

DALLE MISURE LASER SCANNING E FOTOGRAMMETRICHE AL MODELLO VRML/X3D DELLA CHIESA DI S.ANTONIO ABATE A S.DANIELE DEL FRIULI (UD)

D. Visintini^a, E. Siotto^b, E. Menean^a

^a Dipartimento di Georisorse e Territorio, Università degli Studi di Udine, via Cotonificio 114, 33100 Udine,
e-mail: domenico.visintini@uniud.it, piciul_@libero.it, <http://www.infobc.uniud.it>

^b Laboratorio Informatico per la Documentazione storico Artistica, Dipartimento di Storia e Tutela dei Beni Culturali,
Università degli Studi di Udine, vicolo Florio 2/b, 33100 Udine, e-mail: eliana.siotto@uniud.it, <http://www.infobc.uniud.it>

KEY WORDS: Laser scanning, Fotogrammetria digitale, Modellazione, Texturing, Realtà virtuale.

RIASSUNTO ESTESO

L'articolo descrive l'esperienza di realizzazione completa del modello digitale della Chiesa di Sant'Antonio Abate a San Daniele del Friuli (UD), dall'acquisizione delle misure mediante un sistema integrato laser scanning e fotogrammetrico terrestre, fino alla realizzazione del modello 3D fotorealistico in ambiente interattivo di realtà virtuale VRML/X3D.

La prima notizia scritta sulla chiesa risale al 1308, anno in cui fu nuovamente consacrata. L'edificio fu danneggiato dal terremoto del 1348 e venne ristrutturato ed ampliato a partire dal 1441 con la costruzione della facciata gotica in pietra d'Istria con portale a sesto acuto, il magnifico rosone e le vetrate a mosaico. La chiesa è definita la "Piccola Cappella Sistina del Friuli" poiché custodisce al suo interno il più bel ciclo di affreschi rinascimentali della regione, opera di Martino da Udine (1467 o 1472 – 1547) meglio conosciuto come Pellegrino da San Daniele. Il ciclo pittorico presenta un articolato e complesso programma iconografico, che risponde alla necessità di inserire in modo organico Profeti, Evangelisti, Dottori della Chiesa, fatti e personaggi biblici, storie cristologiche, Santi ed episodi concernenti la vita di Sant'Antonio da Padova e di Sant'Antonio Abate, la presenza dei quali era fortemente legata alle esigenze di culto della Confraternita che aveva commissionato l'opera. Le scene affrescate si sviluppano sulla parete dell'arco trionfale e sulle fasce contigue della navata, sui pilastri e sull'intradosso degli archi del presbiterio, sulla volta a crociera e sulle pareti di quest'ultimo e sulla volta a costoloni e sulle pareti dell'abside. La loro successione cronologica e iconografica è ancora oggetto di studio: il modello digitale realizzato è allora inteso come uno strumento moderno e innovativo utile sia agli esperti del settore sia al visitatore, reale o virtuale che sia, in quanto a breve il modello sarà esplorabile e consultabile su web. Se il ciclo pittorico ha suscitato da sempre un grande interesse, visto il suo valore artistico ed il complicato discorso conservativo, le vicende della struttura architettonica della chiesa sono invece ancora poco conosciute. Saranno pertanto nostre attività di ricerca il recupero di una parte di storia ancora in oblio, attraverso un'attenta ricognizione dei documenti di archivio e l'utilizzo di rappresentazioni grafiche antiche e di fotografie storiche per ricostruire tridimensionalmente le strutture e ricollocare virtualmente elementi non più esistenti o collocati altrove. Ciò al fine di rappresentare in una modalità assai avanzata, quale è l'ambiente virtuale VRML/X3D, e sotto una nuova luce unitaria le vicende storiche, architettoniche, artistiche e conservative della chiesa.

Le misure laser scanning e fotogrammetriche sono state acquisite con il sistema laser scanner terrestre (TLS) Riegl Z390I integrato con la camera digitale fotogrammetrica Nikon D200 del Centro Internazionale di Ricerca per la Montagna di Amaro (UD). All'interno della chiesa (vedi Figura 1), il sistema TLS è stato posto su un treppiede in tre diverse posizioni ("Abside", "Presbiterio" e "Navata"), con varie inclinazioni dell'asse principale (verticale, +30°, -40°, +90°, -90°) e due passi angolari di scansione (0,200° e 0,120°): in totale sono state eseguite 11 scansioni panoramiche per complessivi 18 milioni di punti. Dalle stesse posizioni sono state acquisite 100 immagini digitali (3.872 x 2.592 pixel, obiettivo Nikkor di lunghezza focale pari a 20 mm) mediante rotazione panoramica con un fattore variabile di sovrapposizione cautelativa. In modo analogo, è stato eseguito all'esterno il rilevamento della facciata principale, acquisendo 7 scansioni da tre posizioni ("Facciata1 vert", "Facciata1 +20°" e "Facciata2 +20°") per un totale di 15 milioni di punti e 63 immagini. Nel complesso sono stati ottenuti automaticamente 33 milioni di punti (351 Mb) e 163 immagini (621 Mb) in poche ore di lavoro. Altre immagini sono state acquisite in seguito con la sola camera metrica senza il sistema TLS, a scala maggiore e/o in zone dove si sono verificati problemi di esposizione fotografica, ad esempio in corrispondenza delle finestre.



