

Livio De Luca

Presentazione di Marco Gaiani

Traduzione di Francesca De Domenico



# La fotomodellazione architettonica

Rilievo, modellazione, rappresentazione di edifici a partire da fotografie



Dario Flaccovio Editore

Livio De Luca

# La fotomodellazione architettonica

Rilievo, modellazione, rappresentazione di edifici a partire da fotografie

*Presentazione di Marco Gaiani*

*Traduzione di Francesca De Domenico*



Dario Flaccovio Editore

Livio De Luca

LA FOTOMODELLAZIONE ARCHITETTONICA

ISBN 978-88-579-0070-4

© 2011 by Dario Flaccovio Editore s.r.l. - tel. 0916700686

[www.darioflaccovio.it](http://www.darioflaccovio.it) [info@darioflaccovio.it](mailto:info@darioflaccovio.it)

Prima edizione: gennaio 2011

De Luca, Livio <1975->

La fotomodellazione architettonica / Livio De Luca. – Palermo : D. Flaccovio, 2011.

ISBN 978-88-579-0070-4

I. Modelli architettonici – Impiego della Fotografia.

720.222 CDD-22

SBN Pa0231568

CIP - Biblioteca centrale della Regione siciliana "Alberto Bombace"

Stampa: Tipografia Priulla, gennaio 2011

### Crediti

Traduzione, progetto grafico ed impaginazione di Francesca De Domenico.

In copertina: fotomodellazione del chiostro di Saint-Jean della Chartreuse de Villeneuve-lez-Avignon, illustrazione di Livio De Luca, elaborata a partire da un modello 3D di Florian Moreno.

Salvo errore o omissione involontaria dell'editore, tutte le fotografie, i modelli 3D e le illustrazioni di quest'opera sono dell'autore all'eccezione di:

figura 1, illustrazione di Albrecht Dürer; figura 2, illustrazione di Leonardo da Vinci; figure 6 e 27, tutti i diritti riservati; figura 36 (destra), fotografia di Céline Bon - Hisoma (UMR 5189)/Ifao; figura 37, fotografia di Matthieu Deveau; figura 67, fotografie dell'autore e di Tudor Driscu; figura 77, illustrazione dell'autore a partire da un modello 3D della società Realviz; figura 134, illustrazione di Francesca De Domenico; figure 136, 156 e 168, illustrazioni dell'autore a partire da un modello 3D di Jiajun Li; figure 137 e 167, illustrazioni dell'autore a partire da un modello 3D di Florian Moreno; figura 153, illustrazione dell'autore a partire da un modello 3D di Luca Foresi - Facoltà d'architettura di Ascoli Piceno; figura 157, illustrazione dell'autore a partire da un modello 3D di Aurélie Favre-Brun; figura 164, illustrazione dell'autore a partire da un modello 3D di Francesca De Domenico; figura 166, illustrazione dell'autore a partire da un modello 3D di Noémie Renaudin; figura 169, illustrazione dell'autore a partire da un modello 3D di Tudor Driscu; figura 174, illustrazione dell'autore elaborata a partire da un modello 3D e di una restituzione ipotetica di Jean-Luc Biscop; figura 175, illustrazione di Francesca De Domenico; figura 176, illustrazione de Institut Image/Arts et Métiers ParisTech/on-situ; figura 177, illustrazione di Guillaume Lemeunier, Institut Image/Arts et Métiers ParisTech; figura 178, illustrazione di David Lo Buglio; figura 180, illustrazione di Cristian Boscaro, IUAV; figura 181, illustrazione di Chiara Stefani; figura 182, illustrazione di David Rossman - Stack!Studios, elaborata a partire da un progetto d'architettura di Asymptote (Hani Rashid, Lise-Anne Couture); figure 184, 185 e 186, catture di schermo di applicazioni sviluppate rispettivamente dall'autore, Francesca De Domenico e Chawee Bussayarat al laboratorio MAP-Gamsau (UMR CNRS/MCC 694); figura 187, fotografia della società on-situ.

ImageModeler, Stitcher e AutoCAD sono marchi depositati da Autodesk.

