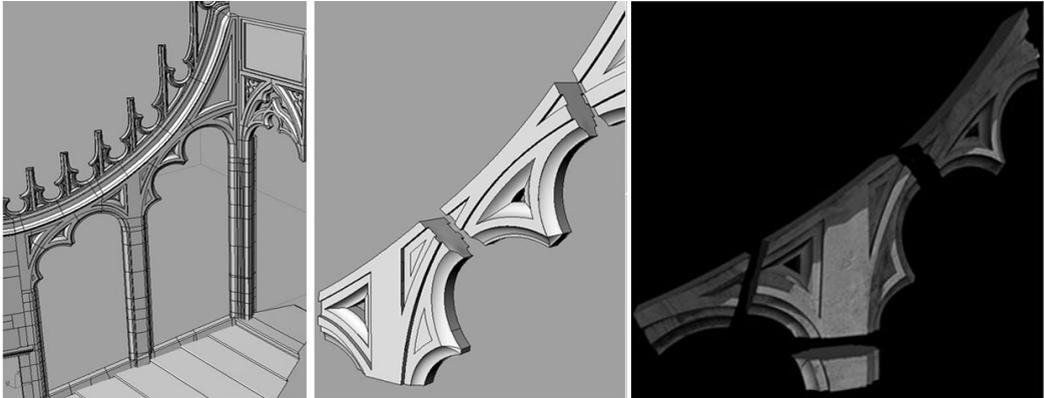


Fig. 4 – Particolare di un arco rampante. Gli elementi vengono progressivamente divisi nei blocchi che li compongono. E' possibile aggiungere informazioni a ogni parte costruttiva, montare e smontare l'intero oggetto 3D.

Conclusioni

Questo progetto ha permesso di testare e confrontare differenti metodologie di rilievo, intendendo per "rilievo", sia la misura sia la fase di elaborazione. In un settore così complesso l'utilizzo e l'integrazione di diversi strumenti e metodologie di modellazione è assolutamente essenziale. L'obiettivo è di concentrarsi sempre più sulla costruzione di un modello 3D accurato dal quale poi estrarre le informazioni 2D necessarie, capovolgendo il classico pensiero bidimensionale: "Abbiamo tutti bisogno di pensare in 3D" (Roe, 2010).

Ringraziamenti

Si ringrazia per la collaborazione in ogni fase del lavoro in esecuzione il Direttore della Veneranda Fabbrica del Duomo di Milano Dott. Ing. Benigno Mörlin Visconti Castiglione e il personale tutto. Inoltre gli autori ringraziano tutti i colleghi e studenti che hanno contribuito fino a questo momento alla realizzazione del progetto.

Bibliografia

- Fassi F. (2009), *Integration of traditional and innovative technologies for survey and modeling of cultural heritage*. PhD Thesis.
- Gaudio F, Monti C, (2010 in corso di pubblicazione), *Applicazioni di rilievo multi-sensore per il restauro della Guglia Maggiore del Duomo di Milano*. Rivista dell'Agenzia del Territorio
- Godin G., Rioux M., Beraldin J.-A., Levoy M., Cournoyer L. (2001) *An Assessment of Laser Range Measurement of Marble Surfaces*, Proceedings of the 5th Conference on Optical 3-D Measurement Techniques, Vienna, Austria: 49-56.
- Remondino F., Fraser C.S. (2006) *Digital camera calibration methods: consideration and comparisons*, International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Vol. XXXVI, part 5, ISPRS Commission V Symposium, Dresden, Germany: 266-272.
- Roe G. (2010) on Lidar News - Laser Scanning Industry News.