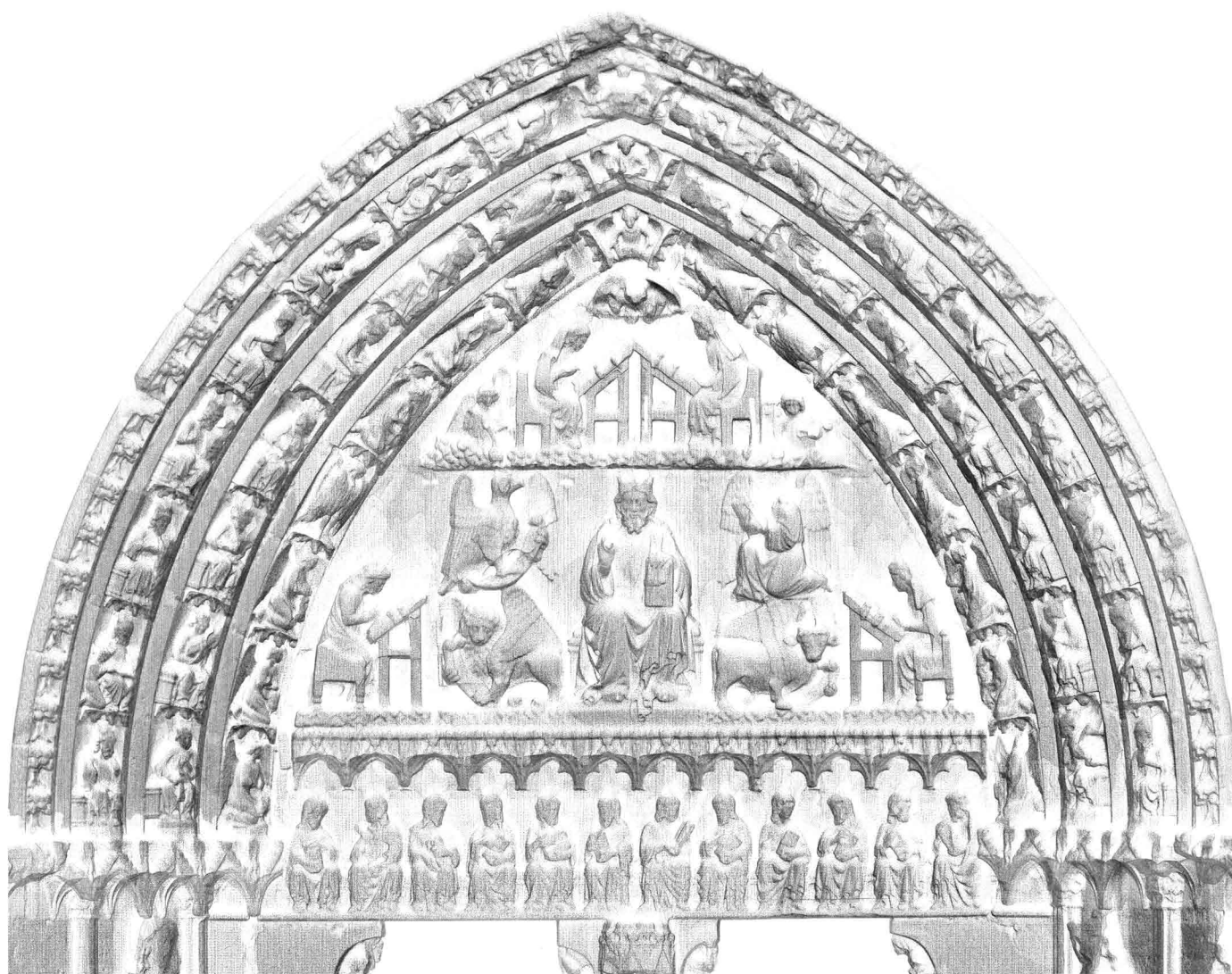


STEFANO BERTOCCHI

GIOVANNI MINUTOLI

SUSANA MORA

GIOVANNI PANCANI



COMPLESSI RELIGIOSI E SISTEMI DIFENSIVI SUL CAMMINO DI SANTIAGO DE COMPOSTELA:
RILIEVI E ANALISI PER LA VALORIZZAZIONE E IL RESTAURO DELLA CATTEDRALE DI

