

**Alessandro Merlo**

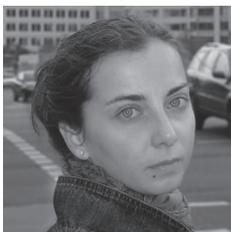
Ricercatore nel S.S.D. Icar-17 e docente di Rilievo dell'Architettura. Conduce attività di ricerca a livello internazionale, rivolta in particolare alla città, che indaga tramite gli strumenti e le modalità proprie delle discipline del disegno e del rilievo. Direttore del corso di perfezionamento in "Documentazione e gestione degli insediamenti storici minori"

**Filippo Fantini**

Laureato in architettura al Politecnico di Milano, Dottore di ricerca Icar-17. Attivo da anni nell'ambito della formazione e della ricerca nell'ambito della computer grafica e del rilievo mediante l'utilizzo delle nuove tecnologie, da settembre 2013 è ricercatore presso il Dipartimento di Architettura dell'Università di Bologna.

**Andrea Aliperta**

Laureato in architettura presso l'università degli studi di Firenze è cultore della materia del corso di Rilievo dell'Architettura e del modulo Rilievo digitale e modellazione 3D dell'ambiente urbano. La sua ricerca riguarda la rappresentazione digitale dell'architettura e le tecniche di ottimizzazione dei modelli tridimensionali finalizzate alla divulgazione.

**Gaia Lavoratti**

Dottore di Ricerca in Rilievo e Rappresentazione dell'Architettura e dell'Ambiente è docente a contratto presso la Facoltà di Architettura di Ferrara (dal 2012) e cultore della materia di Disegno dell'Architettura (dal 2006) e Rilievo dell'Architettura e dell'Ambiente (dal 2009) presso il Dipartimento di Architettura di Firenze.

**José Leonel López Hernández**

Laureato in architettura presso la Universidad de San Carlos de Guatemala dove si occupa di conservazione e gestione del patrimonio culturale del centroamerica. Dal 2012 è docente del corso di Diseño Arquitectónico II. La sua ricerca riguarda l'ambito del reverse modeling applicato al rilevamento di siti di interesse archeologico.

Texturing e ottimizzazione dei modelli digitali *reality based*: la chiesa della Compañía de Jesús

Texturing and optimization of *reality based* digital models: the church of Compañía de Jesús

Nell'ambito delle ricerche scientifiche sui beni culturali le tecniche di modellazione 3D applicate ai dati provenienti da campagne di rilevamento *scanner laser* stanno assumendo sempre più importanza. Tuttavia l'esigenza di una soddisfacente verosimiglianza del modello rispetto all'oggetto si scontra con la necessità di preservare l'originaria accuratezza della misurazione del primo nei confronti del secondo. Nello studio della facciata della chiesa della Compañía de Jesús si è cercato di far fronte a tale dicotomia sfruttando le potenzialità del *reverse modelling* e del *texturing*; quest'ultimo di grande rilievo data la funzione che rivestono le immagini fotografiche nella descrizione accurata delle qualità materiche e cromatiche dei manufatti, così come nel processo stesso di realizzazione del modello 3D mediante strumenti di mappatura UV, che rappresentano un comparto molto evoluto dei programmi di *computer graphic*.

The 3D modeling techniques applied on laser scanner data are becoming increasingly relevant in the cultural heritage dissemination field. However the need for a satisfactory similarity between model and real object collides with the need to preserve the original accuracy of the measurement of the former than the latter. The analysis of the Compañía de Jesús facade has tried to cope this duality using the power of reverse modeling and texturing, the latter is really important due to the function of the photographic images into accurate description of materials and colours, as well as in the creation of 3D models using UV mapping tools, which are a very advanced field of the computer graphic software.

parole chiave: *Texturing, modelli image based, Compañía de Jesús*

keywords: *Texturing, image based models, Compañía de Jesús*

1. INTRODUZIONE

Nel giugno del 2012 un gruppo di ricercatori dell'Università degli Studi di Firenze (DiDA: Dipartimento di Architettura) e dell'Universidad de San Carlos de Guatemala (CIFA: Centro de Investigaciones de la Facultad de Arquitectura) ha elaborato un progetto pilota relativo a cinque chiese (Catedral de San José, Iglesia de la Compañía de Jesús, Iglesia de San Agustín, Iglesia de Santa Clara e Iglesia de las Capuchinas) appartenenti ad altrettanti complessi religiosi che caratterizzano il tessuto urbano dell'antica capitale del Guatemala. Il fine dello studio è quello di documentare lo stato conservativo dei beni, desumendone nel contempo gli archetipi e formulando delle ipotesi sull'aspetto originario dei manufatti, mutilati dagli eventi sismici accorsi negli ultimi cinque secoli. A Santiago de Guatemala, infatti, ripetuti e violenti terremoti hanno pesantemente danneggiato la maggior parte di tali edifici, molti dei quali conservano unicamente i fronti della chiesa. I prospetti principali, sottoposti a consistenti interventi di consolidamento e spesso pesantemente rimaneggiati, restano comunque l'ultima traccia non soltanto della capillare attività degli ordini religiosi, ma soprattutto di un periodo artistico, fatto di contaminazione ed integrazione tra i modelli europei e le tradizioni locali, che ha fortemente caratterizzato l'architettura coloniale dell'America centro-meridionale.

L'insieme dei dati desunti durante la campagna di rilievo digitale ha permesso di realizzare dei modelli 3D ottimizzati impiegabili con varie finalità, compresa quella legata alla divulgazione degli studi effettuati sui manufatti. La peculiarità della facciata della chiesa della Compañía de Jesús (Fig. 1), il primo fronte preso in esame, ha imposto al gruppo di ricerca di definire una rigorosa pipeline in base alla quale non solo generare il modello 3D, ma anche *texturizzare* correttamente lo stesso utilizzando un *set* di immagini realizzate a posteriori rispetto alla campagna di rilevamento. A queste immagini è stata affidata la descrizione dell'apparato decorativo della chiesa, che mostra un singolare connubio tra pittura murale e impianto scultoreo.



1. La facciata della chiesa della Compañía de Jesús dopo i recenti interventi di consolidamento.

2. Schema rappresentativo dello stato dell'arte sui modelli 3D. L'elevata fedeltà del modello al dato metrico sacrifica l'aspetto percettivo di tali elaborati, così come l'esigenza di disporre di modelli per applicazioni *real-time* sacrifica in egual misura la corrispondenza metrica al reale rilevato (schema elaborato dal prof. Giorgio Verdiani).

MIGLIOR CONDIZIONE DI CORRISPONDENZA
TRA IL MODELLO GEOMETRICO E LA SUA
RAPPRESENTAZIONE



MIGLIOR CONDIZIONE DI CORRISPONDENZA
TRA IL REALE PERCEPITO E LA SUA
RAPPRESENTAZIONE

LA NUVOLA DI PUNTI
COSÌ COME RACCOLTA

MODELLO DI SUPERFICI
NON RIFINITO

MODELLO PER
SUPERFICI SEMPLIFICATE

MODELLO INTERPRETATO
A PARTIRE DA ELEMENTI 2D

MODELLI SEMPLIFICATI CON
L'APPLICAZIONE DI TEXTURE

MODELLI SEMPLIFICATI
PER ANIMAZIONI

MODELLI PER MULTIMEDIA
IN TEMPO REALE

2. I TERMINI DEL PROBLEMA: FORMA E APPARENZA

Le molte esperienze di ricerca condotte negli ultimi anni sull'impiego delle nuove tecnologie nell'ambito della documentazione e valorizzazione dei Beni Culturali hanno consentito di chiarire alcuni aspetti circa l'utilizzo dei modelli digitali 3D in architettura ed archeologia, sia dal punto di vista tecnico (tempi necessari alla loro realizzazione, specificità degli applicativi utilizzati, etc.), sia da quello scientifico (apporto che sono in grado di dare alla ricerca e benefici che ne può trarre la comunità).

