Three-dimensional digital models for architecture's documentation: Badia di S. Agata in Catania

Linda BARNOBI (*), Luca COLAIACOVO (*), Luigi ANDREOZZI (*)

(*) Univ. di Catania, Facoltà di Ingegneria, DAU, Lab. Di Fotogrammetria Architettonica e Rilievo, Viale A. Doria 6, 95125 Catania, Italy, labfgmr@dau.unict.it

Riassunto

L'architettura barocca della Badia di Sant'Agata a Catania presenta una complessità volumetrica, una ricercatezza della composizione architettonica ed una ricchezza dell'apparecchiatura decorativa su cui sono stati effettuati studi su aspetti geometrico formali ed analisi morfologiche compositive spaziali, mediante l'utilizzo dello scanner laser 3D per il rilievo e la costruzione, attraverso sistemi informativi digitali, di modelli tridimensionali complessi metricamente precisi e navigabili.

Il risultato è stato un modello tridimensionale digitale discreto costituito da una nuvola di circa 20 milioni di punti rilevati, che, oltre ad essere un documento di alta qualità, è un ottimo strumento per la conoscenza dell'organismo architettonico, sia nel complesso dell'opera, sia nel dettaglio delle parti che lo costituiscono. La modellazione e sovrapposizione al modello discreto del modello matematico ha permesso una verifica costante delle ipotesi compositive individuando e quantificando gli scostamenti per risalire alle cause che li hanno originati.



Figura 1 - Facciata della Badia di Sant'Agata.

Abstract

The baroque architecture of Badia di S. Agata in Catania presents a volumetric complexity, the refined architectural composition and the richness of decorative system on which studies and analysis about formal, geometrical and morphological aspects has been executed, by using laser scanner 3D for survey and the construction, through computer digital systems, of complex high precision three-dimensional models navigable in every part.

The result has been a discreet digital three-dimensional model constituted by a 20 million points cloud surveyed, that, beyond to be a high quality document, is an excellent knowledge instrument of architectural organism in the complex of the monument as well as in the constituting detailed parts. The superimposition of a mathematical model on the discreet one allows a constant control of hypothesis, individuating and quantifying the gaps for going back to the originating reasons.

La Badia di Sant'Agata

La Badia di S. Agata si affaccia su via Vittorio Emanuele, asse viario settecentesco che attraversa la città di Catania in direzione est-ovest, e fronteggia il prospetto nord della Cattedrale. Essa poggia sulle rovine dell'antica chiesa e convento dedicati a S. Agata, nel 1620, da Erasmo Cicala e crollati a causa del terremoto del 1693.

La Badia di Sant'Agata è opera di G. B. Vaccarini, artefice di alcuni dei più grandi capolavori barocchi che, durante la ricostruzione del 700, hanno impreziosito la città di Catania, frutto dell'unione del suo bagaglio culturale con il clima, il carattere ed i materiali siciliani, ed in particolare catanesi, nella loro cromaticità e fisicità.

La chiesa ha pianta a croce greca allungata, inscritta in un ovale con asse maggiore ortogonale alla facciata, sormontata da una cupola con lanternino. Il prospetto principale è suddiviso in un ordine gigante, tripartito in un'alternanza di superfici convessa-concava-convessa, al centro della quale il Vaccarini "non si rifiutò di incastonare nell'onda tesa della parete concava un portale a colonne binate e a minutissima decorazione, che la badessa aveva già fatto realizzare" (Giuseppe Pagnano da "La pietra di fuoco", 1994), ed un piano attico, con andamento tre volte concavo, che esprimono l'esaltazione del movimento tipicamente barocca.