### Ringraziamenti

Tengo a ringraziare: Stéphane Nullans (Autodesk) per tutte le informazioni, le nozioni ed i consigli che mi ha fornito durante la redazione di questo libro; Matthieu Deveau per la sua rilettura critica e rigorosa oltre che per i suoi consigli; Michel Florenzano, Michel Berthelot e tutti i membri del laboratorio MAP-Gamsau, che mi hanno permesso di condurre delle esperienze stimolanti in occasione di numerosi progetti di ricerca; gli studenti del DPEA *Culture Numérique et Patrimoine Architectural* de l'École nationale supérieure d'architecture de Marseille, gli studenti del corso FSE *Tecniche digitali per il rilevamento architettonico* dello IUAV (Istituto Universitario di Architettura di Venezia) e gli studenti della facoltà di architettura di Ascoli Piceno per le riflessioni portate avanti nel corso degli ultimi anni sull'applicazione della fotomodellazione al campo del rilievo e alla rappresentazione dell'architettura; Céline Guesdon e Dominique Pouliquen (Autodesk) per i loro consigli sull'elaborazione dei casi di studio; il Centre des monuments nationaux per avermi permesso, grazie alla convezione con il laboratorio MAP-Gamsau (CNRS/MCC), di condurre delle sperimentazioni su monumenti prestigiosi ed in particolare Georges Puchal (responsabile della "mission multimédia"; François de Banes Gardonne che mi ha aperto le porte della Chartreuse de Villeneuve-lez-Avignon ed infine "mon ami Toni" per aver sempre sostenuto il progetto di questo libro con grande entusiasmo.

Tengo a ringraziare ugualmente: mio padre Adriano per avermi insegnato ad interessarmi costantemente a tutto ciò che è nuovo; mia madre Pina per avermi trasmesso l'abitudine di cominciare a lavorare molto presto al mattino; mia moglie Francesca per tutti i suoi consigli di composizione grafica oltre che per le sue riflessioni critiche sulla forma ed il contenuto di questo libro.

# Sommario

## Parte I Teoria e metodologia

<b>Capitolo 1 Introduzione alla fotomodellazione in architettura</b> .....	pag. 19
La digitalizzazione 3D del patrimonio costruito.....	» 19
Dalla prospettiva alla fotomodellazione.....	» 21
Un processo in più fasi.....	» 24
L'acquisizione delle coordinate spaziali.....	» 25
La ricostruzione tridimensionale.....	» 26
La restituzione dell'apparenza visiva.....	» 27
Potenzialità e limiti della fotomodellazione.....	» 28
La fotomodellazione applicata all'architettura.....	» 29
Struttura del libro .....	» 30
<b>Capitolo 2 La ripresa fotografica</b> .....	» 33
La macchina fotografica .....	» 33
La scelta della macchina fotografica.....	» 34
Gli obiettivi.....	» 35
Nozioni di base di fotografia .....	» 37
La qualità delle fotografie per la fotomodellazione.....	» 38
Tecniche di ripresa fotografica.....	» 43
Nozioni teoriche.....	» 43
Ripresa fotografica ad assi convergenti.....	» 46
Ripresa fotografica ad assi paralleli.....	» 53
Ripresa fotografica panoramica.....	» 56
La strategia di rilievo .....	» 62
La descrizione dell'edificio .....	» 62
L'organizzazione della ripresa fotografica sul campo.....	» 65
Il giornale di rilievo.....	» 68

<b>Capitolo 3 Calibrazione e orientamento delle camere</b> .....	» 71
Il modello geometrico di una camera.....	» 71
I parametri intrinseci.....	» 72
I parametri estrinseci.....	» 74
La stima della geometria delle camere.....	» 75
La conoscenza della geometria interna della camera.....	» 80
L'accoppiamento 2D/2D dei punti omologhi.....	» 81
Lo sfruttamento dei vincoli geometrici.....	» 85
Tecniche di calibrazione e orientamento delle camere.....	» 86
Calibrazione e orientamento simultaneo di un blocco d'immagini convergenti.....	» 87
Calibrazione e orientamento progressivo di coppie d'immagini convergenti.....	» 88
Calibrazione e orientamento d'immagini parallele.....	» 92
Calibrazione e orientamento di foto a livelli di dettaglio progressivi.....	» 95
Assemblaggio e orientamento d'immagini panoramiche.....	» 95
Assemblaggio d'immagini panoramiche.....	» 96
Tipi di proiezioni.....	» 98
Modello geometrico di un'immagine panoramica.....	» 100
Orientamento d'immagini panoramiche.....	» 102
Validazione metrica della calibrazione e dell'orientamento delle camere.....	» 105
<b>Capitolo 4 Presa di misure e restituzione bidimensionale</b> .....	» 107
Misurare un edificio: dalla foto allo spazio.....	» 107
La presa di misure.....	» 110
La raccolta di coordinate.....	» 110
La misura delle distanze.....	» 112
La misura degli angoli.....	» 114
La misura dei dislivelli.....	» 114
Le quotature.....	» 115
Il raddrizzamento di fotografie.....	» 117
La restituzione bidimensionale a partire da un'ortofotografia.....	» 121
<b>Capitolo 5 La ricostruzione geometrica 3D</b> .....	» 125
Introduzione.....	» 125