Uno degli aspetti critici emersi da tali esperienze, più volte messo in luce da altri autori, è l'antitesi tra l'acquisizione accurata della forma degli oggetti (siano essi manufatti di piccole dimensioni, così come interi complessi archeologici) e la restituzione fotorealistica degli stessi. In un model-

lo 3D l'aderenza al dato metrico e la fedeltà alla realtà percepita (ottenuta mediante l'impiego di immagini che descrivono il rapporto mutevole che le superfici di un manufatto hanno con l'ambiente circostante ed in particolare con le fonti di illuminazione) costituiscono le due facce contrapposte di una stessa medaglia, legate tra loro da una relazione di proporzionalità inversa (Fig. 2). I processi di acquisizione digitale con sensori attivi (es. *laser scanner*) e passivi (es. applicativi *Structure From Motion*) permettono infatti di realizzare dei modelli poligonali 3D estremamente precisi, ma molto pesanti in termini di *byte*, che per poter essere gestiti su comuni *laptop* – senza quindi dover ricorrere a costose *workstation* – devono essere ottimizzati attraverso dei procedimenti ancora non codificati e non sempre condivisi. E' inoltre innegabile che anche nel settore della valorizzazione dei Beni Culturali vi sia la tenden-

za ad avvalersi di *smartphone* e *tablet*, dispositivi che, per quanto prestanti, sono ben lungi dal garantire l'utilizzo di modelli 3D ad alta densità (*high-poly*) che al tempo stesso siano fotorealistici. Partendo da queste premesse il gruppo di ricerca ha aperto un filone di indagine con il fine di risolvere tale dicotomia; ciò che ne è scaturito è un'articolata *pipeline* nella quale, grazie all'impiego di strumenti e tecniche di modellazione e visualizzazione provenienti da ambiti diversi (rilevamento digitale, *image processing* e applicazioni videoludiche), si è tentato di sopperire alle deficienze che attualmente caratterizzano i programmi presenti sul mercato, in genere rivolti alla rappresentazione del progetto, piuttosto che alla restituzione dell'esistente, contraddistinto, nel caso dell' *old heritage*, da fenomeni di degrado, da irregolarità e di lacune prodotte dall'azione del tempo e dell'uomo.

In questo flusso di lavoro, che parte dai dati forniti dalle campagne di rilievo topografico e *laser scanner* per arrivare all'impiego di *texture* di normali o di scostamento [1], quale ruolo riveste la fotografia? È possibile affermare con certezza che, nonostante permangano problemi di difficile risoluzione (*fitting* geometrico immagine-modello, correzione radiometrica delle immagini, etc.) [2], la fotografia digitale continua ad essere un efficace strumento per mappare modelli 3D di tipo *mesh*. Non si pensi erroneamente che l'avvento della nuova fotogrammetria, fornendo modelli *mesh* dotati di mappe ad alta definizione, in molti casi indistinguibili rispetto a quelli ottenuti mediante *scanner laser*, renda superflua la fase di *editing* e di postproduzione dei modelli stessi: per ottenere i dati necessari per l'orientamento e la scala vi è la necessità, ad esempio, di interfacciarsi con i rilievi topografici e/o *scanner laser*.

3. INTEGRAZIONE E LIMITAZIONE DEGLI APPLICATIVI PER LA MODELLAZIONE ED IL TEXTURING

Il flusso di lavoro qui proposto scaturisce da una serie di esperienze condotte dal gruppo di ricerca durante gli ultimi cinque anni nell'ambito del rilievo digitale.

Si tratta di un approccio integrato alla realizzazione e alla restituzione di modelli 3D mediante l'utilizzo di programmi afferenti a quattro distinti ambiti:

- *reverse modelling*;
- fotogrammetria;
- *entertainment*;
- *editing* professionale di immagini *bitmap*.

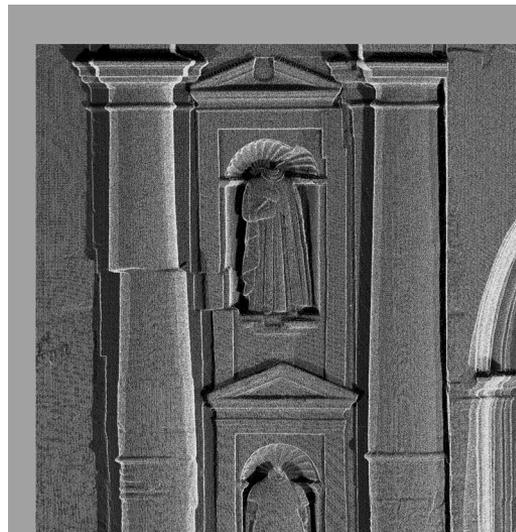
L'obiettivo è quello di assottigliare il divario che esiste fra accuratezza geometrica e descrizione

3. Fasi principali della modellazione integrata. L'elaborazione dei modelli segue una procedura che tocca diversi ambiti disciplinari.

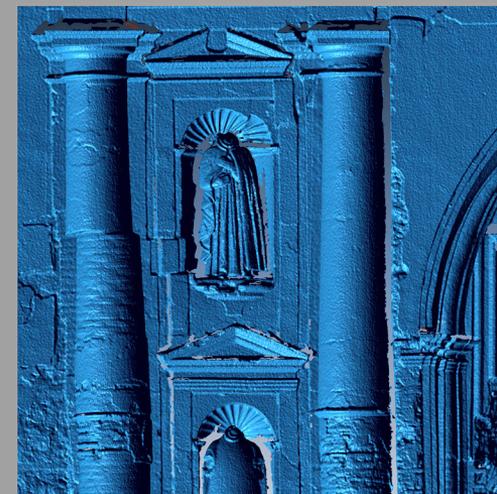
(a) Modello discontinuo a nube di punti messo a registro con Leica Cyclone.

(b) Modello *mesh* ad alto dettaglio (*high-poly*) ottenuto mediante procedure di *reverse modelling* con Inus Rapidform.

(c) Modello *low-poly* costruito con l'utilizzo di tecniche di *retopology* e *box modelling* sfruttando le potenzialità del software Luxology Modo, il quale mette a disposizione anche strumenti in grado di gestire la proiezione di *texture* del colore diffuso, che consentono di creare modelli ottimizzati (d).



a



b



c



d

fotorealistica del manufatto, anche in vista di una sua divulgazione tramite *web* (Fig. 3).

I modelli che ne scaturiscono sono pertanto metricamente affidabili (entro una soglia prestabilita e controllabile), facilmente trasferibili, visualizzabili in *device* portatili, oltre che in comuni applicazioni 3D, e presentano una mappatura accurata basata su fotografie scattate indipendentemente rispetto alla campagna di rilevamento *laser scanner*.

