



Regione Siciliana

Assessorato dei Beni Culturali e Ambientali e della Pubblica Istruzione
Dipartimento dei Beni Culturali, Ambientali, Educazione Permanente,
Architettura e Arte Contemporanea

Centro Regionale per l'Inventario, la Catalogazione e la Documentazione
dei Beni Culturali e Ambientali



Istituto Geografico Militare



Università degli Studi di Palermo



Università degli Studi di Palermo

Dipartimento di Rappresentazione

IL SOFFITTO DELLO STERI DI PALERMO

Rilievo fotogrammetrico digitale

a cura di Francesco Vergara Caffarelli

IL SOFFITTO DELLO STERI DI PALERMO

Rilievo fotogrammetrico digitale

a cura di Francesco Vergara Caffarelli

Coedizione

Regione Siciliana

Assessorato dei Beni Culturali e Ambientali e della Pubblica Istruzione
Dipartimento dei Beni Culturali, Ambientali, Educazione Permanente,
Architettura e Arte Contemporanea

CRICD - Centro Regionale per l'Inventario, la Catalogazione
e la Documentazione grafica, fotografica, aerofotografica, fotogrammetrica
e audiovisiva dei Beni Culturali e Ambientali
Piazza Don Luigi Sturzo, 10 - Palermo

IGM - Istituto Geografico Militare

via Cesare Battisti, 10 - Firenze

Cura editoriale

CRICD - Servizio Documentazione

Dirigente: Francesco Vergara Caffarelli

Redazione testi ed apparati didascalici: Giuseppina Sparacino, Gaspare Pasciuta

Progetto grafico, impaginazione, ottimizzazione delle immagini: Fabio Militello

Fotografie: Fabio Militello (pp. 3-30; p. 39, 41, 69, 83, 133, 141, 169; appendice pp. 195- 224)

Si ringrazia in particolare il dott. Ferdinando Maurici, Dirigente dell'Unità Operativa Promozione e Diffusione Editoriale e tutto il personale tecnico e amministrativo del CRICD.

Il soffitto dello Steri di Palermo : rilievo fotogrammetrico digitale / a cura
di Francesco Vergara Caffarelli. – Palermo : CRICD ; Firenze : IGM, 2009.
1. Palermo – Palazzo Chiaromonte. I. Vergara Caffarelli, Francesco <1955->.
728.8209458231 CDD-21 SBN Pal0219466

CIP - Biblioteca centrale della Regione siciliana "Alberto Bombace"

Rilievo fotogrammetrico del soffitto

Università degli Studi di Palermo - Dipartimento di Rappresentazione

Direttore: Benedetto Villa

UniNetLab - Sistema di Laboratori di Ateneo

Laboratorio di conoscenza, gestione e fruizione di beni culturali con tecnologie informatiche avanzate

Responsabile Scientifico: Benedetto Villa

Operazioni di rilievo: Fabrizio Agnello, Mauro Lo Brutto, Mirco Cannella, Gianni Giordano

Sperimentazione multimediale

Università degli Studi di Palermo - Dipartimento di Ingegneria Informatica

Direttore: Antonio Chella

Progetto e realizzazione prototipo sperimentale: Antonio Gentile, Antonella Santangelo
con la collaborazione di MediaVoice s.r.l., Roma.

Stampa

Istituto Geografico Militare, Firenze

Comandante: Carlo Colella

Direttore della 3ª Direzione della Produzione: Nicola Nozzoli

Capo Servizio Riproduzione e Stampa: Gianfranco Gentile

Capo Servizio Pianificazione e Consulente Legale: Matteo Fucci

Per informazioni:

cricd.serv.documenta@regione.sicilia.it

Questo libro è composto in Simoncini Garamond e Frutiger presso il Centro Regionale per l'Inventario, la Catalogazione e la Documentazione dei Beni Culturali e Ambientali, Palermo.

Prestampa digitale realizzata da Offset Studio, Palermo.

Stampa in 1500 esemplari su carta patinata opaca da 128 gr/mq, patinata lucida da 150 gr/mq, cartoncino bianco flash master da 200 gr/mq, presso le Officine dell'Istituto Geografico Militare di Firenze.