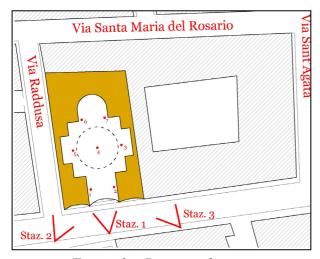
Obiettivi della ricerca

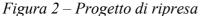
L'architettura barocca sottende solitamente a regole geometriche ben determinate, nella scelta delle proporzioni tra le diverse parti dell'edificio. La ricerca e la verifica del percorso progettuale che ha portato alla nascita del monumento architettonico richiede quindi un notevole livello di precisione del rilevamento. Su forme movimentate ed articolate, spesso caratterizzate dalla presenza di elementi curvi, la difficoltà per giungere ad una conoscenza completa, approfondita e corretta è notevole, ed in particolare richiede di avere a disposizione moltissime informazioni dimensionali: l'utilizzo del laser scanner ha consentito di produrre un accurato rilevamento finalizzato ad una fedele e dettagliata documentazione su cui effettuare studi ed analisi sugli aspetti geometricoformali e morfologico - compositivi.

Metodologie operative

La prima fase del rilevamento è stato lo studio del progetto di ripresa, in funzione alle caratteristiche tecniche dello strumento, dello stato dei luoghi e del livello di precisione ricercato. Il laser scanner utilizzato consente una altissima risoluzione delle scansioni, in quanto raggiunge un passo angolare minimo di 60 mrad, ma presenta un campo di scansione piuttosto limitato, di ± 40°. La facciata della Badia è alta circa 25 m e larga 27; la strada su cui prospetta presenta una sezione di circa 12 m; per quanto riguarda l'interno, l'assetto planimetrico a croce greca presenta due bracci di lunghezza rispettivamente di circa 34 e 23 metri, mentre la cupola è alta circa 50 metri. Per ricoprire l'intera superficie dell'oggetto, sull'esterno sono state effettuate 8 scansioni: due a grande distanza, per l'inquadramento generale; 4 da due punti stazione angolati rispetto al fronte, che inquadrassero rispettivamente l'ordine inferiore e la parte superiore; due in posizione assiale,

con risoluzione maggiore, per infittire la nuvola in corrispondenza del fastoso portale d'ingresso.





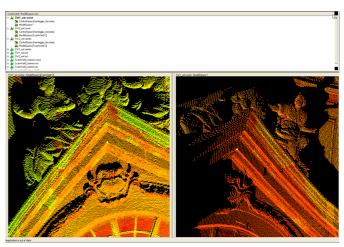


Figura 3 –Collimazione di punti omologhi

All'interno, sono state effettuate 13 scansioni: 2 dal vestibolo e 2 simmetricamente disposte dalla zona absidale, 8 da punti stazione disposti radialmente nella zona centrale ed una scansione in posizione centrale in direzione zenitale.

Il montaggio di tutte le 23 nuvole di punti così ottenute, per un totale di circa 20 milioni di punti, è stato realizzato mediante una procedura di registrazione per punti omologhi, che è risultata particolarmente agevole, avendo a disposizione un'architettura ricca di aggetti ed elementi decorativi, ma soprattutto è stato garantito un notevole livello di precisione, benché, a tal proposito, sia necessario distinguere i risultati ottenuti all'interno, da quelli sul prospetto.

Date le dimensioni interne dell'impianto planimetrico, fatta eccezione per la cupola, i punti scansionati all'interno si assestavano ad una distanza dallo strumento non superiore ai 15 metri, che ha dato una distanza media tra i punti pari a 6 mm. All'esterno, invece, la distanza minima tra lo strumento e l'oggetto non scendeva mai sotto i 12 metri, raggiungendo quasi i 30 metri per la parte superiore, dando, a parità di risoluzione angolare, una distanza tra i punti massima di 9 mm.