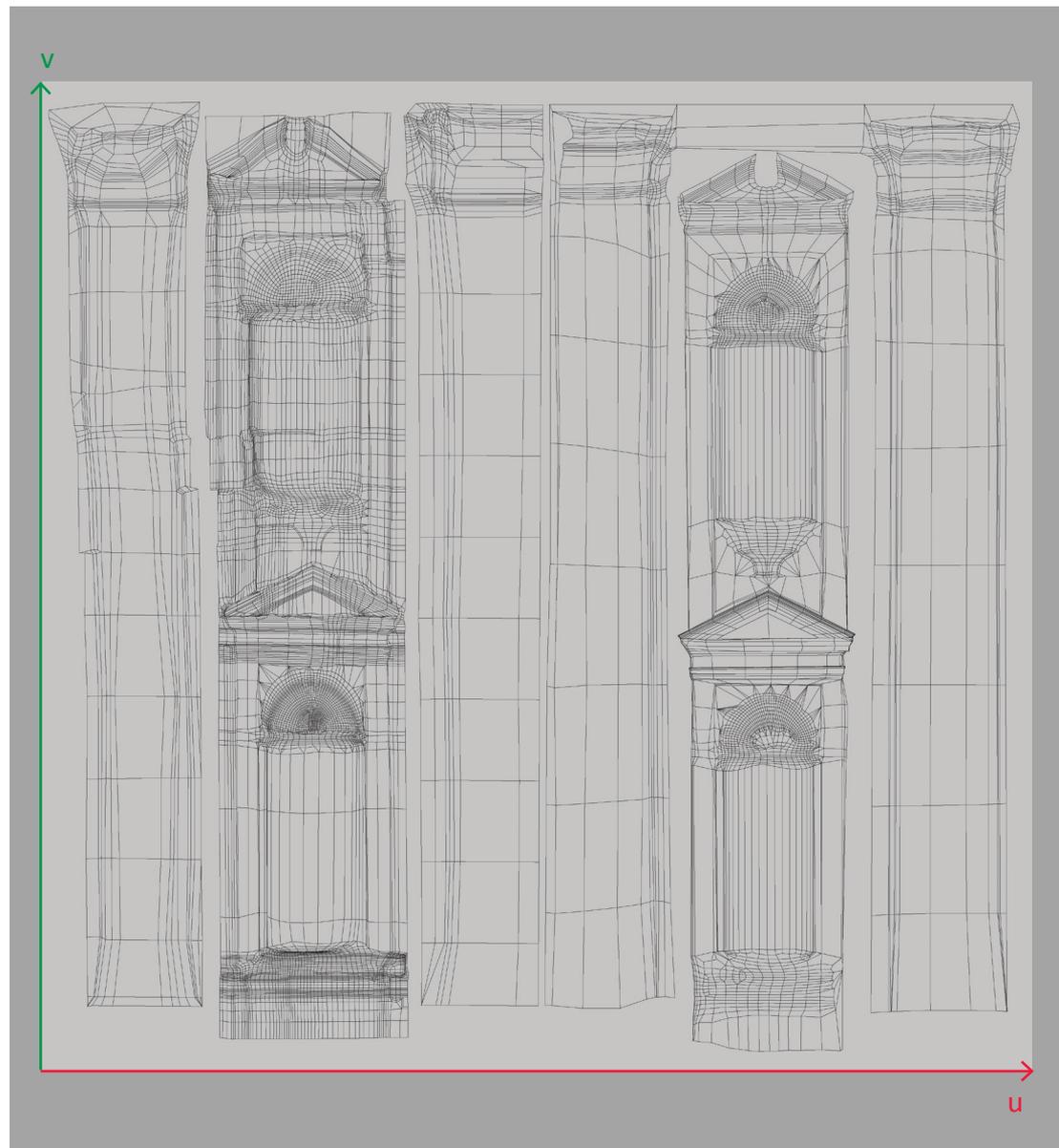
Un modello digitale 3D così concepito risulta inoltre polifunzionale (*multipurpose*), soddisfacendo tanto le necessità della conservazione, che quelle della valorizzazione e divulgazione del patrimonio mediante, ad esempio, la fruizione interattiva dello stesso in applicativi *real-time*.

Tali modelli presentano caratteristiche comuni a quelli ottenuti all'interno di programmi di modellazione geometrica per l'*entertainment* (basso numero di poligoni e dominante quadrangolare), ma allo stesso tempo sono in grado di rispondere in modo accurato all'esigenza principale di ciascun rilievo: aderire, entro un *range* prestabilito, alla forma originaria dell'oggetto, acquisita in questo caso con sensori attivi.

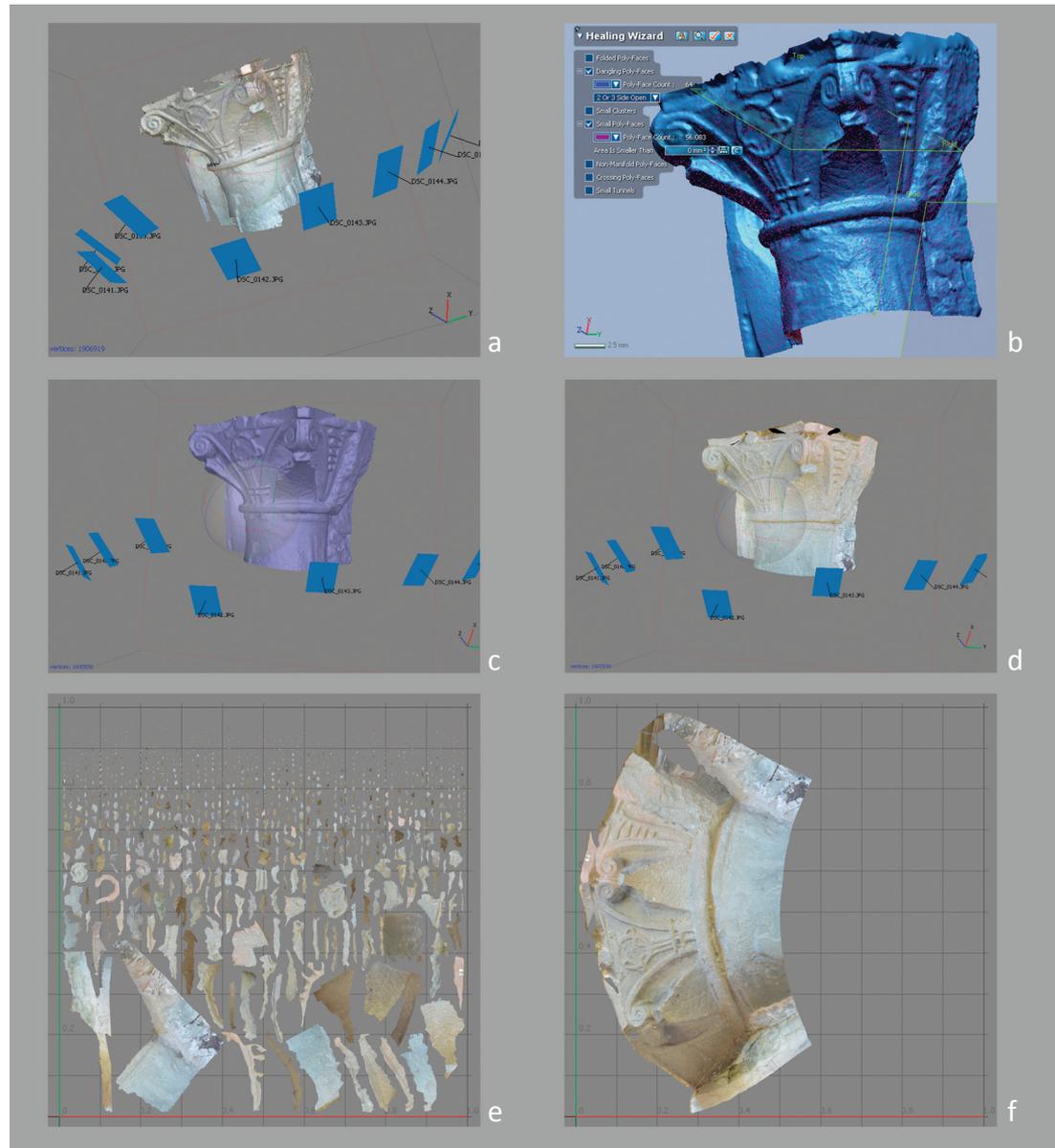
Modelli densi o nuvole di punti sono infatti da ritenersi inadeguati rispetto alle finalità che qui si perseguono per almeno due motivi:

- l'eccessiva quantità di poligoni genera rallentamenti nell'*editing* del modello e, a seconda del numero di facce triangolari, produce delle concrete limitazioni di importazione all'interno di determinati *software* finalizzati alla divulgazione;
- applicativi per la generazione di modelli da fruire in *real-time* non permettono di importare più di poche decine di migliaia di triangoli per ciascun oggetto e comunque la messa *on line* di una scena nella quale convivono più modelli di tale entità risulta incompatibile con le prestazioni degli odierni *hardware* ed in antitesi con gli strumenti interattivi che richiedono un basso numero di poligoni (*low-poly*).

