



Vista di una singola scansione con l'acquisizione automatica della texture da parte del Leica HDS 3000

La Cattedrale di Pisa

Un rilievo 3D per l'integrazione con i sistemi informativi di documentazione storica e di restauro

di *Marcello Balzani, Federico Uccelli, Roberto Scopigno, Claudio Montani*

Il progetto di rilievo della Cattedrale di Pisa (immersa nel contesto della Piazza dei Miracoli) nasce da una strategica collaborazione tra l'Opera della Primaziale Pisana, la Soprintendenza per i Beni Architettonici e per il Paesaggio per il Patrimonio Storico, Artistico e Demoetnoantropologico per le Province di Pisa, Livorno, Lucca e Massa Carrara, il Centro Dipartimentale DIAPReM dell'Università di Ferrara, il Visual Computing Lab dell'Istituto di Scienza e Tecnologie dell'Informazione del CNR di Pisa, il Dipartimento di Progettazione dell'Architettura dell'Università di Firenze, la Leica Geosystem SpA di Milano e la Kacyra Family Foundation di Orinda in California. Questi enti e strutture di ricerca hanno stipulato un accordo per la realizzazione di un progetto innovativo che prevede l'uso di strumentazione Laser Scanner per la costruzione di modelli tridimensionali di elementi architettonici.

La collaborazione fa perno su precedenti sperimentazioni eseguite in piazza dei Miracoli tra il 2002 e il 2003 nel Battistero (completo rilievo 3D esterno e interno eseguito dal Dipartimento di Progettazione Architettonica di Firenze e dal DIAPReM di Ferrara per l'Opera della Primaziale Pisana) e nella zona absidale (rilievo 3D effettuato dal CNR/ISTI di Pisa e dalla Soprintendenza per i Beni Architettonici di Pisa). Ciascuna struttura di ricerca ed ente ha offerto il proprio contributo in termini di personale, attrezzature, supporto logistico e tecnico allo svolgimento del progetto, che è iniziato nel 2005 dal rilievo del volume esterno delle architetture di piazza dei Miracoli per completare entro il 2006 un innovativo data base integrato. Infatti l'attività di collaborazione ha principalmente lo scopo di sperimentare

la tecnologia di scansione laser a tempo di volo per realizzare un modello tridimensionale dell'esterno del Duomo di Pisa e (in futuro) di parte del prospetto interno sviluppando il collegamento con i Sistemi Informativi relativi alla documentazione storica e di restauro già esistenti o in corso di definizione presso l'Opera della Primaziale Pisana e/o presso la Soprintendenza.

Il rilievo realizzato del Duomo e della Piazza costituisce dunque la base essenziale di una banca dati di tipo dinamico sulla quale inserire le informazioni di tipo storico-culturale, diagnostico e in generale sullo stato attuale e passato del bene. Sono inoltre state eseguite riprese digitali ad alta risoluzione delle zone rilevate. Si sta sperimentando il collegamento di tali immagini alla geometria 3D per permettere una visualizzazione integrata. Il risultato sarà quindi una rappresentazione tridimensionale misurabile che conterrà sia l'informazione quantitativa (geometrica) che quella qualitativa (colore reale degli elementi e dettaglio dell'immagine digitale, nelle zone coperte dal rilievo fotografico).

È convinzione di tutti i partecipanti al progetto che il rilievo tridimensionale costituisca elemento essenziale per la localizzazione e la mappatura di un bene artistico nonché di ogni elemento e particolare di cui esso è costituito e che la conoscenza geometrica del bene sia il fondamento per gli interventi finalizzati alla diagnosi, al monitoraggio e alla sua tutela nonché all'eventuale costruzione di una banca dati specifica. L'evoluzione della tecnologia per il rilievo automatico della geometria di manufatti facilita inoltre la costruzione di banche dati tridimensionali che costituiscono un archivio fonda-

mentale della memoria geometrica del bene necessaria a fini di tutela e conservazione e di eventuali processi di restauro o riproduzione. La costruzione di modelli digitali tridimensionali permette quindi una facile integrazione con dati di tipo strutturale ed eventualmente colorimetrico per una completa rappresentazione del bene in oggetto.

L'acquisizione di modelli digitali della superficie con precisioni millimetriche (caratterizzazioni cromatiche e materiche, morfologia e alterazioni macroscopiche di degrado avanzato) consente oggi l'individuazione delle corrispondenze tra caratteri strutturali e riconoscibilità degli stati di alterazione e di degrado dal quadro ricognitivo esterno.