Le scansioni sono state collegate tra loro ed inserite in un unico sistema di riferimento, mediante un processo di introduzione di vincoli reciproci, individuati con la collimazione manuale di punti omologhi sulle diverse nuvole di punti. La costrizione delle nuvole è stata effettuata procedendo per coppie consecutive, in maniera circolare, ovvero procedendo ordinatamente in sequenza, fino alla "chiusura" dell'intero sistema. Il numero di punti omologhi sufficiente per vincolare le nuvole su tutti i 6 gradi di libertà è variato da coppia a coppia di scansioni, in base alle caratteristiche geometriche della zona di sovrapposizione: su una conformazione prevalentemente piana, il numero di punti per il collegamento si è dovuto aumentare, avendo cura di distribuirli in maniera il più possibile uniforme su tutta l'area comune; laddove, invece, la conformazione spaziale fosse sufficientemente movimentata, sono bastati 6-8 punti, purché disposti sulle diverse giaciture.

Mediante il processo di registrazione si è individuato il posizionamento ottimale delle scansioni, allineandole tra loro maggior rispetto possibile dei vincoli; la diagnostica ha consentito di tenere continuamente sotto controllo i dati statistici della distribuzione dell'errore, e quindi la precisione, per migliorare la quale, quando necessario, si sono imposte ulteriori informazioni costrittive, o perfezionate quelle già introdotte, mediante la visualizzazione delle nuvole che eventualmente presentassero un errore superiore ai valori ammissibili, fino ad ottimizzare il modello. Infine, è stata



Figura 4 – Nuvole di punti del modello complessivo in toni di grigio

più volte effettuata l'operazione di "aggiustamento dei vincoli", per la compensazione degli errori. Si sono sperimentalmente individuati, a seguito numerosi tentativi, i valori ottimali dei parametri che determinano la precisione di quest'ultimo processo: il valore più efficace della massima distanza di ricerca dei punti nella registrazione, che fissa l'intervallo attorno ai punti collimati manualmente dall'operatore, all'interno del quale il software ricerca l'oggetto omologo per il collegamento, si è fatto variare tra i 5 e i 10 mm, mentre la percentuale di campionatura, che stabilisce la velocità rispetto alla precisione del processo, è stata fissata al 50 %.

Le difficoltà maggiori sono state riscontrate all'esterno, sia per la presenza di una notevole quantità di rumore nella parte bassa delle scansioni, dovuta alla presenza di traffico veicolare e pedonale sulla strada prospiciente, che per l'assenza di informazioni sulle parti coperte dall'ombra dei cornicioni dal notevole aggetto, sia dell'ordine gigante, che del portale principale, per

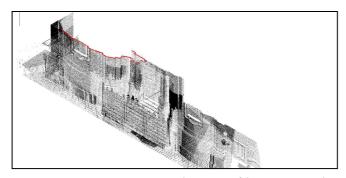




Figura 7 – Tracciamento di un profilo orizzontale

Figura 8 – Verifica della simmetria

rilevare le quali sarebbe stato necessario realizzare un certo numero di riprese dall'alto, da edifici prospicienti, ai quali purtroppo non ci è stato concesso l'accesso. Così, si è dovuto rimediare alla carenza di informazioni, aumentando il numero di punti collimati sulle parti riprese in maniera adeguata, per cercare di non ridurre il livello di precisione. Mediamente, sulla facciata, sono stati collimati 12 punti omologhi per coppia di scansioni, mentre all'interno circa

Per lo stesso motivo, oltre che per effettuare il collegamento tra il modello esterno e quello interno della Badia, le scansioni sono state integrate da una battuta topografica. Si è realizzata una poligonale aperta che partendo da una stazione disposta all'esterno della chiesa, in posizione assiale e sul lato opposto della strada, conducesse al centro dell'impianto planimetrico, dalle quali sono stati collimati rispettivamente 24 punti sulla facciata principale, uniformemente distribuiti, che introdotti nel modello discreto e registrati al pari delle altre scansioni, hanno ridotto l'errore medio attorno ai 7 mm, e 16 punti all'interno, utilizzati sia per il controllo dell'unione delle scansioni, con un errore medio inferiore ai 5 mm, che per l'unione con la nuvola di punti della parte esterna, con la quale non esistono sovrapposizioni.

L'errore medio del modello discreto complessivo, così ottenuto, è stato pari a 9 mm.