4. Parametrizzazione UV di una porzione del modello. La costruzione da parte dell'operatore di una corrispondenza biunivoca tra la posizione dei punti del modello nello spazio 3D e 2D permette di sfruttare al meglio la risoluzione delle *bitmap* generate da processi di proiezione della *texture* del colore e di *baking*.



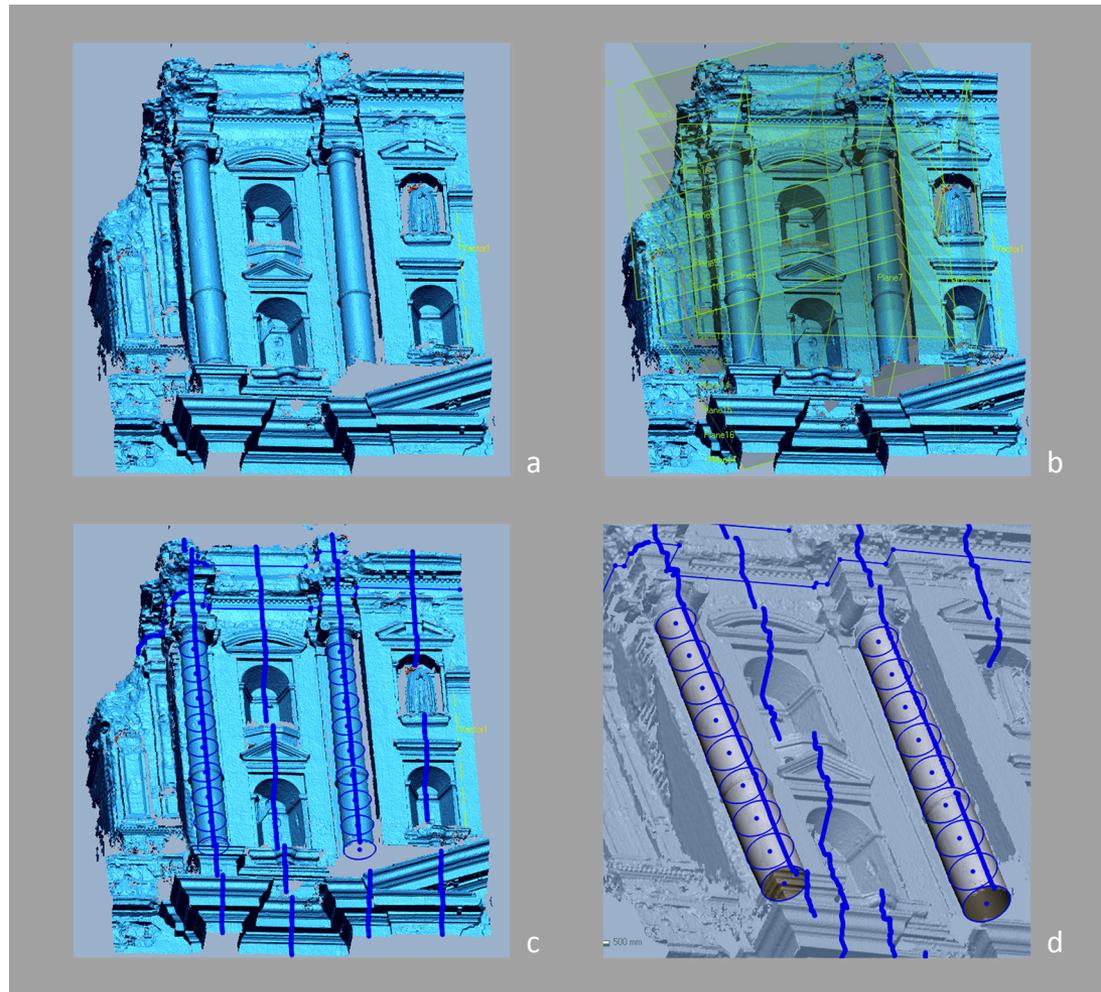
La tecnica della resezione (riconoscimento di punti omologhi tra fotogramma e prodotto della scansione, sia esso una nuvola di punti o un modello *high-poly* [3]) che, a sua volta, consente di integrare in un secondo momento, rispetto alla campagna di rilievo, le prese fotografiche, è uno dei punti di forza della metodologia qui descritta. Nella cornice generale di un progetto di cooperazione internazionale è infatti difficile conciliare il momento dell'acquisizione del dato con una campagna fotografica in condizioni di illuminazione adeguate. Si possono infatti generare ombre o zone sovraesposte che mal si conciliano con la generazione di una *texture* di buona qualità [4]. Per ciò che concerne il tema del *texturing* è inoltre importante sottolineare l'importanza di mappare i modelli mediante un adeguato sistema UV (Fig. 4). Da questo punto di vista i programmi di modellazione geometrica per l'*entertainment* non sono paragonabili a quelli di *reverse modelling* e di SFM, dato che questi ultimi creano mappature nel sistema di riferimento (u,v) in modo automatico senza rilevanti possibilità di intervento da parte dell'operatore. I programmi per l'*entertainment*, al contrario, presentano un cospicuo set di strumenti finalizzati al calcolo e all'applicazione delle *texture*. Dal 1999 ad oggi sono stati molti gli studiosi che hanno sviluppato le più inge-



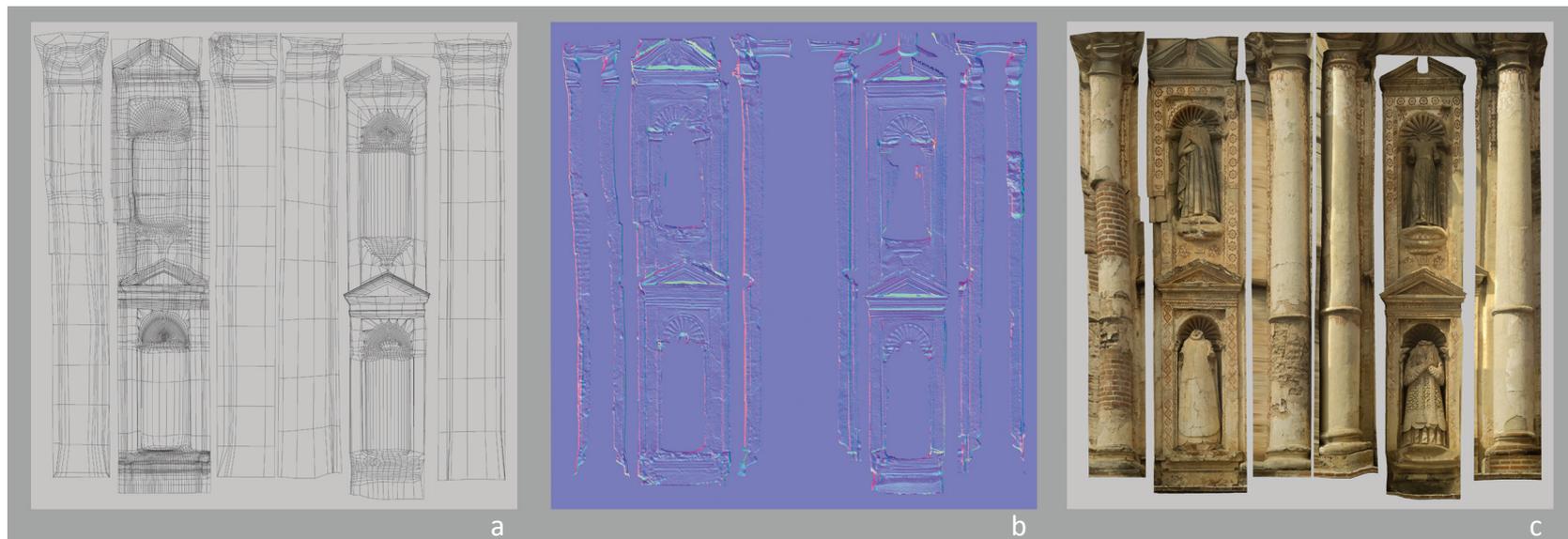
5. (a) Modello ottenuto mediante applicativo SFM disabilitando la chiusura automatica delle lacune.
(b) Correzione automatica di errori topologici in applicativo di *reverse modelling*.
(c) Rimportazione del modello corretto e di più facile mappatura in applicativo SFM.
(d) Applicazione della *texture* (capitello dalla Fortezza di Verrucole, San Romano in Garfagnana, Lucca. Foto: Silvia Bertacchi).
(e) *Texture* del colore apparente calcolata da applicativo SFM in automatico. Gli errori topologici e le occlusioni rendono più difficile la mappatura UV automatica del modello producendo una grande quantità di isole con la conseguente impossibilità per l'operatore di poter intervenire mediante programmi di *editing bitmap* per apportare integrazioni e correzioni del colore.
(f) *Texture* del colore apparente calcolata da applicativo SFM in automatico. Si noti come, a seguito delle correzioni eseguite in applicativi di *reverse modelling*, la mappatura avvenga in modo estremamente più efficace rispetto al caso precedente, dal momento in cui la presenza di isole è stata evitata. Sebbene la mappa del colore sia facilmente editabile esiste comunque il problema di non utilizzare tutti i *pixel* messi a disposizione dalla *bitmap* di formato quadrato. I programmi per l'*entertainment* forniscono all'operatore numerosi comandi indirizzati a contenere tali sprechi di risorse.