Tali modelli avanzati sono in genere ottenuti grazie alla sovrapposizione di informazione colorimetrica proveniente da immagini digitali ad alta risoluzione alla superficie 3D che rappresenta l'oggetto (normalmente, una superficie triangolata ricostruita dalle nuvole di punti prodotte dallo strumento di scansione). In tal modo si ottiene un modello digitale 3D misurabile che rappresenta il bene e ne costituisce elemento rappresentativo realistico da cui possono poi essere facilmente derivati sottoprodotto finalizzati all'uso in virtual reality, utili per la fruizione di massa in ambito museale, o per la gestione dell'informazione di restauro.

Tali modelli digitali sono in grado di supportare la riproducibilità, la misurabilità, l'analisi dello stato di degrado e tutte le ulteriori informazioni desumibili dal modello geometrico, nonché la possibilità di realizzare simulazioni su potenziali futuri interventi di recupero. L'Opera della Primaziale Pisana riconosce in questa sperimentazione un prodotto di gran-

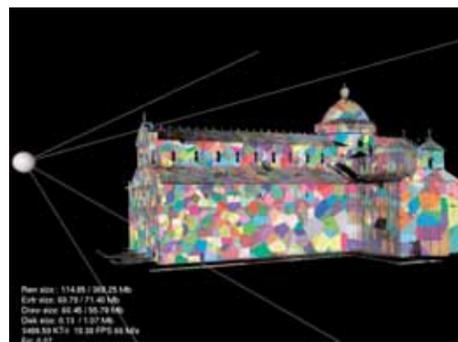
de interesse per i suoi fini istituzionali e in particolare per le attività di tutela e di restauro dei monumenti di sua proprietà nell'area della piazza del Duomo, in Pisa. È interesse delle parti promuovere i risultati del progetto, nelle sue diverse fasi, con seminari e giornate di studio finalizzate alla divulgazione del metodo di rilievo, delle metodologie per l'elaborazione dei dati rilevati e per la loro integrazione con le immagini (RGB), al fine di determinare una procedura operativa ripetibile che potrà essere applicata in casi analoghi a quello oggetto del progetto in esame.

I dati acquisiti sono stati elaborati dal Laboratorio Visual Computing di ISTI-CNR (Istituto di Scienza e Tecnologie dell'Informazione del CNR di Pisa); attraverso software sviluppati interamente dall'Istituto sono state registrate, fuse e semplificate tutte le scansioni, al fine di generare un'unica superficie triangolata. La fase di allineamento è stata effettuata per la maggior parte grazie all'inserimento delle riprese in un unico sistema di riferimento georeferenziato, come descritto precedentemente. Dopo vari processi si giunti a elaborare un modello 3D grezzo composto da più di 400 milioni di triangoli. Dalle immagini a corredo è possibile apprezzare l'alto livello di dettaglio presente nei particolari, i singoli concetti dell'edificio risultano spesso visibili e il modellato (fregi e decorazioni) risulta perfettamente leggibile.

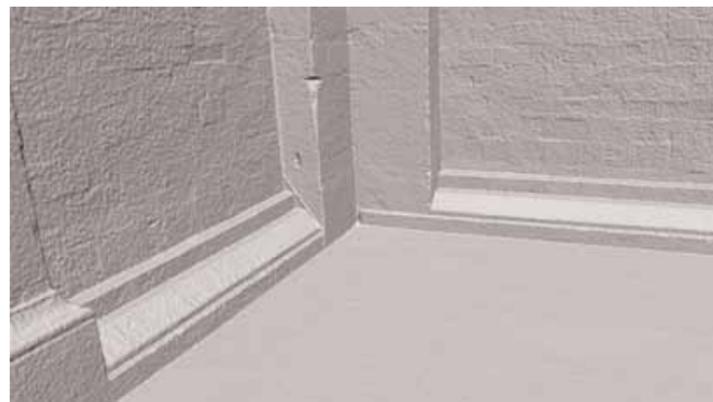
La mesh di triangoli ottenuta è stata quindi processata per ridurre la complessità e trasformarla in un modello multirisoluzione che ne rende possibile la visualizzazione interattiva su macchine di fascia bassa (PC con scheda grafica 3D). Un particolare



Il rilievo del paramento esterno del Duomo è stato eseguito in pochi giorni dal DIAPReM di Ferrara con il supporto del Dipartimento di Progettazione dell'Architettura di Firenze. Sono state applicate procedure integrate topografiche e laser scanner 3D (11 stazioni per circa 88.800.000 punti con il Leica HDS 2500 e 11 stazioni per circa 115.200.000 punti realizzati con il Leica HDS 3000). L'acquisizione è avvenuta definendo una densità di maglia di circa 1 cm con infittimenti su particolari decorativi o strutturali della facciata e dell'abside con maglia di dettaglio di circa 6 mm. È stata realizzata: una scansione di tutto il monumento dai vari punti di osservazione compreso i punti accessibili dall'alto; un'ottimizzazione tramite rilievo topografico realizzato con stazione totale integrata Reflectorless Leica TCR1101 XR; una registrazione di tutte le scansioni con georeferenziazione.