La natura geometrica degli elementi architettonici .....	» 126
Nozioni di base di rappresentazione geometrica.....	» 127
Tipi di rappresentazioni geometriche.....	» 127
Trasformazioni geometriche.....	» 128
Le tecniche di ricostruzione 3D a partire da fotografie.....	» 130
Raccolta di punti per la ricostruzione 3D .....	» 131
Ricostruzione per aggiustamento di primitive.....	» 133
Ricostruzione per estrusione progressiva.....	» 142
Ricostruzione per maglie poligonali .....	» 147
Ricostruzione per profili.....	» 156
La strategia di ricostruzione .....	» 167
<b>Capitolo 6 La rappresentazione basata sull'immagine.....</b>	<b>» 173</b>
La restituzione dell'apparenza visiva.....	» 173
Estrazione e mapping delle texture.....	» 174
Ritocco grafico delle texture.....	» 179
La strutturazione della rappresentazione.....	» 181
Strutturazione della geometria.....	» 181
Strutturazione delle texture.....	» 183
Codifica dell'apparenza visiva.....	» 184
Le tecniche di rendering .....	» 185
Rendering delle linee caratteristiche.....	» 185
Rendering dei volumi .....	» 187
Rendering dell'apparenza visiva .....	» 189
Elaborazione di rappresentazioni multi-layers .....	» 191
L'ibridazione reale/virtuale.....	» 194
Coerenza geometrica.....	» 194
Coerenza fotometrica.....	» 194
<b>Capitolo 7 Altre applicazioni.....</b>	<b>» 199</b>
Applicazioni per lo studio e la valorizzazione del patrimonio .....	» 199
Restauro virtuale di edifici .....	» 199
Ricostruzione di scene a partire da fotografie antiche .....	» 201
Analisi e ricostruzione di scene pittoriche.....	» 202

Applicazioni per il progetto d'architettura.....	» 204
Ricostruzione di modelli di studio.....	» 204
Integrazione 2D/3D di un progetto d'architettura.....	» 205
Integrazione con altri strumenti e tecniche.....	» 205
Integrazione laser 3D/foto.....	» 206
Fotomodellazione e banche dati.....	» 209
Realtà aumentata.....	» 211
Conclusione.....	» 212

## **Parte II Tre casi di studio**

Caso di studio n°1 Misure e disegno di una facciata.....	» 216
Caso di studio n°2 Ricostruzione geometrica di un edificio.....	» 227
Caso di studio n°3 Ricostruzione fotorealistica di un interno.....	» 243
Bibliografia.....	» 257
Indice degli edifici figuranti nel libro.....	» 260
Indice analitico.....	» 262

## Prefazione

Non sono riuscito a trovare metodo migliore per descrivere questo fondamentale libro di Livio De Luca che ripartire dalla famosa spiegazione che Antonio di Tuccio Manetti fornisce del complicato e, senza precedenti, esperimento con il quale Filippo Brunelleschi fornì prova dell'effettività della tecnica della *perspectiva artificialis*, come mezzo per raffigurare le architetture in forma iconica<sup>1</sup>.