gnose soluzioni per mappare geometrie topologicamente complesse in 2D [5]. Gli obiettivi di tali studi sono essenzialmente finalizzati a salvaguardare due aspetti: la creazione di un basso numero di *island* e il mantenimento di un sostanziale equilibrio fra la superficie occupata dai singoli poligoni nello spazio (x,y,z) e la superficie omologa in (u,v) . Troppe isole rendono di fatto non editabile la *texture* del modello e quindi ogni lacuna o imperfezione presente nelle mappature non è di fatto correggibile (in realtà esiste anche la possibilità di ricorrere a soluzioni empiriche come i sistemi di *painting 3D*, che però sono in antitesi con le finalità scientifiche del presente studio). La *texture* di una colonna, ad esempio, dovrebbe essere applicata secondo una mappatura cilindrica, continua e soprattutto comprensibile da parte dell'operatore: questo genere di situazione non è quasi mai ottenibile attraverso le mappature UV realizzate in automatico dai programmi di *reverse modelling* e di SFM, che attraverso soluzioni chiamate *atlas* rompono la continuità dei poligoni del modello in molte frastagliate isole che l'operatore stesso rischia di non comprendere e, di conseguenza, di non poter ritoccare a posteriori in programmi come Adobe Photoshop. Simili problemi sono presenti anche nei programmi di fotogrammetria, i cui modelli *mesh* devono essere corretti da eventuali problemi topologici come le classiche *dangling face*, grappoli isolati di poligoni, facce sovrapposte, lacune, etc. Sempre a tal proposito è opportuno ricordare come Agisoft Photoscan permetta di esportare il modello in applicativi di *reverse modelling* attraverso formati come l'.OBJ ed il .PLY, correggerne eventuali errori topologici, per poi reimporlo per la fase finale di *texturing*; le *mesh* rivedute dagli errori ed ottimizzate consentono di ottenere mappe UV di migliore qualità (Fig. 5).

Allo stato attuale dell'arte, pertanto, solo l'integrazione fra applicativi diversi garantisce la possibilità di ottenere parametrizzazioni di qualità e, conseguentemente, di evitare che le immagini fotografiche riproiettate sulla superficie del modello non vengano alterate da una scadente mappatura UV che rischierebbe di inficiare il lavoro eseguito per correggere le fotografie da eventuali



6. I programmi di *reverse modelling* mettono a disposizione un gran numero di strumenti finalizzati all'individuazione corretta di elementi geometrici di riferimento come, piani, vettori, punti e polilinee che a loro volta vengono impiegati per eseguire quelle sezioni del modello *mesh* che risultano indispensabili per la realizzazione di modelli ottimizzati. (a) modello *mesh high-poly*. (b) Creazione di piani di riferimento che possono essere impiegati per la creazione di curve *spline* (comandi *3D Mesh Sketch*, oppure *3D Sketch*), oppure per creare polilinee, segmenti e cerchi che meglio approssimano la forma delle sezioni del modello *mesh* (comando *Mesh Sketch*). (c) Il risultato dell'applicazione del comando *Mesh Sketch*: un telaio a fil di ferro che verrà impiegato per successivi passaggi di modellazione in applicativi di modellazione geometrica. (d) Sebbene il lato contro il muro delle colonne non fosse accessibile dallo scanner è stato possibile ricostruirlo grazie ai comandi di modellazione inversa che si basano come nel caso di comuni applicativi di modellazione NURBS sul raccordo di sezioni (*loft*). Il vantaggio è evidente poiché così facendo si realizzano geometrie ottimizzate e dal peso esiguo su disco senza ricorrere a comandi di chiusura fori della *mesh* che risulterebbero in antitesi con l'approccio della modellazione integrata.



7. (a) Parametrizzazione di una porzione del modello in *UV map* e relativa *normal map* calcolata con processi di *baking* (b). *Diffuse color map* calcolata attraverso proiezione sul modello del fotogramma e successivo *baking* (c). I processi di *baking* consentono infatti di codificare informazioni di varia natura in accordo al sistema di riferimento della mappa UV.

dominanti cromatiche attraverso, ad esempio, l'equilibrio del bianco o il *tone mapping*.

4. SINTESI DEL FLUSSO OPERATIVO

La *pipeline* è costituita da un insieme ordinato di procedure, la prima delle quali vede l'impiego delle tecniche di *reverse modelling* con l'obiettivo di ottenere un modello continuo a partire dai dati derivanti da un rilievo *scanner laser*. Questo primo step permette di avere a disposizione un modello *high-Poly* dal quale ricavare sezioni e profili in grado di sintetizzare le caratteristiche geometrico-dimensionali di un manufatto.

Il secondo passaggio concerne la ricostruzione del modello attraverso tecniche di modellazione ibrida, che vanno da quelle classiche di congiungimento di profili (*loft*) ottenuti attraverso sezioni significative dell'oggetto (Fig. 6), fino a tecniche di modellazione proprie del mondo dell'*entertainment*, come la *retopology*, che consiste nel ricalcare con poligoni quadrangolari una superficie