Sul modello complessivo dell'oggetto, è stato così agevole, rapida e precisa l'individuazione dei rapporti dimensionali tra le varie parti costituenti la chiesa. Per esempio, sono stati realizzati profili orizzontali, che hanno permesso di osservare, tra l'altro, un'assenza di simmetria sul prospetto, presente a tutti i livelli dei partiti architettonici, con uno scostamento di 46 cm.

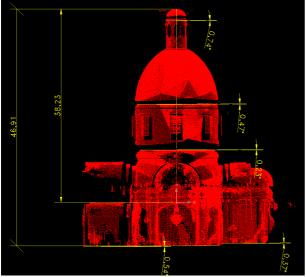
Analisi dei risultati

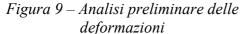
La realizzazione di un modello discreto globale della chiesa ha permesso di effettuare ulteriori approfondimenti, avvalendosi dell'elevata precisione ed oggettività dei dati, dell'alta densità dei punti rilevati e della possibilità di analizzarne l'insieme in un modello tridimensionale, digitale e globale, trasferendo l'analisi del manufatto a tavolino attraverso l'interfaccia informatica generata da software dedicati.

Analisi e considerazioni sono quindi nate a partire da un insieme uniforme di dati secondo differenti scale di dettaglio evidenziando di volta in volta le caratteristiche geometriche e compositive dei vari elementi.

Si è reso necessario un preliminare processo di orientamento del modello, che a causa della mancanza di un sistema di "messa in bolla" dello strumento risultava ruotato in maniera casuale nello spazio digitale: la presenza all'interno della chiesa un candelabro di acciaio di antica fattura appeso tramite una robusta fune che dal lanternino della cupola lo sorregge per una lunghezza complessiva di 38 metri, ha suggerito di riferirsi all'asse della fune, come filo a piombo da utilizzare per il collocamento dell'asse verticale del sistema di riferimento globale.

L'orientamento così ottenuto e la generazione automatica di una vista laterale di sezione hanno consentito di valutare quantitativamente l'inclinazione anche minima di elementi a prima vista orizzontali quali pavimento, piani d'imposta di ambienti voltati, percorsi di sviluppo di modanature; l'intero complesso architettonico ha così rivelato la presenza di una moderata pendenza verso l'entrata, deformazione probabilmente non voluta e dovuta a postumi cedimenti differenziali del terreno.





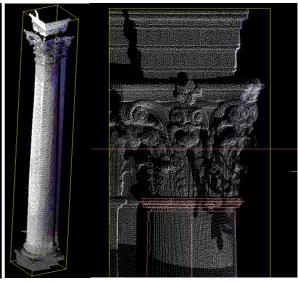


Figura 10 – Studio critico dell'architettura, mediante scomposizione, modellazione e ricomposizione degli elementi.

Il

passo successivo di approfondimento è stato la ricostruzione del modello matematico, ovvero un modello formale che, secondo un processo soggettivo di riconoscimento, regolarizzazione e sintesi, adatta a dati discreti e puntuali oggetti matematici, rappresentanti astrazioni ideali delle entità reali, forme ideali geometriche riconosciute facenti parte dello stile compositivo del progettista, così come dell'ambiente culturale e delle tecniche costruttive dell'epoca l'opera architettonica è stata creata.

Così mentre il modello discreto risulta essere precisa dettagliata ed oggettiva documentazione della superficie rilevata, il modello matematico risulta al tempo stesso interpretazione ed ipotesi ideativa, stabilendo una corrispondenza tra ideale e reale



Figura 11 – Confronto tra modello discreto e matematico.