Le segnature sono piegate in ottavi (formato rifilato cm 34 x 28), la rilegatura è cucita a filo refe.

Copertina cartonata e cofanetto rivestiti in Imitlin realizzati presso la Zanardi Group S.r.l. di Padova.

© Regione Siciliana 2009

Edizione fuori commercio. Vietata la vendita. Tutti i diritti riservati



INDICE

- 23** La documentazione del soffitto della Sala Magna dello Steri di Palermo
Francesco Vergara Caffarelli
- 31** Il rilevamento del soffitto della Sala Magna
Benedetto Villa, Fabrizio Agnello, Mirco Cannella, Mauro Lo Brutto
- 37** Passeggiare per il soffitto in compagnia di una dotta guida virtuale
Antonio Gentile, Antonella Santangelo
- 39** Tavole
Pianta iposcopica e sezioni verticali della sala
Quadro d'unione
Fotopiani dei pannelli sulle pareti
Fotopiani delle travi
Fotopiani dei pannelli sulla trave centrale
Fotopiani dei lacunari
Assonometrie delle mensole
- 195** Appendice fotografica: particolari
fotografie di *Fabio Militello*

IL RILEVAMENTO DEL SOFFITTO DELLA SALA MAGNA

Il soffitto ligneo della Sala Magna ha rappresentato un laboratorio ideale per la sperimentazione e l'integrazione di differenti tecniche e strumentazioni per il rilevamento e la rappresentazione digitale¹. L'obiettivo principale consisteva nel pervenire ad una rappresentazione che consentisse l'osservazione dettagliata di oggetti posti ad una distanza di circa 8 m dal pavimento. È stato quindi necessario risolvere una serie di problemi di non facile soluzione, riguardanti vari aspetti sia metodologici che operativi; infatti, oltre alle operazioni finalizzate alla misura e restituzione grafica degli elementi che compongono il soffitto, si sono dovute acquisire e rappresentare con elevata risoluzione le immagini relative alle decorazioni pittoriche. A tale proposito, particolarmente vantaggioso è apparso subito il ricorso all'integrazione fra le tecniche laser-scanning e quelle fotogrammetriche digitali, oltre all'impiego delle metodologie topografiche tradizionali².

I dati acquisiti nel corso delle operazioni di rilevamento topografico e con laser scanner hanno costituito la base per la definizione della struttura geometrica e dimensionale del soffitto e per la produzione di un modello digitale tridimensionale. Il rilevamento fotogrammetrico ha permesso quindi l'integrazione delle immagini fotografiche con il modello tridimensionale per la realizzazione di un modello fotorealistico del soffitto. Questo modello integra l'affidabilità metrica derivante dalle misurazioni del rilievo e l'alta definizione delle immagini fotografiche in un unico prodotto.

L'elaborato finale costituisce il primo documento integrale dello stato di conservazione materica e pittorica. Tale modello, in formato digitale, può essere utilizzato sia in attività scientifiche (conservazione, restauro, documentazione, ecc.), che per la semplice fruizione multimediale, in sito o in rete, per la divulgazione di questo splendido prodotto della cultura artistica siciliana.

Il rilievo topografico, eseguito con l'impiego di una stazione totale *Leica TCR1105*, è stato finalizzato alla determinazione delle coordinate tridimensionali di alcuni punti di dettaglio, utili per le operazioni di ricostruzione digitale della Sala (Fig. 1), dei punti di appoggio fotogrammetrici, utilizzati per le operazioni di raddrizzamento delle superfici delle singole travi, e dei target necessari alle

operazioni di orientamento e mosaicatura delle scansioni laser. Ovviamente ha anche consentito di stabilire un unico sistema di riferimento spaziale per tutti i dati acquisiti, particolarmente utile nelle operazioni di elaborazione dei dati laser finalizzate all'estrazione del modello tridimensionale.