Su una tavoletta di forma quadrata con lato di mezzo braccio egli aveva dipinto il Battistero con i suoi intarsi marmorei in un modo talmente accurato "che non è miniatore che l'avessi fatto meglio". Per dimostrare la verosimiglianza dell'immagine dipinta con quella reale, nella tavoletta fu praticato un foro svasato verso il retro del dipinto, in modo che l'occhio dell'osservatore, posto in un punto preciso (circa 2 metri all'interno della porta centrale del Duomo) potesse percepire l'immagine reale della scena. In seguito, con l'aiuto di uno specchio sorretto dall'altra mano dell'osservatore e regolato a distanza opportuna, egli poteva vedere l'immagine dipinta riflessa nello specchio e ammirare la perfetta coincidenza dell'immagine dipinta con quella reale (e così "pareva che si vedessi l proprio vero"). Per sopperire all'inversione tra destra e sinistra con cui l'immagine riflessa dallo specchio mostrava il dipinto, il disegno del Battistero fu eseguito con rovesciamento simmetrico. La raffigurazione di un edificio realmente esistente assicurava la validità della sua costruzione, cosicché replicò l'esperimento in una seconda tavoletta realizzata in Piazza della Signoria, con la vista di Palazzo Vecchio e della Loggia dei Lanzi. In questo caso, tuttavia, la posizione angolata non presentava una simmetria come nella prima tavoletta e pertanto non adottò l'espedito del foro e dello specchio. Ritagliata però la parte del cielo sul dipinto, era possibile far collimare il profilo degli edifici disegnati con quello dell'immagine reale e verificarne la perfetta coincidenza visiva.

L'esperimento di Brunelleschi implicava la necessità di una macchina (uno specchio più vari piani di proiezione materializzati in tavolette), la rappresentazione di un edificio esistente, l'utilizzo di un sistema di visione a proiezione centrale con un meccanismo tipo pinhole, la finalità nella soluzione di un problema di visione con fini documentativi di una scena spaziale (è noto come la *perspectiva artificialis* si proponga di documentare fedelmente un evento), e, come ha mostrato Hubert Damish, la possibilità d'interpretazione soggettiva lavorando sulle aree in cui il sistema non era definito univocamente<sup>2</sup>.

Nello stesso tempo l'esperimento consentì a Brunelleschi di porre per primo in relazione diretta prospettiva e architettura, prospettiva e città, prospettiva e territorio, determinando in modo univoco un mezzo in grado di comprendere e organizzare il mondo fisico, dall'oggetto alla città, dall'elemento al tutto.

Quella che propone De Luca non è altro che l'ultima evoluzione di quest'apparato secondo un tipico progredire di un qualsiasi sistema scientifico. Non si tratta tuttavia di uno sviluppo qualsiasi, ma di un passaggio che riempie di una nuova dimensione l'operare dell'architetto.

Cercherò di spiegarne le ragioni tramite la descrizione di circostanze appartenenti a due passaggi successivi nella linea evolutiva del nostro sistema. Il primo riguarda la sostituzione della macchina formata da specchio-

<sup>1</sup> Il manoscritto di Antonio di Tuccio Manetti è riportato in Aa.Vv., *Studi sulla dolce prospettiva* di Alessandro Parronchi, Martello, Milano, 1964.

<sup>2</sup> Damish H., *L'origine de la perspective*, Flammarion, Ptaris, 1987 (ed. italiana *L'origine della prospettiva*, 1994), p. 120.

tavoletta-foro, con la macchina fotografica. Il secondo concerne la sostituzione delle tecniche analogiche con quelle digitali. Il focus chiaramente rimane nella questione fondamentale degli strumenti dell'architetto. Il modo con cui "tradizionalmente" progettiamo disegnando, descritto da Vitruvio e consolidatosi nel Rinascimento, è fondato su un meccanismo che, ponendo il suo momento centrale nella "visione", raccoglie e fa propria la possibilità di infinite varianti a una stessa forma-base, cioè presuppone il nostro modo non-univoco di percepire<sup>3</sup>. Vedere in architettura è inteso tradizionalmente come "visione", quella particolare caratteristica dello sguardo che lo mette in comunicazione con il pensiero, collegando l'occhio alla mente. In architettura si tratta di una particolare categoria della percezione legata alla visione prospettica monoculare. La visione monoculare del soggetto in architettura permette di risolvere tutte le proiezioni dello spazio su un'unica superficie piana.

Nel Cinquecento la prospettiva permise il consolidarsi della visione antropocentrica dell'architettura. Tuttavia il sistema di Brunelleschi fu ben più importante di tutte le successive variazioni stilistiche, poiché confermò la "visione" come discorso centrale nell'architettura, posizione mantenuta dal XVI secolo fino ai giorni nostri. Ciò significa che, nonostante i numerosi cambiamenti stilistici che si sono susseguiti nel tempo, fino alla fine del XX secolo, e nonostante i molti tentativi di modificare tale visione, la posizione di centralità del soggetto osservante – monoculare e antropocentrico – ha costituito sempre il termine discorsivo fondamentale dell'architettura<sup>4</sup>.