SANTA MARIA LA REAL A SASAMÓN

Comitato Scientifico

Stefano Bertocci Università di Firenze
Susana Mora Alonso-Muñoyerro Escuela Tecnica Superior de
Aerquitectura de Madrid
Saverio Mecca Università di Firenze
Paola Puma Università di Firenze
Andrea Ricci Università di Firenze
Giovanni Minutoli Università di Firenze
Giovanni Pancani Università di Firenze
Andrea Arrighetti Università di Siena
Mario Pagni Già Soprintendenza Archeologica della Toscana

Editing

Matteo Bigongiari, Pierpaolo Lagani

Graphic design project

Matteo Bigongiari, Pierpaolo Lagani

COMPLESSI RELIGIOSI E SISTEMI DIFENSIVI SUL CAMMINO DI SANTIAGO DE COMPOSTELA:
RILIEVI E ANALISI PER LA VALORIZZAZIONE E IL RESTAURO DELLA CATTEDRALE DI
SANTA MARIA LA REAL A SASAMÓN

STEFANO BERTOCCHI

GIOVANNI MINUTOLI

SUSANA MORA

GIOVANNI PANCANI



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
FIRENZE
DIDA
DIPARTIMENTO DI
ARCHITETTURA



*Copyright © Dipartimento di Architettura dell'Università degli Studi di
Firenze 2015*

*Stampato
in Firenze presso il Centro Stampa
del Consiglio Regionale della Toscana
nel mese di aprile 2015*

ISBN 9788896080184

*Fotocopie per uso personale del lettore possono essere effettuate
nei limiti del 15% di ciascun volume/fascicolo di periodico dietro il
pagamento alla SIAE del compenso previsto dall'art. 68, comma 4,
della Legge 22 aprile 1941 n. 633 ovvero dall'accordo stipulato tra
SIAE, AIE, SNS, e CNA, ConfArtigianato, CSA, CLAAI, ConfCommercio,
ConfEsercenti il 18 dicembre 2000.
Le riproduzioni per uso differente da quello personale sopracitato
potranno avvenire solo a seguito di specifica autorizzazione rilasciata
dagli aventi diritto/dall'editore.*

INDICE

<i>Prefazione</i>	7
Paolo Bambagioni	
<i>Presentazione</i>	9
Saverio Mecca	
<i>La iglesia de Sasamón</i>	11
Francisco Gil Hellín	
<i>Il cammino di Santiago de Compostela</i>	13
Mario Scalici	
<i>La toma de datos geométricos como herramienta necesaria en el diagnóstico previo a la intervención en el patrimonio arquitectónico</i>	15
Juan Monjo Carrió	
<i>Sasamón y su iglesia</i>	17
D. Agustín Heras Alarcia	

LA FABBRICA DI SANTA MARIA LA REAL SUL CAMMINO DI SANTIAGO

<i>Chiese e cattedrali sul Cammino di Santiago de Compostela</i>	23
Stefano Bertocci	
<i>Sasamón</i>	39
Susana Mora Alonso-Muñoyerro	
<i>Contributo alla lettura e interpretazione dei simboli della chiesa cattedrale di Santa Maria la Real - Sasamón</i>	55
Mario Pagni	