Grazie alle tecniche laser-scanning si è potuto acquisire un numero assai rilevante di punti tridimensionali sia del soffitto che della Sala. Le operazioni sono state condizionate dalla complessa geometria del soffitto che genera nei dati laser significative lacune dovute alle zone di occlusione; al fine di ridurre al minimo tali lacune, sono state effettuate numerose scansioni da diversi punti di presa all'interno della Sala, utilizzando strumenti dalle differenti caratteristiche tecniche.

In una prima fase sono state eseguite otto scansioni del soffitto con uno scanner a tempo di volo *Mensi GS200*³. La bassa risoluzione della camera integrata allo scanner non consente l'utilizzo di queste immagini per processi di mappatura delle superfici rilevate. A causa del limitato campo di vista verticale, il rilievo è stato eseguito inclinando sensibilmente lo strumento verso l'alto (Fig. 2). Le scansioni sono state eseguite con un passo medio di circa 5 mm sull'oggetto ottenendo per ogni singola scansione circa 1.5 milioni di punti. Attraverso i processi di riduzione dei fenomeni di disturbo, di mosaicatura e di eliminazione dei punti ridondanti, è stata ottenuta una unica nuvola di punti del soffitto costituita da circa 6 milioni di punti (Fig. 3). Ulteriori scansioni sono state eseguite con uno scanner a modulazione di fase *Faro LS880*⁴ (Fig. 4). Grazie all'ampiezza del campo di vista sul piano verticale di questo strumento, infatti, è stato possibile rilevare tutte le zone del soffitto non ricoperte dalle prese con il Mensi. Le modalità operative di questo scanner prevedono l'esecuzione di una scansione dell'intero campo visivo a bassa o media risoluzione e successivamente l'individuazione di una area per la quale eseguire la scansione ad alta risoluzione. Le operazioni di scansione portano alla determinazione delle coordinate tridimensionali e del valore di riflettanza per ciascun punto. Lo strumento è stato posizionato in tre diversi punti della Sala al fine di ottenere una copertura completa delle zone visibili del soffitto ad alta riso-

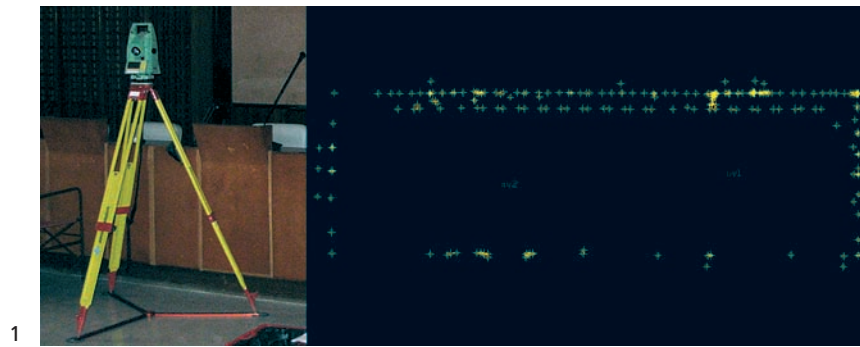
Benedetto Villa
Fabrizio Agnello
Mirco Cannella
Mauro Lo Brutto

¹ Alle operazioni di rilievo (2006-2007) hanno partecipato: l'ing. Gianni Giordano (UniNetLab); gli arch. Carmelo Clementi, Alessandro Corso, Liria Di Maria, Viviana Trapani e gli ingg. Giacomo Carpino, Marcella Mannina, allievi del Master di 2° livello in "Tecniche innovative per il rilevamento e la rappresentazione dei Beni Culturali".

² La strumentazione utilizzata è stata messa a disposizione dal Laboratorio per la "Conoscenza, gestione e fruizione di beni culturali con tecnologie informatiche avanzate" afferente ad UniNetLab (Sistema di Laboratori di Ateneo dell'Università degli Studi di Palermo), costituitosi con finanziamenti del POR Sicilia 2000-2006 - misura 3.15.

³ Questo strumento ha una portata fino a 200 metri ed è caratterizzato da un campo di vista di 360° in orizzontale e di 60° in verticale; è in grado di misurare fino a 5000 punti al secondo con una precisione nominale di ± 3 mm a 50 m. È inoltre dotato di una camera digitale interna con risoluzione di 2 Megapixel per l'acquisizione di immagini dell'area di scansione; tali immagini vengono utilizzate per associare ad ogni punto dei valori radiometrici.