I dati acquisiti sono stati elaborati dal Laboratorio Visual Computing di ISTI-CNR di Pisa; attraverso software sviluppati interamente dall'Istituto sono state registrate, fuse e semplificate tutte le scansioni, al fine di generare un'unica superficie triangolata. Rappresentazione multirisoluzione. Fissato un punto di vista (sinistra) il sistema manipola un insieme di patch (centro) la cui risoluzione è ottimizzata per quel punto di vista (destra). Alla modifica del punto di vista il sistema adegua automaticamente le patch per mantenere l'interattività con il modello.



Particolari del modello a massima risoluzione



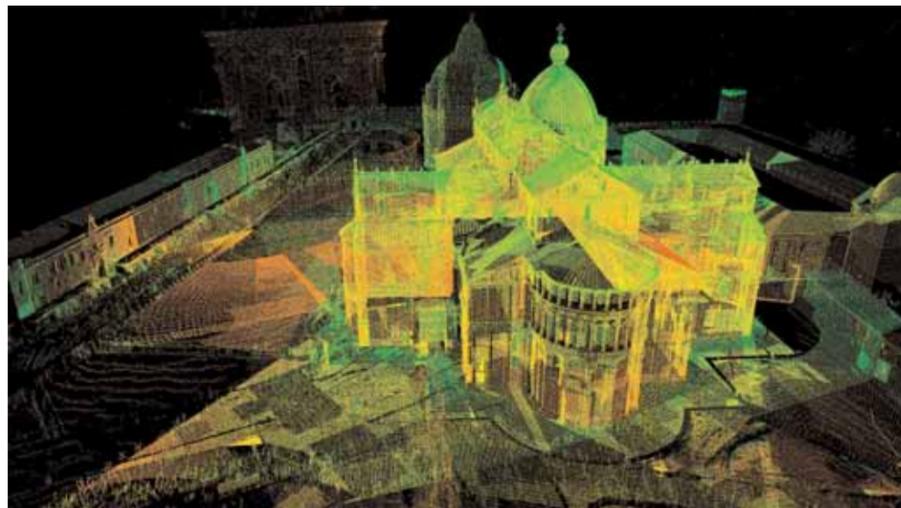
Il sistema Virtual Inspector, sviluppato da ISTI-CNR, permette la fruizione, da parte di utenti poco o per nulla esperti. Questo significa poter fornire all'utente finale un modello 3D completo e risoluto, rendendo possibile osservare anche i più fini dettagli che altrimenti andrebbero persi. Inoltre, permette di introdurre link sulla superficie del modello 3D per attivare pagine descrittive specificate in HTML.

sistema di visualizzazione, sviluppato da ISTI-CNR, è poi in grado di visualizzare questi dataset multirisoluzione in maniera interattiva, aggiornando a tempo di esecuzione l'insieme di triangoli da visualizzare. Se il punto di vista cambia, il sistema deciderà quali zone dovranno essere raffinate e quali ridotte e di conseguenza caricherà e scaricherà dalla memoria secondaria le patch adeguate. La rappresentazione multirisoluzione permette quindi di manipolare e visualizzare in modo interattivo la rappresentazione 3D. È stato adottato a tal fine il sistema Virtual Inspector, sviluppato da ISTI-CNR al fine di permettere la fruizione, da parte di utenti poco esperti (o del tutto inesperti), di modelli 3D complessi e di rendere semplice la progettazione di chioschi multimediali. Virtual Inspector permette di visualizzare un'enorme quantità di dati su computer a basso costo. Questo significa poter fornire all'utente finale un modello 3D completo e risoluto, rendendo possibile osservare anche i più fini dettagli che altrimenti andrebbero persi. Inoltre, permette di introdurre link sulla superficie del modello 3D che consentono di attivare pagine descrittive specificate in HTML; l'inter-operatività con i comuni browser web permette quindi di sviluppare soluzioni multimediali ricche in cui la visualizzazione 3D e l'analisi della forma del manufatto può essere messa in relazione con il corredo descrittivo standard (immagini, testi, etc.).