RILIEVO, LETTURE TEMATICHE, PROGETTO

<i>Il rilievo laser scanner della cattedrale di Sasamón</i>	61
Giovanni Pancani	
<i>Modellazione tridimensionale da nuvola di punti per la conservazione del patrimonio architettonico</i>	77
Matteo Bigongiari	
<i>Modellazione e fruizione multimediale</i>	81
Graziella del Duca	
<i>Analisi e valutazioni dello stato di conservazione della chiesa di Santa Maria la Real a Sasamón</i>	89
Giovanni Minutoli	
<i>Stratigrafia e storia costruttiva della cattedrale di Santa María la Real de Sasamón</i>	107
Andrea Arrighetti	
<i>Conservazione e progetto</i>	123
Andrea Ricci	
<i>Los valores invisibles en Santa María la Real de Sasamón</i>	127
Marcos Hernanz Casas, Elena Zapatero Rodríguez, Pablo Fernández Cueto, Sara Peñalver Martín, Adela Rueda Márquez de la Plata, Pablo Cruz Franco	
<i>De cómo la lluvia cae sobre el tejado</i>	135
Pablo Fernández Cueto	
<i>Il sistema di immagine, comunicazione e marketing del nuovo Museo della Cattedrale di Sasamón</i>	137
Paola Puma	

PORTFOLIO

Modellazione tridimensionale da nuvola di punti per la conservazione del patrimonio architettonico

Matteo Bigongiari

Dipartimento di Architettura, Università degli Studi di Firenze

Negli ultimi anni con l'avanzamento delle tecnologie la modellazione 3d ha ricevuto sempre più importanza non solo in generale nell'ambito architettonico (basti pensare alle rappresentazioni virtuali o render, e agli strumenti BIM), ma anche nelle operazioni di rilievo. Gli oggetti tridimensionali sono diventati di comune utilizzo a tal punto da poter dire che vengono utilizzati in maniera erranea: ottenere un modello 3D è piuttosto semplice, come lo è realizzare una vista di un edificio di nuova costruzione; molto più complesso è ottenere un risultato vicino alla realtà o al progetto rischiando invece di essere costretti al falso dalla complessità dei software. Gli stessi argomenti possono essere avvalorati anche nel campo del rilievo architettonico: a partire dalla tecnologia dei laser scanner 3D si può affermare come sia elementare ottenere nuvole di punti molto dettagliate, basta azionare lo strumento con parametri di definizione alti e questo fa il lavoro. In questo modo però lo strumento crea un dato superfluo, ridondante e file eccessivamente pesanti, quindi lenti da navigare anche con ottimi computer; inoltre per poter garantire la precisione metrica del rilievo è necessario seguire processi di registrazione tra le varie scansioni complessi: proprio per questi motivi è necessaria la presenza di figure specializzate nel settore; per portare un altro esempio molto attuale, si può parlare della fotomodellazione, ovvero la realizzazione di modelli tridimensionali di oggetti tramite software di calcolo che creano nuvole di punti e modelli a partire da fotografie scattate con una macchina reflex; anche in questo caso il software compie il lavoro in automatico rimontando le fotografie, ma senza conoscere a fondo il funzionamento di una fotocamera reflex e del software, i risultati ottenuti saranno oggetti di forte impatto visivo ma dimensionalmente e metricamente lontani dal vero. Possiamo paragonare questi risultati a bei disegni, certo non oggetti sulla base

dei quali impostare calcoli per un progetto di restauro. A cosa serve integrare il rilievo ottenuto dalle nuvole di punti con la modellazione tridimensionale? Un modello tridimensionale può essere utilizzato in generale o per finalità divulgative del patrimonio architettonico oppure per impostare un corretto progetto di restauro; a seconda della funzione e del dettaglio che il modello deve garantire saranno utilizzati strumenti di acquisizioni differenti. Per finalità divulgative sono molto efficaci i modelli texturizzati ottenuti tramite fotomodellazione, mentre per il restauro lo strumento da utilizzare deve essere scelto in base al grado di dettaglio da ottenere: ogni tipo di scanner ha una diversa precisione metrica, ad esempio per edifici architettonici ci si può servire di un laser scanner 3D a testa rotante, mentre per particolari di sculture o modanature è preferibile l'impiego di strumenti laser triangolatori con precisione al decimo di millimetro. Un rilievo fatto con scanner laser ben eseguito, ovvero con margini di errore metrico nel rimontaggio delle nuvole accettabile per la scala di restituzione grafica dell'oggetto in analisi, consente di avere la base per ottenere quegli elaborati grafici tecnici, quindi sezioni e prospetti a fil di ferro, che servono a descrivere *in toto* l'edificio. Nel caso specifico della cattedrale di Sasamón questi elaborati sono finalizzati ad andare a formare la base su cui comporre le tavole di analisi materica, dei fotopiani, dei degradi superficiali e dei dissesti strutturali così da individuare le porzioni critiche e danneggiate dove è necessario intervenire per riportare il complesso ecclesiastico prima di tutto in stato di sicurezza, successivamente di buona conservazione. Integrare queste informazioni con modelli tridimensionali fornisce più qualità alla nostra analisi oltre che all'impatto che queste possono avere sulle persone, specialmente dei non tecnici. Prima di tutto è necessario chiarire che il modello ottenuto da nuvola