⁴ Messo a disposizione dalla CAM2 s.r.l. di Grugliasco (TO). Questo strumento è caratterizzato da una portata di 80 m ed è in grado di misurare fino a 120000 punti al secondo con una precisione nominale di ± 5 mm a 30 m. Il campo di vista è di 260° sul piano orizzontale e di 320° su quello verticale.



1



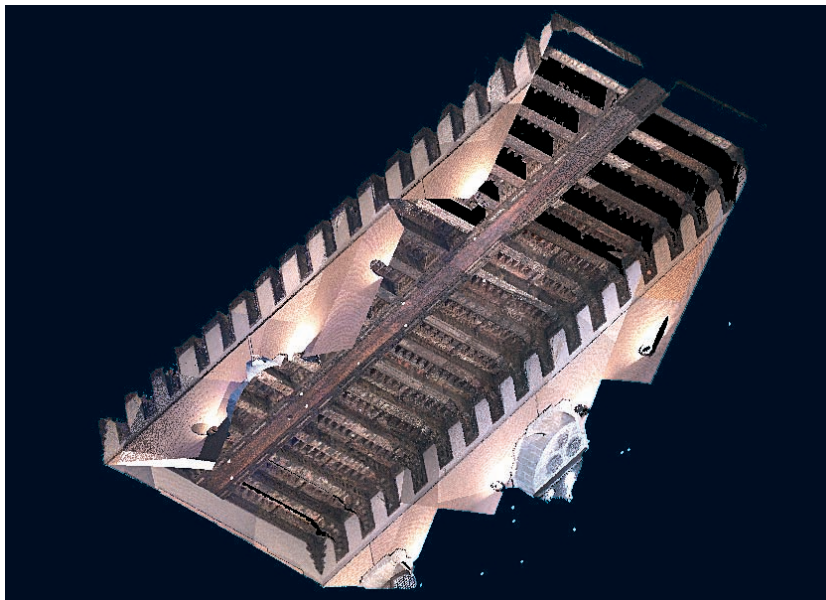
2



3



5



4

luzione e delle scansioni generali della Sala a media risoluzione. La figura 5 illustra appunto una vista prospettica del modello tridimensionale della Sala ottenuto dall'elaborazione di queste ultime scansioni. Anche in questo caso le nuvole di punti sono state processate per ridurre i fenomeni di disturbo, per la mosaicatura e per l'eliminazione dei punti ridondanti. Al termine di tale processo è stata ottenuta una nuvola del soffitto di circa 15 milioni di punti ed una nuvola della Sala di circa 3 milioni di punti (Fig. 6).

La determinazione di un sistema di riferimento unico, definito attraverso le misure topografiche, ha consentito di integrare i dati acquisiti con i due diversi strumenti. La nuvola di punti risultante descrive in modo puntuale e dettagliato le superfici del soffitto ma pone problemi legati alla sua gestione ed elaborazione con le tecnologie informatiche attualmente disponibili. Per questo motivo si è scelto di ricampionare il dato laser complessivo con un passo medio di 7 mm, in grado di descrivere in modo corretto le geometria e la forma di tutti gli elementi del soffitto (Fig. 7). Tutti i pro-



6



7



8



9

cessi di elaborazione sono stati effettuati con il software *Rapidform* della *Inus Technology*.

Il soffitto è stato oggetto di una accurata campagna di riprese fotografiche relative alle travi, ai cassettoni e alle mensole. Il rilievo fotogrammetrico è stato finalizzato alla produzione dei fotopiani digitali delle facce verticali ed orizzontali delle singole travi e di un'ortofoto di tutto il soffitto. Le prese sono state realizzate con una camera digitale *Canon EOS Mark II⁵* posizionata su un cavalletto a circa 6 m di distanza dal soffitto (Fig. 8). Le prese sono state effettuate inizialmente con asse zenitale per le facce orizzontali di tutte le travi e per i lacunari; successivamente con asse inclinato per le facce verticali e per i mensoloni. Complessivamente sono stati realizzati circa 200 fotogrammi.