E nel concetto di visione si è sempre insinuato il dualismo di precisione/imprecisione rendendola in ogni caso il motore sia del sistema documentale (preciso) sia del sistema progettuale, che per sua natura richiede un'imprecisione su cui andare a comporre un nuovo chiaro quadro. È in questa scarsa precisione, confermata dal meccanismo monoculare, che s'insinua la necessità di un'indagine sulle "altre" forme di rappresentazione, e quindi viene confermata la necessità di sondare e utilizzare forme alternative. È questo un tema centrale.

L'invenzione della prospettiva piana, la *perspectiva artificialis*, come sistema di rappresentazione nel XV secolo permette di costruire su un mezzo bidimensionale un'immagine spaziale unitaria come appare all'uomo, priva di contraddizioni, di estensione infinita e matematicamente esatta. Inoltre permette di determinare in modo univoco un procedimento di rappresentazione di un ordine di comprensione percettivo inferiore rispetto al metodo delle proiezioni ortogonali, riducendo il grado di convenzionalità all'impiego di un luogo bidimensionale su cui attuare la rappresentazione consistente in un'immagine ottenuta con l'impiego di raggi divergenti, come avviene, appunto, nell'occhio umano.

Rappresentazione e realtà entrano così in stretto rapporto biunivoco e risulta possibile sviluppare un'arte figurativa effettivamente frutto di un processo di imitazione della natura servendosi del foglio di carta, e non solo della scultura o della letteratura (l'imitazione con finalità spirituali e morali) come era stato unicamente fino ad allora, per cui il sistema visivo riesce ad assolvere entrambe le finalità proprie della figurazione d'architettura: rappresentazione documentale e rappresentazione interpretativa.

In questo senso la classificazione che permette l'interpretazione e la restituzione di un oggetto si articola in due forme separate destinate a rappresentare i soggetti secondo un doppio codice: da un lato la rappresentazione in proiezione ortogonale riservata alla definizione del sistema proporzionale e metrico, dall'altro la rappresentazione iconica destinata a fissare i caratteri percettivi; se le viste in proiezione ortogonale servono a descrivere lo spazio dell'oggetto, le prospettive descrivono l'oggetto nel suo spazio.

La nascita della fotografia porta questo ragionamento ai suoi estremi, arrivando inizialmente a eliminare quella che era la tipica operazione di chi disegnava prospettive, che raramente figurava la realtà per quel che era, ma per quello avrebbe voluto fosse in modo da stupire l'osservatore o comunque mostrare gli eventi nel modo che egli voleva. La fotografia era destinata a fissare il reale esattamente come era, senza alcuna aggiunta né eliminazione, e qualsiasi visione epica del mondo non poteva che coincidere con quello che appariva a chi lo osservava direttamente, e questo è il significato del lavoro di fotografi come Eugène Atget.

<sup>3</sup> Il riferimento è al noto passo contenuto nel *De Architectura*: Vitruvio Pollio M., *De Architectura*, I, II, I.

<sup>4</sup> Cfr. Eisenman P., *Oltre lo sguardo – L'architettura nell'epoca dei media elettronici*, in *Domus* n. 734, gennaio 1992.

Nel saggio sulle origini della fotografia architettonica<sup>5</sup> James Ackerman nota come nel lavoro dei primi fotografi di architettura la dimensione documentale fosse quella ritenuta più affidabile e capace di risolvere nello stesso tempo problemi aperti. "Molti tra i fotografi che esercitarono quest'arte nei primi dieci anni dalla sua invenzione, sarebbero stati d'accordo con Talbot nell'affermare che 'le fotografie si fanno da sole', che sono cioè registrazioni trasparenti di tutto ciò che è nel mondo, caratteristica, questa, che colloca la fotografia in una posizione di primo piano tra le diverse espressioni della rappresentazione. [...] In effetti dal loro punto di vista, le fotografie per le stesse condizioni di ripresa, erano tutte di natura documentaria." Non per nulla, nel 1847, quando Eugene-Emmanuel Viollet-le-Duc fu incaricato del restauro della cattedrale di Notre-Dame a Parigi, ordinò grandi quantità di dagherrotipi per documentare lo stato dell'edificio, proprio in virtù dell'eccezionale capacità di questa tecnica di registrare ogni più minuto dettaglio.