In questa pagina:
vista della porta d'ingresso alla navata della cattedrale

di punti ha i suoi limiti nell'utilizzazione, questo perché è costituito da un file molto pesante (per rendersi conto il file che contiene la registrazione completa del modello della cattedrale supera i 140 Gb), costituito solo da punti, quindi un modello trasparente di difficile intuizione e riconoscibilità per le persone non abituate ad utilizzarlo. Inoltre a causa della pesantezza del file non è pensabile di poter navigare virtualmente in maniera agile al suo interno.

Il modello tridimensionale ottenuto invece dalla creazione di *mesh* sulla base della nuvola di punti è invece un file vettoriale molto più leggero e di immediata comprensione avendo la possibilità di vedere i triangoli creati tra i punti (le *mesh* appunto) come superfici opache.

Per avere una documentazione dettagliata del patrimonio artistico presente all'interno del complesso religioso diventa quindi utile averne i modelli, ad esempio per un gruppo di restauratori chiamati a ripristinare una porzione degradata a seguito di un danno di un oggetto o

edificio: in questo caso il modello diventa la documentazione del precedente stato di conservazione del bene da cui si ottengono le informazioni necessarie per compiere l'intervento di restauro. La navigazione tattile può anche divenire concreta grazie alle moderne tecniche di stampa tridimensionale che permettono di riprodurre anche a scala reale il modello, che in questo modo andrebbe a sostituire la funzione che una volta era svolta dai calchi.

La documentazione del patrimonio artistico ne favorisce inoltre la diffusione al pubblico, si può ipotizzare che Santa Maria La Real divenga un monumento visitabile virtualmente disponendo un *tablet* o uno schermo *touch-screen* in modo da permettere ai visitatori di fare un tour virtuale dell'edificio. La modellazione può in questo caso essere fatta a diverse scale: una più generale che rappresenti il complesso nella sua interezza, realizzato anche a scala di dettaglio inferiore, con la possibilità di andare a zoomare alcune porzioni, ad esempio le opere d'arte, costituite da un secondo modello più dettagliato.



*In questa pagina:
snapshot della nuvola di punti della cattedrale: porta
d'ingresso alla navata*

L'ipotesi di un tour virtuale che permetta ai visitatori di trovarsi all'interno del complesso sistema di coperture che sovrasta l'edificio, al momento non abbastanza sicuro da accedervi, consentirebbe di comprendere a fondo il monumento, la sua storia e l'interruzione della sua importanza all'interno della regione.