Crediti

OPA - Opera della Primaziale Pisana: Francesco Pacini (Operai Presidente), Giuseppe Bentivoglio (responsabile scientifico), Gianluca De Felice.
SBAPPSAE - Soprintendenza ai Beni Ambientali

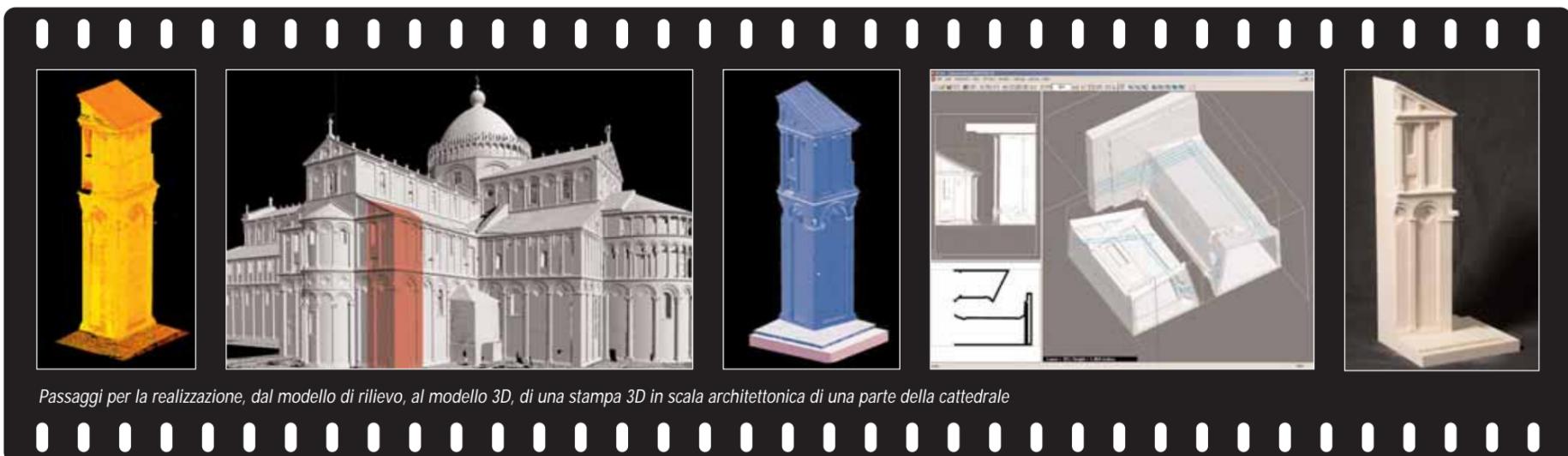
Architettonici Artistici e Storici per le Province di Pisa e Livorno: Guglielmo Maria Malchiodi (Soprintendente), Clara Baracchini, Marta Ciafaloni
CNR-ISTI - Visual Computing Lab, Istituto di Scienza e Tecnologie dell'Informazione "A. Faedo", Consiglio Nazionale delle Ricerche, Pisa: Roberto Scognino, Claudio Montani (responsabili scientifici e coordinatori), Paolo Cignoni, Marco Callieri, Matteo Dellepiane, Valentino Fiorin, Fabio Ganovelli, Federico Ponchio (software di gestione).
DIAPREM - Centro dipartimentale per lo sviluppo di procedure automatiche integrate per il restauro di monumenti, Dipartimento di Architettura - Università degli Studi di Ferrara: Marcello Balzani (responsabile scientifico e coordinamento), Federico Uccelli (rilievo 3D), Alessandro Grieco, Guido Galvani, Cecilia Traina, Stefano Settimo (rilievo topografico e collaboratori al rilievo 3D), Federico Uccelli (registrazioni e elaborazioni data base), Matteo Fabbri (prototipazione solida dettagli del duomo).
Mostra Salone del Restauro 2006: Roberto Meschini, Federico Sanmarchi (allestimento mostra), Nicola Tasselli, Federico Uccelli (produzione video), Viabizzuno (supporto illuminotecnica).
Dipartimento di Progettazione dell'Architettura - Università degli Studi di Firenze: Marco Bini (responsabile Scientifico), Stefano Bertocci (coordinamento), Giorgio Verdiani, Francesco Tioi, Mauro Giannini, Carlo Battini, Andrea Bacci, Sergio di Tondo, Francesca Concas, Claudia de Bartolomeo, Michele Cornieti.
Leica Geosystem SpA, Milano: Marco Nardini, Gabriele Del Fra.
KFF - Kacyra Family Foundation, Orinda, California - USA: Daniel Chudak, John A Loomis, John Ristevski, Anthony Fassero.



Una vista della Piazza dei Miracoli nel modello 3D generato dalla registrazione in Cyclone delle nuvole di punti



Una vista planimetrica della Piazza dei Miracoli generata dai dati del rilievo tridimensionale con al centro la cattedrale. Sono visibili, dalla griglia più fitta dei dati e dai punti di stazione, le fasi di acquisizione secondo il programma di rilievo.



Passaggi per la realizzazione, dal modello di rilievo, al modello 3D, di una stampa 3D in scala architettonica di una parte della cattedrale