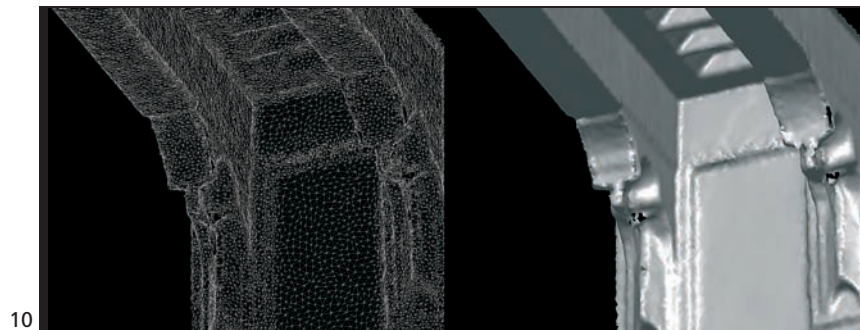
La fase successiva alle prese è stata dedicata alla misurazione con metodi topografici dei punti di appoggio necessari al raddrizzamento dei fotogrammi; per ciascuna faccia sono stati rilevati in media 8 punti. I fotopiani digitali sono stati realizzati con l'impiego del software *Photometric* della *Geotop*, utilizzando opportuni piani di riferimento per ciascuna faccia della trave; a tale scopo è stata eseguita la trasformazione delle coordinate topografiche dei punti di appoggio di ciascuna faccia, per riferirne i valori al piano medio. Attraverso le operazioni di raddrizzamento è stato possibile ottenere immagini delle travi prive di deformazioni prospettiche, da utilizzare per le operazioni di mappatura del modello tridimensionale (Fig. 9).

Un primo modello digitale del soffitto è stato ottenuto dalla nuvola di punti laser in modo automatico. Il risultato dell'elaborazione è un modello di superficie a maglia triangolare (*mesh*) che rappresenta in modo preciso e dettagliato l'oggetto (Fig. 10). Il processo però genera un numero di facce doppio rispetto al numero di punti; ciò comporta un'ulteriore difficoltà nella gestione e visualizzazione dell'oggetto rilevato. Il modello ottenuto è troppo dettagliato per le superfici dalla geometria semplice e allo stesso tempo insufficiente per la descrizione di superfici complesse.

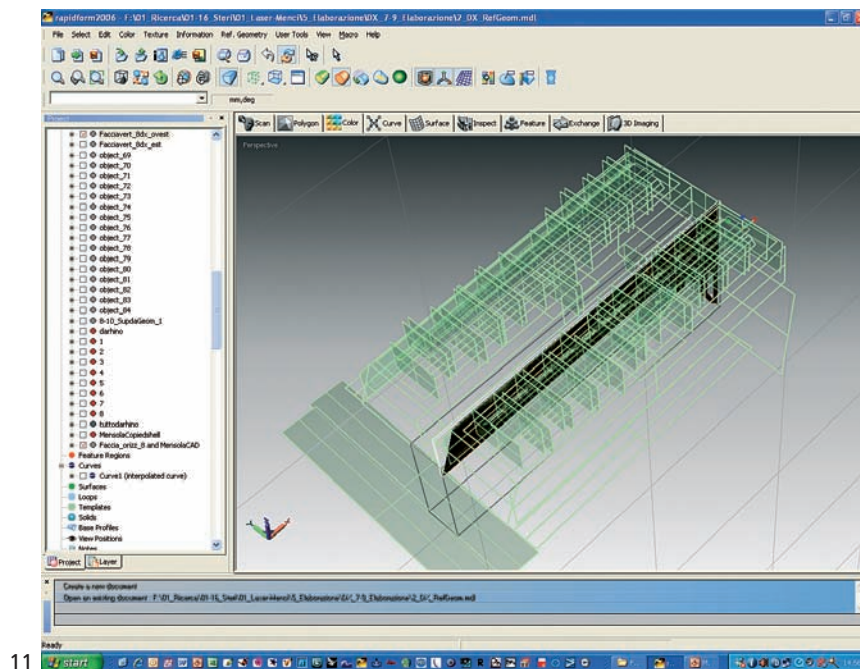
Per questo motivo è opportuno procedere ad una discretizzazione della *mesh* in elementi geometrici che possono essere utilizzati per ricostruire l'oggetto con procedure di modellazione solida. Tali procedure consentono di descrivere in modo altrettanto preciso e dettagliato le superfici rilevate e generano un modello tridimensionale utilizzabile sia nei processi di visualizzazione che di mappatura. È stato quindi realizzato un secondo modello sostituendo ad ogni