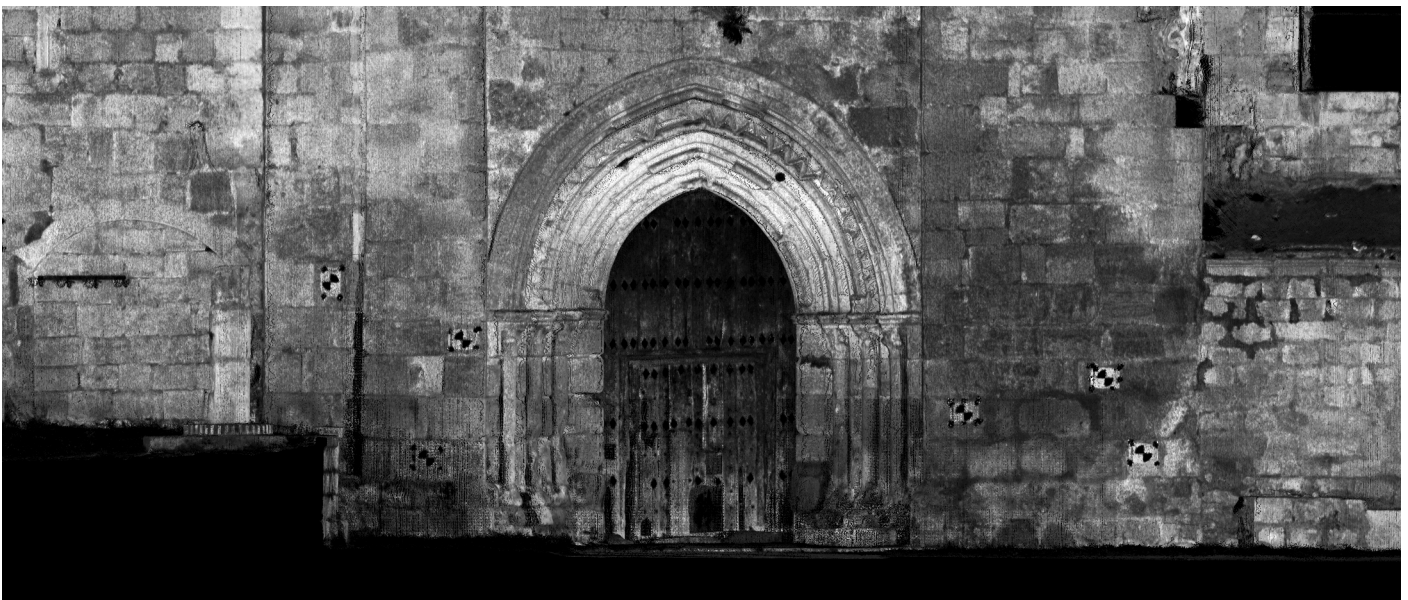
Creare un modello 3D a partire da una nuvola di punti

Per ottenere un buon risultato nella modellazione della cattedrale di Sasamón è stato necessario prestare molta attenzione durante il processo di acquisizione dei dati e di rimontaggio delle scansioni della nuvola dei punti. La creazione del modello si basa infatti su un semplice principio: il laser, nella fase di acquisizione dei dati, misura i punti di un oggetto andando a creare virtualmente una griglia di punti regolare che può essere più o meno fitta a seconda delle impostazioni date alle singole scansioni. Il software che ne crea un modello va a collegare ogni punto della griglia con i due punti a lui più vicini nello spazio,

formando una superficie, chiamata *mesh*, composta da molti triangoli tutti collegati tra loro. Oggigiorno la tecnologia laser permette agli strumenti di rilevare milioni di punti in pochi secondi, portando questa griglia ad essere così fitta da non presentare visivamente dei vuoti.

È giusto osservare come inoltre lo strumento utilizzato, un interferometro, crei durante le scansioni del "rumore digitale"; il software che va a meshare l'oggetto, non essendo in grado di discrezionalizzare, almeno in un primo momento, i punti buoni o meno, va a compiere una semplice operazione matematica collegando i punti. Può essere quindi molto utile ai fini del calcolo della *mesh* ripulire le nuvole laddove sia presente una zona molto rumorosa; questo passaggio risulta più agile da compiere dal software di gestione delle nuvole piuttosto che dal software di modellazione, dove la navigazione è più scomoda.

Oltre ad avere un rilievo pulito è necessario chiaramente che le superfici delle varie scansioni risultino quanto più