Figura 1. Posizioni del TLS, target riflettenti e punti acquisiti.



Figura 2. Modello 3D fotorealistico in ambiente VRML/X3D.

I dati TLS sono stati elaborati con il software RiSCAN PRO® (Riegl) e la prima operazione eseguita è stata la registrazione di tutte le nuvole di punti laser acquisiti: a tal fine, sono stati utilizzati 41 *target* cilindrici o circolari ad alta riflettività come “punti doppi” (indicati in giallo in Figura 1). Si sottolinea il fatto che le scansioni interne e quelle esterne non avevano punti comuni per la presenza di un grande pannello informativo descrivente gli affreschi (visibile in Figura 1) situato immediatamente all’interno del portale d’ingresso, che ha impedito vi fossero raggi laser “interni-esterni”. Le coordinate baricentriche dei target rispetto agli 11 diversi sistemi di riferimento-scansione sono note con grande precisione, in quanto rimisurati con circa 30.000 raggi laser (*fine scans*) e sono state opportunamente rilevate mediante stazione totale Leica TCRA 1103 dai vertici di una rete topografica inquadrata nel sistema di riferimento globale del lavoro. Risolta in modo automatico la ricerca dello stesso target in scansioni diverse (*pairing*), sono state stimate le 11 roto-traslazioni con una deviazione standard dei residui pari a 1,8 mm per le scansioni interne e a 4,9 mm per quelle esterne, valori numerici che attestano la buona precisione di questa fase fondamentale di processamento dei dati TLS.

I punti sono stati successivamente sottoposti ad idonee funzioni di pulitura e di filtraggio, anche per eliminare molti punti relativi ad oggetti privi di interesse per il rilevamento e la modellazione, quali ad esempio le numerose sedie collocate nella chiesa, oggigiorno sconosciute ed adibite a suggestivo spazio per manifestazioni culturali e mostre, oltre che ovviamente bene culturale per se stessa.

A partire allora dai 15 milioni di punti interni “utili”, si può ottenere potenzialmente una superficie DDSM di quasi 30 milioni di triangoli, ma tale mostruoso numero di facce 3D sarebbe gestito con enorme difficoltà quando esportato in ambiente CAD ed, ancor di più, quando visualizzato in ambiente VRML/X3D. Per questo motivo, la nuvola di punti è stata opportunamente suddivisa in 27 sottoinsiemi, in modo da poter gestire caso per caso la notevole sovrapposizione fra le varie scansioni, privilegiando quelle più vicine e/o non scorciate. Inoltre, poiché in RiSCAN PRO sono disponibili quattro diversi comandi di triangolazione 3D, tutti comunque basati su analisi 2D planimetriche o polari delle coordinate, questa suddivisione ha permesso di scegliere caso per caso quale tipo di triangolazione utilizzare e con quali parametri geometrici di costruzione della *mesh* triangolare.

Le 27 diverse superfici così ottenute, che compongono il DDSM della chiesa, sono state infine ottimizzate mediante lisciatura (*smoothing*) e decimazione dei triangoli, per ottenere un modello 3D dettagliato ma con “pochi” (centinaia di migliaia!) triangoli: questo è il classico problema senza soluzione univoca, per il quale si è proceduto ad una serie di prove ed elaborazioni alla ricerca del miglior compromesso fra le opposte necessità di dettaglio e di semplificazione. Il DDSM finale è risultato essere composto da 315.326 triangoli, dei quali ben 112.377 ricostruiscono la volta a crociera del presbiterio e 103.454 la volta a costoloni dell’abside, entrambe stupendamente affrescate. Si noti come le superfici curve richiedono, da sole, ben il 68% dei triangoli dell’intera superficie interna della chiesa, con lati di dimensioni anche sub-centimetriche nei costoloni che hanno raggi di curvatura minimi di circa 7 cm.

Tornando al DDSM originale (non ottimizzato), si sottolinea come questo costituisce un modello digitale “iper-dettagliato” che potrà essere elaborato, anche con qualsiasi altro software di editing di dati TLS, per ricavare accurate misure 3D, per creare nuove *texture* con immagini a grandissima scala e per produrre elaborati grafici *ad hoc* per analisi strutturali e per il restauro.