⁵ Questa camera ha un sensore CCD da 16.1 Megapixel a pieno formato ed è dotata di un obiettivo con focale da 50 mm.

faccia della trave il piano che meglio approssima la corrispondente porzione della nuvola di punti (Fig. 11). Naturalmente questa procedura determina una riduzione dell'accuratezza, in relazione agli scarti (con valori che raggiungono i 7 mm) fra questi piani virtuali e le superfici reali che non sono perfettamente piane; d'altra parte consente di realizzare un modello di tutto il soffitto, flessibile e facilmente gestibile, con una precisione adeguata alla specifica geometria delle superfici delle travi.

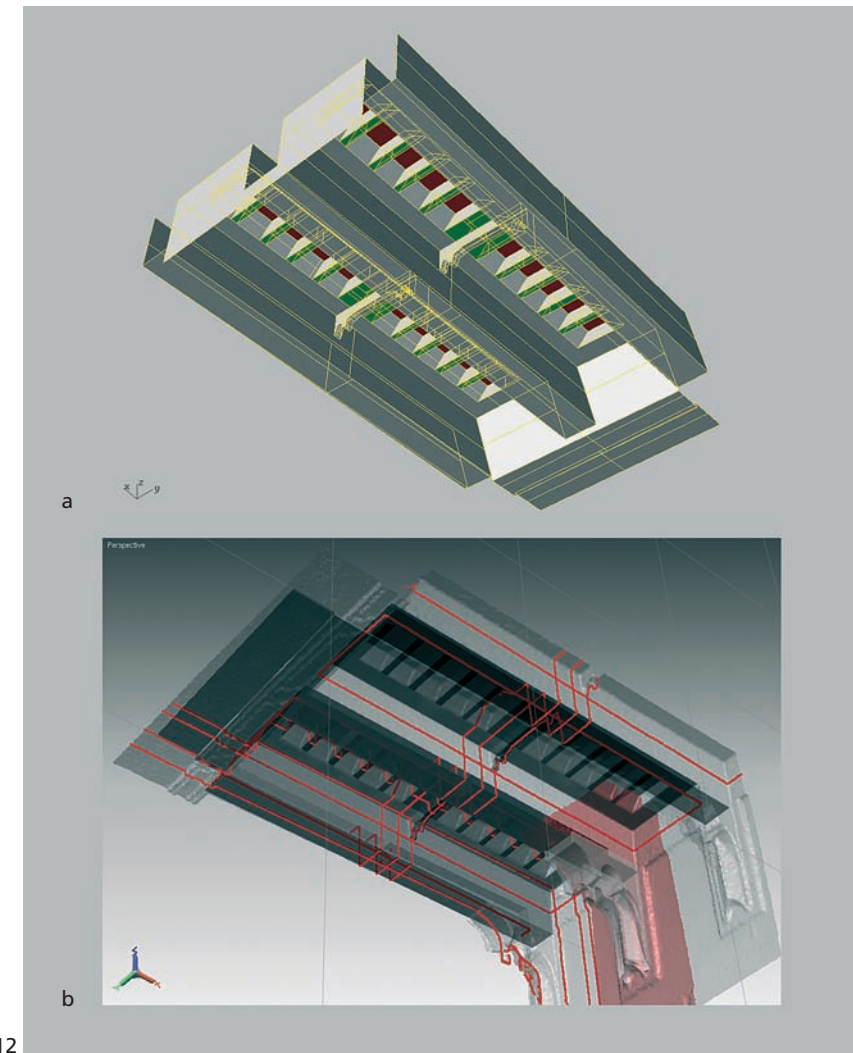


10

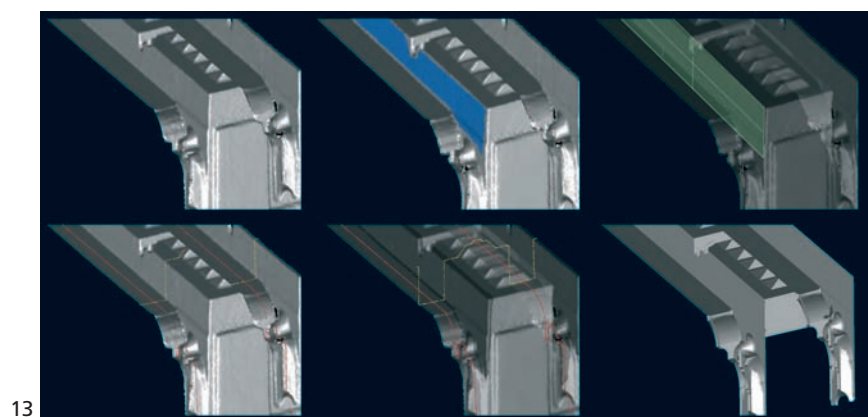


11

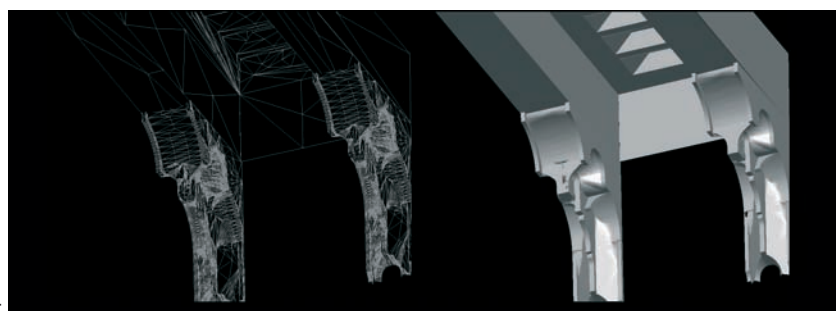
Non bisogna dimenticare, peraltro, che l'obiettivo di questo lavoro consisteva nella realizzazione di un progetto di documentazione digitale del soffitto e che quindi l'aspetto della precisione metrica passava in secondo piano rispetto a quello della descrizione qualitativa. La modellazione delle travi e dei lacunari è stata effettuata con il software *Rhinoceros 4.0* in due fasi: estrazione di piani e sezioni dalla nuvola di punti (Figg. 12a, b) ed elaborazione e connessione delle superfici (Fig. 13).