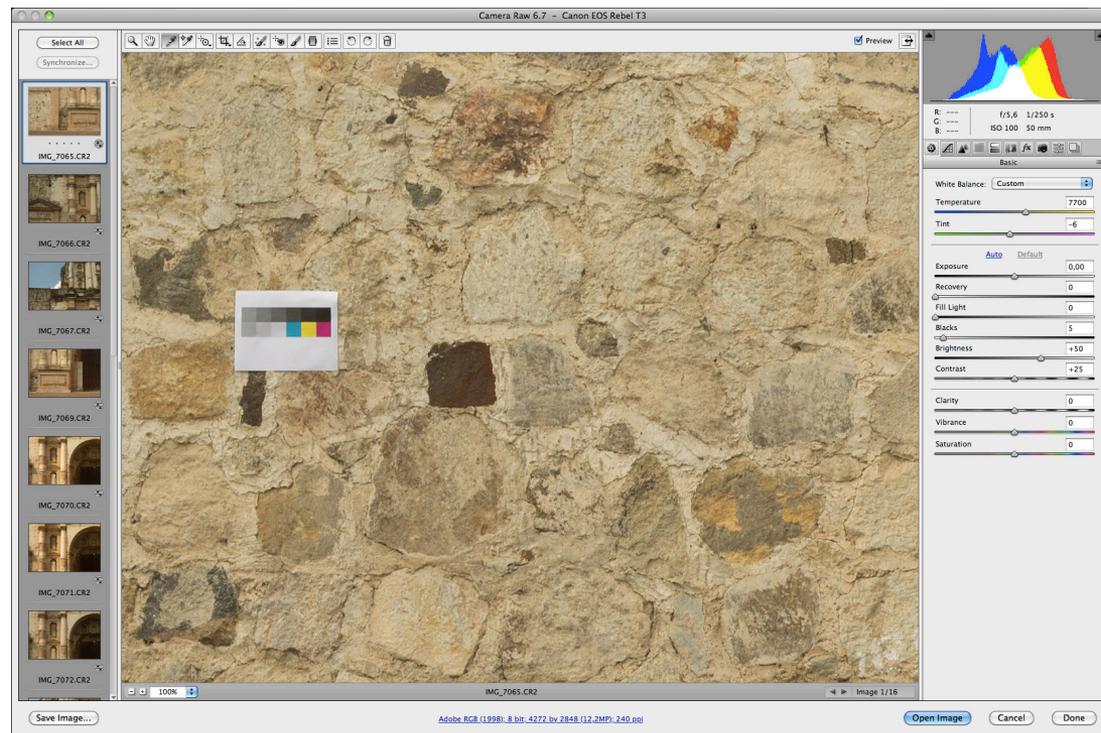
mesh ad alto dettaglio, avendo cura che ciascun vertice della maglia creata presenti valenza pari a quattro (in ciascun vertice devono convergere, per quanto possibile, quattro bordi). La prima tecnica permette una buona ottimizzazione delle tempistiche di modellazione e ben si adatta alla riproduzione di tutti quegli elementi del bene rilevato che presentano una geometria regolare e definita. La tecnica di *retopology* viene utilizzata invece per il ricalco di tutte quelle porzioni che non possiedono una geometria definita: si pensi, ad esempio, agli apparati murari molto degradati, oppure a fregi o ad elementi decorativi di natura scultorea.

La modellazione e la successiva fase di *texturing* sono di fatto due aspetti complementari poiché l'operatore deve tenere sotto controllo al contempo sia i criteri per la scomposizione delle architetture complesse in gruppi di *item*, grazie ai quali ricavare in modo più semplice l'*UV map*, sia la risoluzione geometrica (numero di poligoni) di

tali gruppi di modelli 3D che nel loro insieme costituiscono una versione alleggerita, ma al tempo stesso attendibile, dell'oggetto rilevato [6].

Il modello dovrà quindi essere sottoposto ad una attenta analisi che permetta di separare e gerarchizzare le sue parti in vista della fase di parametrizzazione UV. Tale fase costituisce un elemento chiave dell'intera procedura, poiché il sistema di riferimento ad essa associato consente di relazionare la *texture* del colore alle mappe di normali o di scostamento. Queste ultime sono delle immagini *bitmap* ottenute attraverso specifici processi di *baking* del modello *high-poly* su quello *low-poly* mappato in UV e svolgono un ruolo fondamentale per l'ottimizzazione del modello, in quanto al loro interno si possono immagazzinare informazioni relative alla direzione della normale in ogni punto della superficie (che ne definisce lo *shading*) o alla posizione dei punti della superficie nello spazio (*SubD* con *displacement map* calcolata in fase di *rendering*).

8. Bilanciamento della temperatura colore in Adobe Camera Raw.



Le mappe di normali, quelle di scostamento e le *texture* del colore sono dunque gli elementi che consentono ai modelli *low-poly* di essere percettivamente vicini al reale (Fig. 7).

La calibrazione della fotocamera, l'anti-distorsione dei singoli fotogrammi e la resezione delle singole fotocamere viene svolta all'interno dei programmi di fotogrammetria, mentre per la creazione della *texture* del colore non si può prescindere dall'utilizzo di programmi per l'*editing* di *bitmap* e per la gestione dei fotogrammi in formato .RAW, che permettono la correzione delle dominanti cromatiche presenti nella scena al momento dello scatto.

L'ultima fase consiste nella ri-proiezione dei fotogrammi anti-distorti sul modello semplificato e la loro codifica in accordo con i parametri dell'UV

map tramite il comando *Bake to Render Outputs*, operazione che viene realizzata con il programma per l'*entertainment* Luxology Modo.

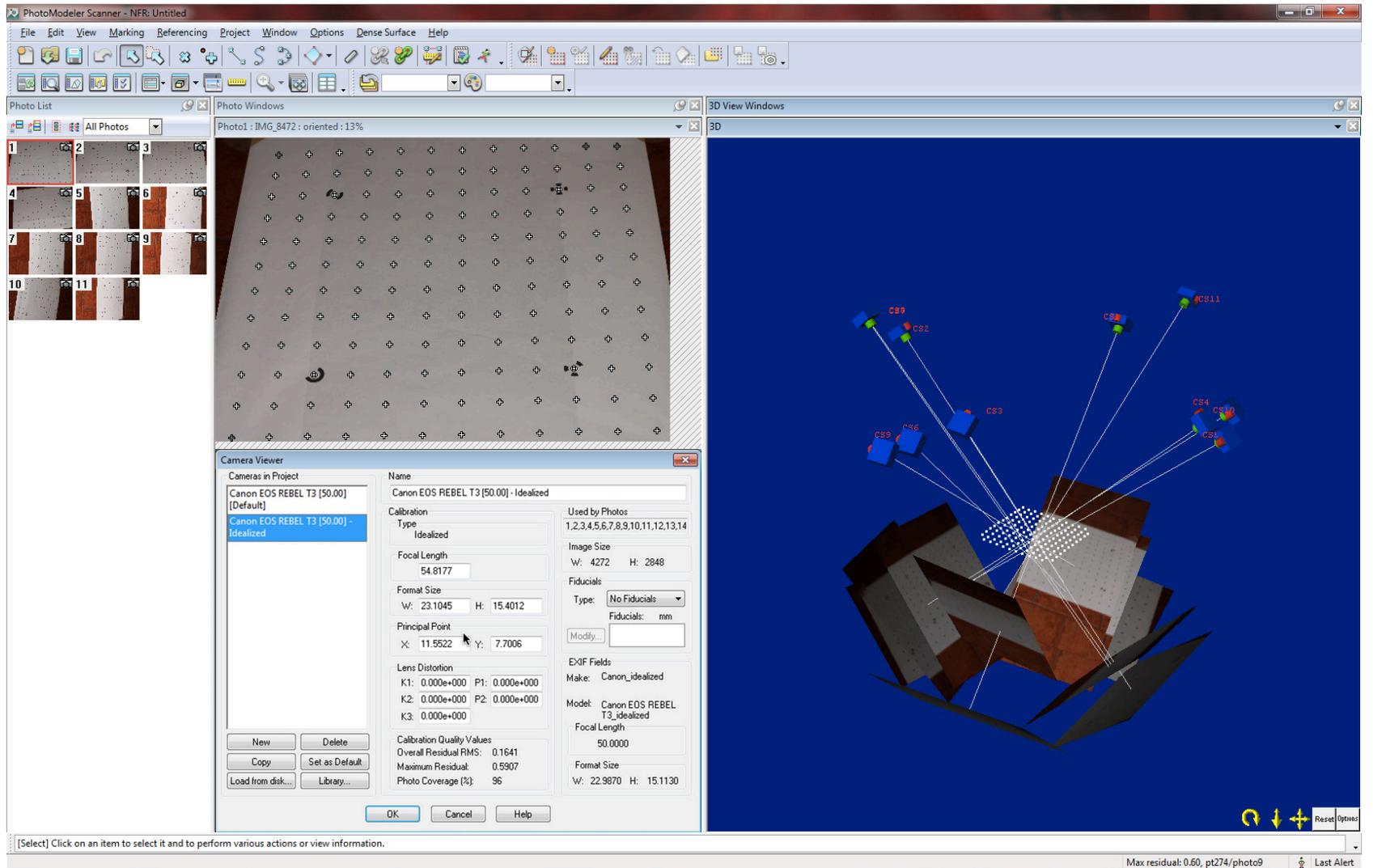
Il modello che si ottiene è un elaborato completo, pronto per essere sottoposto a *rendering* e adeguato per ricavarne *still image* o viste ortografiche di qualità fotografica analoghe ai fotopiani ottenuti mediante applicativi fotogrammetrici classici, oltre che per la creazione di animazioni, o essere navigato in *real-time*.