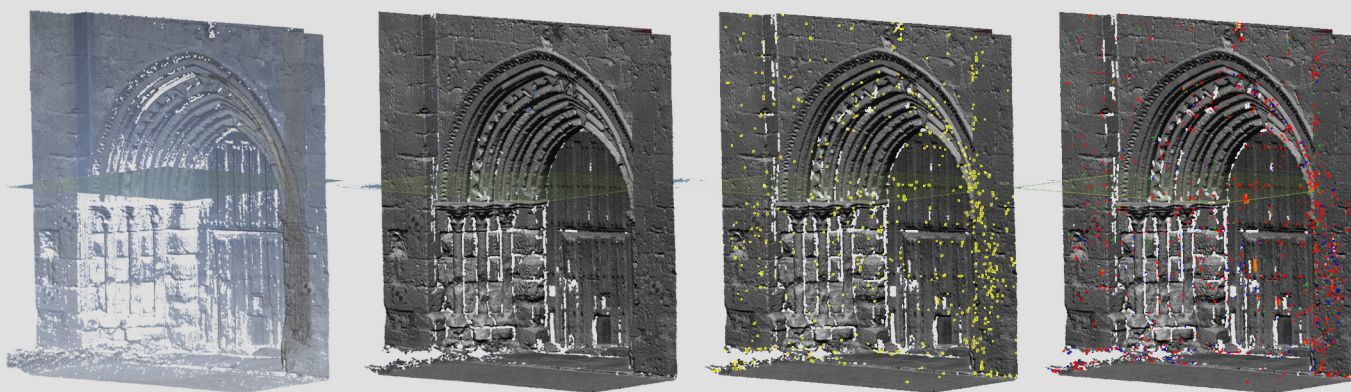
complanari tra loro; un attento controllo eseguito sulle sezioni della nuvola andrà ad evitare nella fase di modellazione che ci siano profili di punti distanti tra loro, che il software andrà a colmare creando una mesh a zig-zag, dando ad esempio ad una superficie in pietra liscia, levigata un effetto di abrasione che in realtà non è presente. Più complesso sarà invece evitare la presenza di coni d'ombra nella nuvola, che porteranno a buchi nella mesh; questi andranno successivamente colmati in modo da avere una superficie continua; è molto difficile evitare questo problema del tutto, specialmente quando come in questo caso l'edificio è molto alto e le sporgenze delle modanature vanno a nascondere la parete dietro di esse, oppure nel caso dei castelli di travi molto intricati della copertura. L'obiettivo principale della missione di rilievo compiuta era di ottenere una nuvola di punti dettagliata in modo da poter creare tutti gli elaborati necessari per redigere un progetto di restauro, nel caso si volesse una modellazione particolarmente dettagliata di elementi del genere, l'eccessivo numero di scansioni utili a descriverlo completamente andrebbe contro l'obiettivo primario di avere un rilievo il più possibile leggero da navigare; in questi casi è possibile integrare le mancanze di dato con una nuvola di punti ottenuta tramite la fotomodellazione, oppure più rapidamente andare ad completare il modello con le superfici mancanti manualmente tramite software di modellazione.

Casi studio

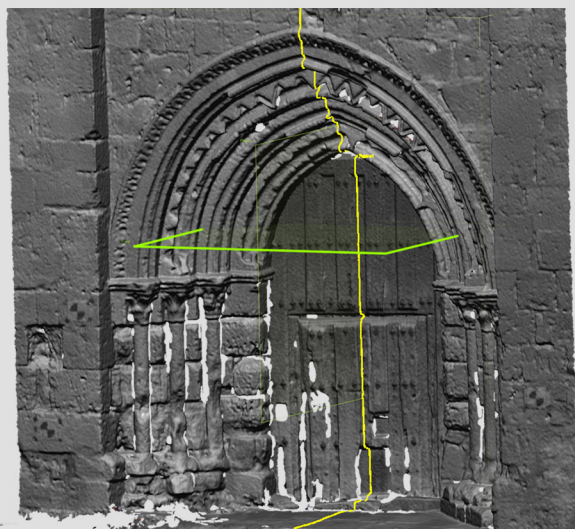
Il procedimento utilizzato per la modellazione degli oggetti che potete vedere nelle immagini, prevede l'utilizzo del software RapidformXOR. Questo programma riesce a leggere quasi tutti i formati di file che contengono punti, quindi direttamente da Leica Cylone andremo ad esportare i punti di cui vogliamo ottenere una mesh. A questo