E qui si apre una nuova, fondamentale parentesi, perché è chiaro come un punto centrale sia capire come il nuovo mezzo sia stato utilizzato: "Un primo punto di interesse è il modo in cui i primi fotografi, equipaggiati di questo nuovo strumento, stabilirono i metodi di rappresentazione degli edifici: con tutta probabilità, essi fecero riferimento alle tecniche di rappresentazione grafica preesistenti." E, infatti, essi utilizzano finalità e categorie del disegno di architettura. Si può affermare quindi che raramente si riesce a usare il mezzo per quello che è, ma solo per quello per cui sappiamo utilizzarlo, aprendo un lungo e faticoso percorso che dovrà condurre all'assimilazione del nuovo schema.

Una seconda importante questione da chiarire è quella dei rapporti con le tecniche preesistenti. Inizialmente il rapporto tra progetto di architettura e fotografia rimane vago. Solo più tardi, disegno e fotografia non sono più pensati come due racconti separati scritti con linguaggi diversi e per questo letti indipendentemente l'uno dall'altro, ma, all'inverso, come sintesi correlate e unitarie da leggere contemporaneamente secondo entrambe le modalità espositive, per singolo specifico elemento trattato, partendo da un medesimo "significante" e giungendo a uno stesso "significato", come ci mostra il sistema dei disegni e delle fotografie di viaggio di Le Corbusier<sup>6</sup>.

Tuttavia, nota al solito Ackerman: "Oggi la fotografia è universalmente inclusa tra le belle arti, mentre rimane fumoso il concetto del genere di immagini definibili 'documentarie'".

La traduzione in italiano di *La photomodélisation architecturale* fornisce materiale esplicito per rispondere a queste problematiche, nella direzione della chiarificazione dell'aspetto documentario della fotografia, dei suoi modi e delle sue correlazioni con la rappresentazione. Il testo descrive tutto un percorso che illustra la fotografia come tecnica base sia per una lettura interpretativa che per una documentale dell'architettura ritratta, sfruttando il concetto di esplicitazione crescente dei contenuti d'intensità luminosa di un'immagine per mezzo di elaborazioni che andiamo a operare su di essa di grado progressivamente più elevato. De Luca ne espone poi finalità, categorie, modi e infine come oggi l'architetto può connettere rapidamente figurazione (bi o tridimensionale) e fotografia. Mi si accetti una dimostrazione 'poco scientifica' ma probante di quest'ultima circostanza alla quale bisognerebbe dedicare ben altro spazio poiché costituisce un punto chiave delle vicende che ci interessano, in quanto pone la fotografia come mezzo fondamentale del rilievo metrico e non solo di una documentazione percettiva. Il software con cui l'autore ha realizzato la maggior parte delle oltre 200 illustrazioni a colori che sono presenti nel libro, nato come sistema dell'elaborazione dell'immagine fotografica per trame basi di figurazioni, è stato acquisito dal più importante produttore di sistemi CAD per integrarlo nel più diffuso software di disegno d'architettura.

La fotomodellazione architettonica descrive infine in che modo possa essere soddisfatto il requisito che già il noto e puntuale *Dictionnaire des Beaux-Arts* di Antoine Louis Millin, edito a Parigi nel 1806, registra come carattere fondamentale del rilievo di architettura contestualizzandolo nei report di viaggio: "transmettre la représentation des object dans des descriptions accompagnées de peintures ou de gravures exécutées d'après des dessins scrupoleusement exacts", confermato poco più tardi da Quatremère de Quincy nel suo *Dictionnaire Historique* in cui spiega come il rilevamento consistesse nella restituzione meticolosa di

<sup>5</sup> Ackermann J.S., *Architettura e disegno. La rappresentazione da Vitruvio a Gehry*, Electa, Milano, 2003 (I ed. *Origins, Imitations, Conventions*, MIT Press, 2002), pp. 84-107.