5. DALLA FOTOGRAFIA ALLA TEXTURE

Date la difficoltà insite nella mappatura di modelli ad alto dettaglio, spesso si opta per la semplice colorizzazione della nuvola di punti al fine di ottenere elaborati analoghi a fotopiani.

Mediante il sistema di mappatura UV, per ciò che

concerne invece i modelli *mesh*, la procedura illustrata presenta l'indubbio vantaggio di non dover ricorrere a pesanti *bitmap* associate ai poligoni. Alcune questioni rimangono comunque irrisolte: limitata è, ad esempio, la possibilità di controllare la *color processing* e la miscelazione dei fotogrammi, sia nei programmi di *reverse modelling* che in quelli per la gestione di nuvole di punti (fattore non secondario se l'obiettivo è quello di ottenere un modello di qualità fotorealistica). In questo caso è necessario pervenire alla definizione cromatica e tonale, la più fedele possibile al documento originale, e per poterlo fare è indispensabile tenere sotto controllo il livello di illuminazione al momento dello scatto, così come le caratteristiche intrinseche alla fotocamera, nonché la rappresentazione matematica dell'informa-



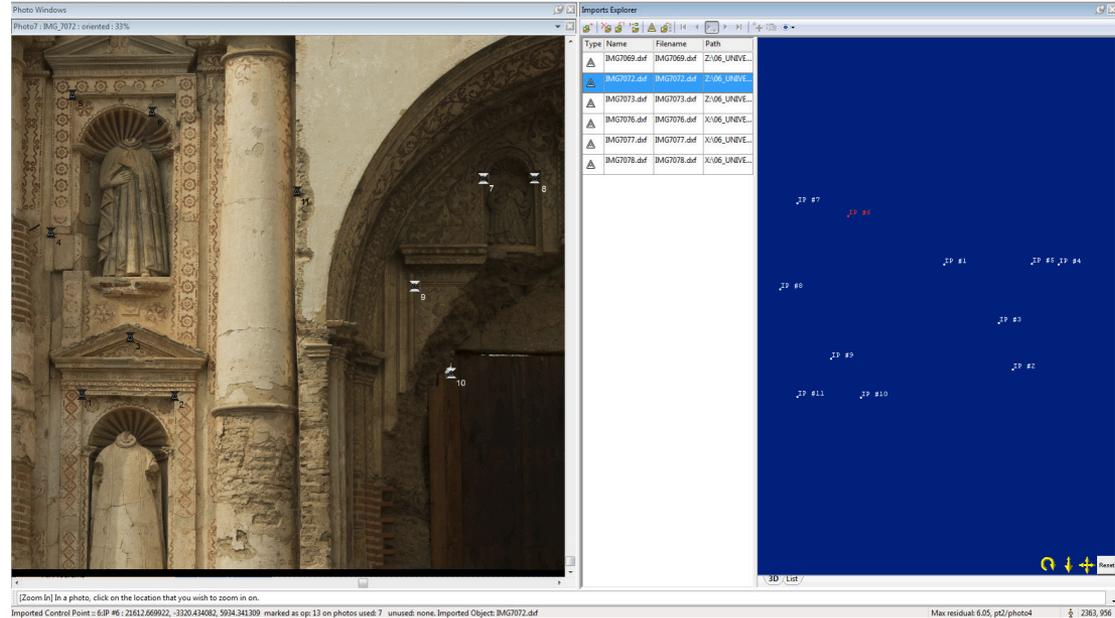
9. Procedura di calibrazione della fotocamera all'interno del software Photomodeler Scanner e parametri della camera idealizzata.

zione sul colore.

La soluzione di tali problemi è sia di natura proiettiva che radiometrica, e passa attraverso l'uso di programmi di *editing bitmap* e di fotogrammetria. Nel presente caso di studio, al fine di agevolare il processo di calibrazione radiometrica, sono state eseguite le fotografie in condizioni di illuminazione simili ed omogenee, mantenendo l'apertura del diaframma costante ed evitando l'uso di filtri e automatismi della camera; inoltre, per poter mitigare a posteriori l'influenza delle dominanti cromatiche, per tutti gli scatti caratterizzati da condizioni di illuminazioni analoghe si è provveduto ad inserire un *colour checker* nell'inquadratura. Per effettuare la campagna fotografica è stato necessario attendere una condizione di cielo coperto, al fine di ottenere un'illuminazione diffusa ed omogenea priva di evidenti ombre proprie e portate sul manufatto. I fotogrammi, scattati con una fotocamera Canon Rebel T3 con obiettivo a focale fissa da 50 mm montata su treppiede, hanno una risoluzione di 4272x2848 pixel. Tutti gli scatti sono stati eseguiti in modalità manuale, prestando attenzione a non variare l'apertura del diaframma che è stato fissato a f/5.6 (si è operato solo sul tempo di scatto per bilanciare l'esposizione). La modalità ISO automatica è stata disabilitata ed il valore della sensibilità è stato impostato a 100 con lo scopo di ridurre al minimo il fenomeno del rumore. La messa a fuoco invece è stata verificata per ogni singolo fotogramma. Il bilanciamento del bianco è stato impostato sulla modalità Auto ed il salvataggio delle immagini è stato eseguito in .RAW. Successivamente, per il fotogramma contenente il *colour checker* è stato eseguito in Adobe Camera Raw il *white balance* mediante selezione, con lo strumento contagocce, del grigio 18% (Fig. 8). Camera Raw ha creato un file in formato .XMP che è stato impiegato per bilanciare correttamente le tonalità dell'intero

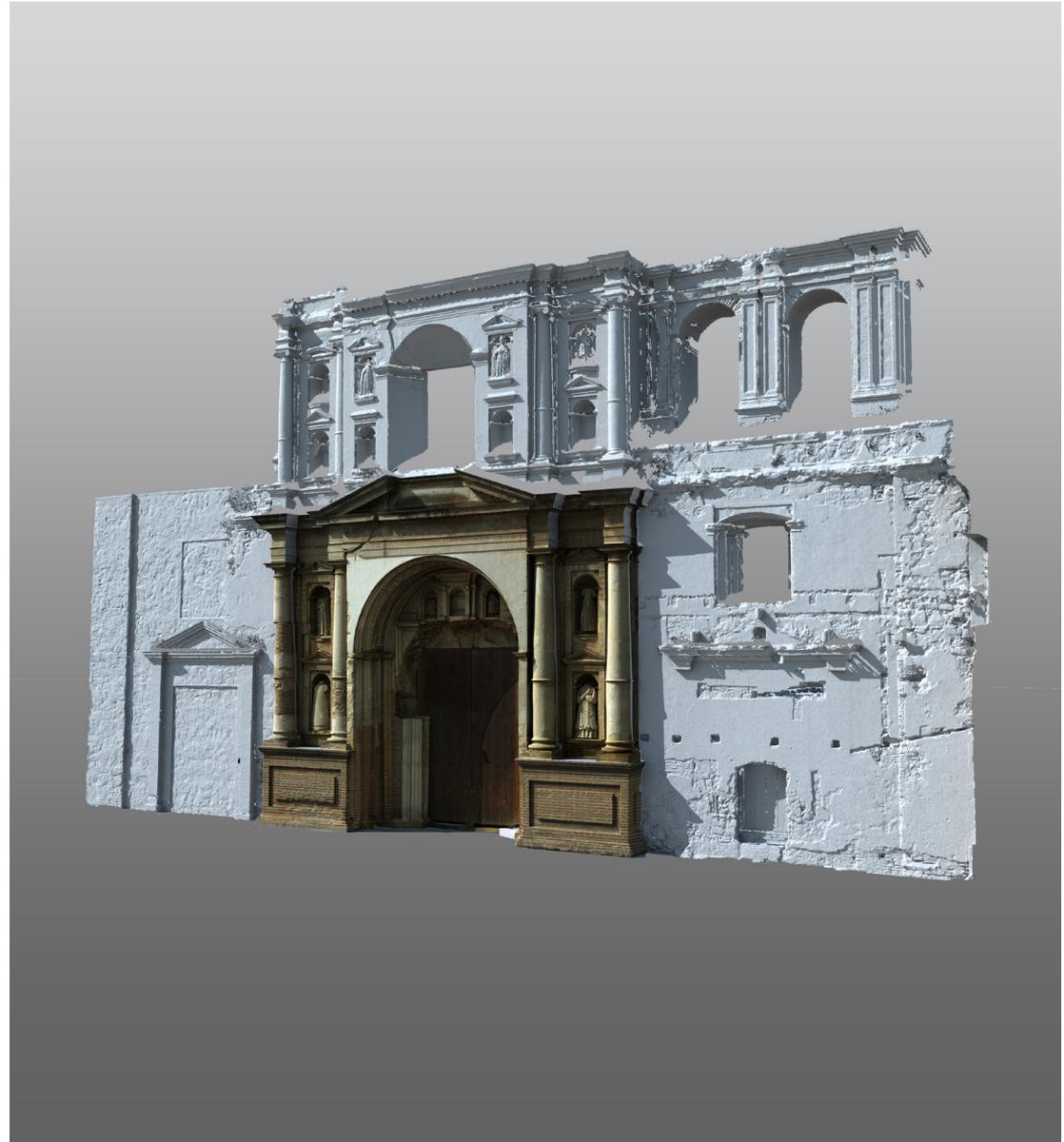
10. Operazione di frecciatura: associazione di punti omologhi tra oggetto rilevato e fotografia.