punto possiamo importare il file su RapidformXOR e con alcuni comandi *wizard* otterremo il modello desiderato. Nel caso della cattedrale di Sasamon, grazie alla completezza del rilievo laser, ci troveremo sempre ad avere oggetti descritti da più di una stazione laser già registrate, quindi rototraslate in modo da far sovrapporre i punti omologhi; nel caso invece in cui le scansioni non fossero ancora registrate il comando *wizard* permette non solo di creare la mesh, ma anche di dare un primo allineamento alle scansioni, e un successivo allineamento più accurato; inoltre è possibile scegliere quanto vogliamo che la mesh combaci strettamente con i punti oppure che ottenga una forma più morbida, possiamo togliere punti in eccesso e non farli meshare.

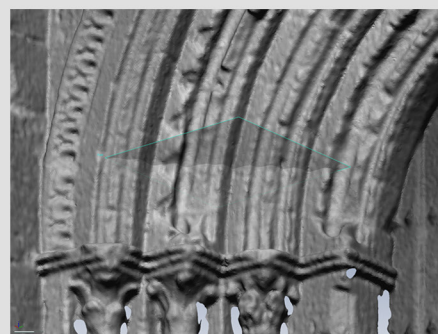
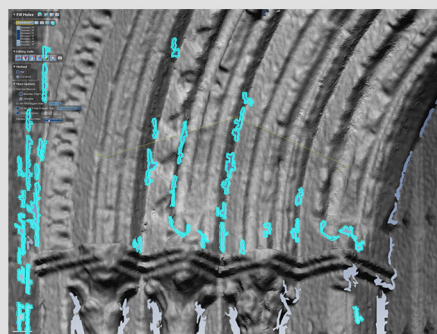
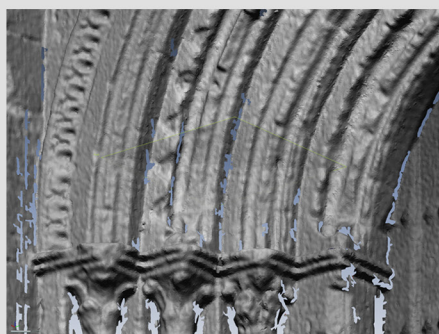
Una volta ottenuta la mesh comunque ci accorgeremo andando ad analizzare la superficie che questa non è perfetta e chiusa: gli errori più frequenti che possiamo trovare sono gruppi di superfici isolate dovute al rumore virtuale, superfici che si sovrappongono ad altre, triangoli con 2 o 3 lati non tangenti ad altri triangoli, normali delle superfici invertite. Il programma ci permette di impostare come correggere queste imperfezioni nella mesh in modo da avvicinarci sempre di più ad una superficie unica e chiusa. Curare queste imperfezioni è importante sia per avere un elaborato virtuale sia nel caso una stampa 3d di qualità. Una volta ottimizzata la superficie del modello si andranno a chiudere gli eventuali buchi nella mesh; se questi sono di dimensioni minime possiamo farli colmare automaticamente dal software, se invece sono di dimensione maggiore li lasceremo invariati per non andare a interpretare erroneamente l'oggetto reale. Si può utilizzare infine il programma per andare a sezionare il modello e ottenere delle rappresentazioni bidimensionali che possono facilitare la comprensione degli elementi architettonici.



I primi processi di modellazione: dall'importazione della nuvola di punti, alla creazione della mesh, all'individuazione e risoluzione delle principali imperfezioni del modello



Dal modello alla rappresentazione bidimensionale: grazie all'utilizzo di piani di sezione è possibile tagliare il modello e ricavarne le linee di sezione in modo da ottenere disegni in scala



Integrazione dei dati mancanti: come si vede nella prima immagine la mesh presenta molte mancanze, quelle di dimensioni ridotte possono essere automaticamente colmate dal software, come vediamo nella seconda immagine, le altre grandi al punto da non permettere una corretta interpretazione dell'architettura vengono lasciate; l'ultima immagine mostra il processo di *global remeshing* del modello, ovvero la semplificazione della maglia triangolare in modo da eliminare scabrosità non dovute alle superfici reali