12



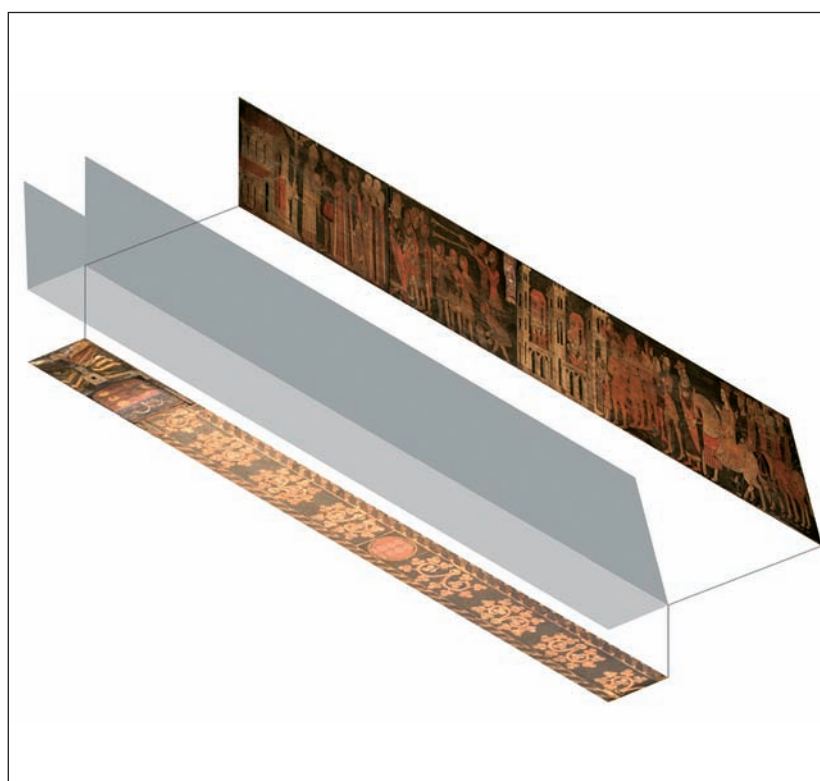
13



14

Il processo finalizzato all'uso dei modelli CAD per la visualizzazione, il rendering o la prototipazione richiede la riconversione del modello digitale in un modello a maglie triangolari. Il risultato è una nuova mesh, differente da quella generata automaticamente dalla nuvola di punti, dove la distribuzione dei triangoli è correlata alla forma dei triangoli (Fig. 14).

Nel soffitto della Sala Magna le decorazioni pittoriche non sono meno importanti delle strutture lignee. La fase di mappatura del modello tridimensionale, finalizzata alla produzione di un modello fotorealistico, è stata quindi realizzata con particolare attenzione con l'impiego del software *3D Studio Max*. Il procedimento, consistente nell'assegnare all'immagine raster coordinate u, v, w associate alle coordinate x, y, z delle facce del modello, non ha posto particolari problemi per le superfici pressochè piane delle travi, dove occorreva soltanto una correzione relativa alla dimensione e alla posizione relativa (Fig. 15). Assai più complessa è risultata invece la



15

mappatura delle false mensole, per le quali è stato necessario procedere per successivi tentativi; in questo caso la qualità della mappatura è strettamente collegata alla sensibilità e all'abilità dell'operatore (Figg. 16a, b, c).

Il modello così ottenuto consente l'osservazione delle decorazioni pittoriche nel loro contesto spaziale; riunisce in sé ciò che in letteratura è stato sempre trattato in modo distinto, cioè decorazioni pittoriche, descritte con le immagini, ed elementi strutturali, descritti con il modello grafico o fisico.

Al termine del processo di mappatura il modello è stato convertito nel formato VRML (*Virtual Reality Modelling Language*). La trasformazione del modello in questo formato consente l'osservazione e l'esplorazione anche ad utenti privi di specifici software di visualizzazione che non hanno familiarità con l'ambiente CAD (Fig. 17). L'accesso al modello VRML può anche avvenire attraverso Internet, permettendo la visita alla Sala Magna anche ad utenti e studiosi di paesi lontani.



16

I files nel formato VRML possono essere elaborati con modalità differenti e ad essi possono essere associati ulteriori modelli tridimensionali o files multimediali (immagini digitali, pagine html, musica, video, testi) ai quali si può accedere durante la navigazione del modello per una fruizione più efficace del sito culturale⁶; in questo modo il modello diventa come l'*homepage* tridimensionale di un ipertesto. L'utente può navigare ed esplorare il modello, ingrandendolo o rimpicciolendolo; se viene selezionata un'area sensibile appare una scritta che informa della disponibilità di un collegamento ipertestuale. Il modello diventa così una "struttura aperta" la cui estensione è limitata soltanto dall'immaginazione e dalle esigenze del progettista. In un futuro prossimo non è difficile immaginare un database digitale associato ad un modello tridimensionale, aperto anche ai contributi di esperti provenienti da vari paesi.

⁶ Un'applicazione di questo tipo di fruizione innovativa, realizzata in collaborazione con il Dipartimento di Ingegneria Informatica, è illustrata nel contributo "Passeggiando per il soffitto di una dotta guida virtuale" (Gentile A., Santangelo A.), contenuto in questo stesso volume.



17