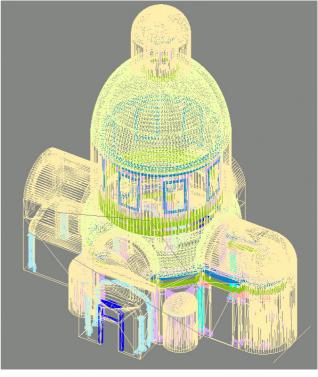


Figura 12 – Vista wireframe delle meshes del modello matematico

Il confronto costante e diffuso tra il modello discreto e l'interpretazione ottenuta attraverso il processo di modellazione ha consentito di scomporre e ricomporre l'oggetto nelle sue componenti, studiandone le relazioni reciproche.

Il software di elaborazione utilizzato, a differenza della maggioranza dei software dedicati alla gestione ed elaborazione di nuvole di punti, ha permesso di gestire agevolmente la seppur enorme mole di informazioni metriche rilevate con lo scanner laser, evitando qualsiasi filtraggio e riduzione intelligente della quantità dei punti rilevati: questo ha consentito di analizzare dettagli dei profili modanati dell'ordine del centimetro, con un confronto critico continuo e dettagliato.

Il confronto tra l'ipotesi e i dati della misurazione mette in evidenza corrispondenze e scostamenti tra i due modelli discreto e matematico, la cui diffusione ed entità, così come la localizzazione e analisi quantitativa e qualitativa, permette di trarre importanti informazioni su deformazioni globali e puntuali, indizi importanti per ulteriori approfondimenti che vadano oltre il rilievo superficiale, per una conoscenza più profonda del manufatto e delle trasformazioni che ne hanno caratterizzato l'esistenza dalla sua ideazione fino alla data del rilievo.

Conclusioni

L'utilizzo di strumentazioni quali il laser scanner e l'analisi dei modelli digitali discreti che esso genera automaticamente, oltre a ridurre i tempi di misurazione e al tempo stesso aumentare la quantità e precisione dei dati, permette sempre più oggi di considerare il rilievo una disciplina scientifica sperimentale, dove l'osservazione del fenomeno architettonico avviene attraverso misurazioni precise e ripetibili mentre l'analisi avviene attraverso la ricerca sperimentale di una legge matematica che sintetizzi, regolarizzi e spieghi il fenomeno instaurando un dialogo costante tra reale e ideale.

L'integrazione di queste nuove metodologie con quelle tradizionali consolidate permette oggi di realizzare accurate documentazioni di organismi architettonici semplici e complessi, ed apre le prospettive del rilievo verso accurate analisi complessive e dettagliate dell'intero organismo tridimensionale costituenti un eccellente punto di partenza per una conoscenza più profonda dell'architettura esistente.

Bibliografia

Bianchini C. (2001), "Modelli discreti e modelli continui nel rilievo e rappresentazione informatizzata dell'architettura", *Disegnare*, 22, Gangemi, Roma

Gaiani M. (2003), "Interazione tra reale e ideale: reverse modeling come strategia progettuale", *Disegno e Design Digitale*, anno02, numero05

Imre Lipschitz Lakatos (1996), *La metodologia dei programmi di ricerca scientifici*, Il Saggiatore, Milano (ma 1978)

Docci M., Gaiani M., Migliari R. (2001), "Una nuova cultura per il rilevamento", *Disegnare, Idee, Immagini*, 23, Gangemi, Roma

Migliari R., Ciammaichella M., Curuli M., Paolini P. (2001), "Recenti linee di ricerca", *Disegnare, Idee, Immagini*, 23, Gangemi, Roma

Migliari R. (a cura di) (2001), Frontiere del rilievo: dalla matita alle scansioni 3D, Strumenti del dottorato di ricerca, Gangemi, Roma

Salvadori F. (2002), "Three-dimensional scanning techniques applied to 3D modelling of pottery finds", *Workshop 7 Archäologie und Computer*, Wien, CD-ROM 2003

Andreozzi L. (2003), Il laser scanner nel rilievo di architettura: la nostra esperienza, Il Lunario,

Migliari R. (2003), Geometria dei modelli, Edizioni K, Roma

Migliari R. (a cura di) (2004), *Disegno come modello*, nuovi quaderni di applicazioni della geometria descrittiva, Ed. Kappa, Roma