Anche le elaborazioni fotogrammetriche sono state eseguite con RiSCAN PRO, a partire dal raffinamento dell’orientamento esterno delle immagini acquisite con la camera fissata sul TLS. Seppur noti, tali orientamenti sono stati migliorati ricorrendo sulle immagini il centro di alcuni target riflettenti, grazie ad una funzione di ricalibrazione dei 6 parametri di *mounting*, cioè della roto-traslazione fra il riferimento della camera e quello del TLS. In questo modo è stata stimata con grande precisione la trasformazione di collinearità 2D/3D fra immagini digitali e punti laser, che ha permesso la colorazione RGB automatica degli stessi punti e soprattutto il *texturing* fotorealistico del DDSM, potendo scegliere zona per zona quali immagini utilizzare fra le molte disponibili.

Su questo DDSM colorato sono stati successivamente individuati alcuni punti notevoli degli affreschi per essere utilizzati come punti di appoggio per l’orientamento esterno delle immagini acquisite senza TLS, conseguendo una buona precisione visti i residui centimetrici su tali punti. Con queste ultime immagini così orientate sono state create nuove *texture* di miglior qualità ed omogeneità radiometrica che, sostituendo le precedenti, hanno prodotto una vestizione finale di grande fotorealismo (vedi Figura 2).

A partire da questa vestizione sono state prodotte delle ortofoto ad alta risoluzione (dimensione del pixel pari a 2 mm) su vari piani di interesse, ottenendo così la pianta zenitale delle volte ed i prospetti dell’arco trionfale, dell’abside e del presbiterio, rappresentazioni grafiche di superfici interamente affrescate e decorate, di grande utilità per scopi architettonici e di catalogazione.

Il modello 3D e le *texture* della chiesa sono stati infine esportati come file WRL nello spazio virtuale interattivo VRML/X3D; per la zona dell’abside, sono stati adottati due diversi *Livelli di Dettaglio* (LoD), sia per quanto riguarda la geometria del modello 3D che la risoluzione delle immagini (in ambiente VRML, un LoD alto significa un basso dettaglio e viceversa). Muovendo la camera virtuale dal pavimento verso la volta, se la distanza dal centro della stessa è minore a 5 m, il livello di dettaglio visualizzato viene automaticamente cambiato dal livello meno dettagliato (LoD1) a quello più dettagliato (LoD0), assicurando al tempo stesso una rappresentazione ottimale (l’utente non percepisce la sostituzione) ed una navigazione fluente senza scatti.

In tale modello VRML/X3D, sulle diverse scene degli affreschi sono state definite delle “ancore”, cliccabili dall’utente, che aprono le rispettive schede del Sistema Informativo Regionale del Patrimonio Culturale (SIRPaC). Questo modello è stato pensato infatti per essere visualizzato anche via web, come primo esempio del progetto dell’Università degli Studi di Udine “*Informatica e Web per i Beni Culturali: servizi innovativi mobili e 3D per il Turismo*”, finanziato dalla regione autonoma Friuli Venezia Giulia (<http://www.infobc.uniud.it>). Il progetto prevede la creazione di un complesso SIT collegato ai modelli 3D di alcuni edifici di particolare interesse storico-artistico e alle banche dati ministeriali (ARISTOS e SICaR) e regionale (SIRPaC) integrate, per la gestione, la tutela, la valorizzazione e la fruizione del patrimonio storico-artistico ed archeologico della Regione.

Il modello fotorealistico VRML/X3D della Chiesa di Sant’Antonio Abate permetterà al visitatore virtuale di muoversi liberamente al suo interno, ovvero di seguire diversi percorsi tematici predefiniti, che lo aiuteranno a meglio orientarsi negli spazi architettonici, a capire il ciclo pittorico, a scoprire ed approfondire argomenti quali le fasi di realizzazione degli affreschi, i diversi accorgimenti tecnici adottati da Pellegrino nel corso degli anni e gli interventi di restauro. Interagendo col modello tridimensionale si potranno inoltre visualizzare altre opere correlate dell’artista sparse in regione, ma soprattutto si potrà ricostruire virtualmente l’aspetto della chiesa ed i suoi cambiamenti nel corso del tempo a partire dal 1906, data della prima campagna fotografica eseguita nella chiesa.

Riassumendo, l’articolo presenta ed esamina tutti i passaggi “dalle misure al modello digitale”, molti automatici ed alcuni guidati dall’esperienza, che hanno portato ad un’interessante rappresentazione avanzata di un bene culturale articolato e di grande valore.