11. *Front Projection*: proiezione del fotogramma sul modello dalla posizione della camera idealizzata.



set di fotografie.

Attraverso EOS Systems Photomodeler è stata eseguita la resezione e cioè l'individuazione del vettore che stabilisce posizione e rotazione della fotocamera rispetto all'oggetto al momento dello scatto. Al fine di velocizzare e rendere più accurata tale procedura, la fotocamera è stata preventivamente calibrata tramite una sequenza di 12 fotografie scattate all'apposita griglia di calibrazione inclusa nel *software* e stampata in formato A0. La determinazione della lunghezza focale, delle dimensioni del sensore CCD, le coordinate del punto principale ed i parametri K1, K2, P1 e P2 hanno permesso, attraverso il comando *Project>Idealize* (Fig. 9), di anti-distorcere ciascun fotogramma al fine di correggere le deformazioni geometriche (radiali, tangenziali). Operazione quest'ultima che, avendo calibrato la fotocamera, ha consentito di eseguire la resezione in modo estremamente più rapido, dal momento che sono stati sufficienti solo cinque punti omologhi fra fotogramma e modello *mesh* per individuare coordinate e rotazioni della fotocamera stessa. I punti omologhi sul modello *mesh* sono stati indentificati dall'operatore direttamente sul modello *high-poly* all'interno del programma Rapidform XOR (*Add Reference Point>Method: definition>Input Options: Position*). I punti sono stati importati in Photomodeler grazie al formato di interscambio .DXF e sono stati associati dall'operatore ai punti omologhi sulla fotografia (Fig. 10). Le fotocamere ottenute tramite questa procedura sono state esportate nel formato .FBX verso Luxology Modo nel quale si è concluso di fatto il processo grazie all'operazione di ri-proiezione dei fotogrammi sul modello *mesh* (Fig. 11). La scelta del programma prodotto dalla *software house* Luxology risiede nella sua flessibilità rispetto all'operazione denominata *baking*, che indica uno specifico calcolo finalizzato alla creazione di una mappa nel sistema di riferimento (u,v) associato al modello *mesh* semplificato. Tale riferimento bidimensionale viene impiegato per generare e ri-proiettare le



12. Modello 3D *high-poly*, con inserimento del modello della parte centrale ottimizzato e mappato.

texture di normali e quelle del colore: due *texture* applicate con il medesimo sistema di riferimento ottimizzato che consente in modo elementare a qualsiasi operatore di eseguire correzioni ed integrazioni in Adobe Photoshop.

6. CONCLUSIONI

Le procedure per la realizzazione dei modelli 3D a partire da una campagna di rilevamento *scanner laser* che presentino un'alta attendibilità metrica e, nel contempo, un'ottima resa dal punto di vista percettivo sono ad oggi molteplici e nessuna risolve al contempo i problemi che sono insiti in questo genere di operazione (Fig. 12). La *pipeline* che è stata qui presentata pone l'accento sul rapporto che vi è tra creazione del modello 3D e mappatura dello stesso, due fasi che devono essere attentamente progettate e valutate assieme dall'operatore al fine di non compromettere né l'affidabilità del modello né il suo utilizzo. I risultati ottenuti sul fronte principale della chiesa della Compañía de Jesús mostrano la bontà del metodo adottato e invitano a proseguire la ricerca in questa direzione (Fig. 13-14) (<http://www.carlos-sanchez.com/Iglesia/Medium>). L'auspicio è quello che l'interesse verso l'*old heritage* possa incoraggiare anche le *software house* a cimentarsi con queste tematiche, mettendo a disposizione degli studiosi dei pacchetti *ad hoc* per la rappresentazione 3D del patrimonio tangibile.



13. Modello ottimizzato e *texturizzato* della parte centrale della facciata.

BIBLIOGRAFIA

[1] Fantini, Filippo, Rodriguez, Pablo, Di Tondo, Sergio (2012), *Il problema della mappatura del colore nei modelli digitali 3D a displaced subdivision surface da rilevamento laser scanner in ambito archeologico*, in Rossi, Maurizio, Siniscalco, Andrea (a cura di), *Colore e Colorimetria Contributi Multidisciplinari*, Vol. VIII A, Maggioli, Bologna, pp. 31-38.

[2] Gaiani, Marco (2001), *Traduzioni dal reale al virtuale in architettura*, in Migliari, Riccardo (a cura di), *Frontiere del rilievo, dalla matita alle scansioni 3D*, Gangemi, Roma, pag. 49.

[3] Guidi, Gabriele, Russo, Michele, Beraldin, Jean-Angelo (2010), *Acquisizione 3D e modellazione poligonale*, McGraw-Hill, Milano, pag. 69.

[4] Merlo, Alessandro, Vendrell-Vidal, Eduardo, Fantini, Filippo,

Sánchez-Belenguer, Andrea Aliperta (2013), *3d model visualization enhancements in real-time game engines*. In J. Boehm, F. Remondino, T. Kersten, T. Fuse, D. Gonzalez-Aguile (a cura di), *3D-ARCH 2013 – 3D Virtual Reconstruction and Visualization of Complex Architecture 25 – 26 February 2013*, Trento, Italy, Pagg. 181-188. <http://www.int-arch-photogramm-remote-sens-spatial-inf-sci.net/XL-5-W1/>

[5] Piponi, Dan, Borshukov, George (2000), *Seamless texture mapping of subdivision surfaces by model pelting and texture blending*, In *Siggraph 2000 Conference Proceedings, Annual Conference Series, ACM SIGGRAPH*, pagg. 471-477.

[6] Merlo, Alessandro, Fantini, Filippo (2012) *I sistemi di ottimizzazione image based per la gestione dei modelli digitali 3D a scala urbana*. In Merlo, Alessandro, *Il castello di Pietrabuona - Materiali per la Ricerca*, Edizioni ETS, Pisa, pagg. 159-165.

ACKNOWLEDGMENT

Si ringraziano il professor Gaspar Muñoz Cosme e la professoressa Cristina Vidal Lorenzo senza il cui interessamento il progetto pilota presentato in questo contributo non sarebbe mai stato avviato.

Si ringrazia inoltre il dott. Carlos Sanchez Belenguer per il supporto informatico.



14. Sfogliato; da sinistra: struttura *low-poly* del modello ottimizzato, *normal map*, *diffuse color map* (dettaglio).