<sup>6</sup> Gresleri G., I cametti ritrovati, in *Le Corbusier, Voyage d'Orient*. Cametti, Electa, Milano, 1987, p. 15.

ciò che esisteva ancora al momento del monumento oggetto di studio e delle sue singole parti “dessinés et mesurés très exactement”<sup>7</sup>. Esattezza e precisione sono dunque i caratteri che le istanze illuministiche richiedevano ai rendiconti di viaggio perché potessero essere validati e dunque divenire un mezzo fondativo di nuove idee architettoniche, quelle fedelmente trascritte dal passato. Questo bisogno di fedeltà si esplicitava nello sviluppo e nell’approfondimento di tre livelli: quello dell’esercizio in situ del rilevamento, quello dell’esattezza della misurazione e quello della distinzione tra stato attuale e restauro. E questo è il materiale che ancora oggi l’architetto richiede come base di studio, di apprendimento, di documentazione, di base su cui andare a realizzare il proprio progetto. E se possiamo definire fotogrammetria in senso lato la scienza di derivare informazioni dalle immagini e in senso stretto la scienza di derivare informazioni metriche dalle immagini, è chiaro che questa non può che essere uno dei metodi fondativi per conoscere la realtà architettonica esistente. Ma di più. L’ampiezza di utilizzo della fotografia che ci mostra De Luca penso costituisca un primo fondamentale passo verso una sistematica codifica di quelle che la contemporaneità chiama *Visual Explanations*<sup>8</sup> richiamando il fatto che i processi percettivi umani organizzano gli input visivi per rendere la struttura del mondo esplicita creando immagini la cui struttura corrisponde chiaramente alle informazioni visive da trasmettere. Si tratta di uno scenario molto più vasto e inesplorato di quello attuale che mira non a una qualificazione tramite sistemi descrittivi discreti e per pochi tipi codificati ma determinando sistematicamente le primitive corrispondenti al nostro intero sistema rappresentativo e creando un mezzo descrittivo per ognuna di esse.

Vengo così al secondo momento focale della vicenda che ha portato al sistema descritto in questo volume, quello della sostituzione delle tecniche analogiche con quelle digitali.

L’ipotesi di lavoro che riguarda il “misura e disegna” nel campo digitale, e che ne fornisce il valore aggiunto effettivo, è quella della ricomposizione in quanto trascrizione, calco, copia fedele da cui derivare forme rappresentative semplificate o parziali, piuttosto che interpretazione o simbolizzazione, i soli obiettivi possibili con tecniche analogiche: approccio che offre la possibilità di fruizione digitale della rappresentazione con tutti gli attributi cromatici, formali, dimensionali dell’architettura reale.

Si tratta di un problema concettualmente semplice – la replica di un oggetto fedelmente a se stesso – ma senza una soluzione effettiva per l’architetto prima dell’avvento del digitale.

Si pensi solo a quanto avvenuto in fotogrammetria, cioè in quell’insieme di procedure che utilizzano immagini fotografiche di un oggetto per ricavarne le dimensioni, appunto il “focus” del presente volume.

La fotogrammetria è una tecnica di rilievo le cui origini sono antiche almeno quanto l’invenzione della fotografia e la cui teoria è stata sviluppata perfino prima della stessa invenzione della fotografia, come pura geometria proiettiva. Se il metodo analogico concepito da Johan Heinrich Lambert e sperimentato con la fotografia per la prima volta dall’architetto tedesco Maydenbauer nel 1858, ma anche il successivo sistema analitico che Carl Pulfric mette a punto costruendo nel 1901, presso le officine Karl Zeiss di Jena, il primo stereocomparatore, restano sostanzialmente tecniche criptiche nelle mani di pochi esperti, il digitale per la prima volta consente di fruire di una tecnologia ormai in equilibrio maturo saturo per la tipologia di lavoro in oggetto, a un livello ormai definibile come semi-professionale o professionale e non più di laboratorio di ricerca, con conseguente semplificazione delle procedure e loro ripetizione.

I vantaggi che fornisce la fotogrammetria digitale, che può fruire anche di nuove metodiche basate su modellatori tridimensionali capaci di supportare la restituzione di organismi complessi, sono evidenti: (i) le immagini contengono tutte le informazioni per la restituzione di modelli 3D (geometria e tessitura); (ii) le operazioni di ripresa fotografica sono generalmente più semplici e rapide rispetto alla misurazione diretta di un oggetto; (iii) il rilievo mediante le immagini evita eventuali possibilità di danneggiamento dell’oggetto; (iv) un oggetto può essere ricostruito mediante immagini di archivio anche se non più disponibile o danneggiato; (v) strumenti fotogrammetrici (camere e software) sono generalmente meno costosi (è possibile utilizzare

<sup>7</sup> Quatremère de Quincy A.C., *Dictionnaire Historique...*, Paris, 1832, 2 voll., v. restauration.

<sup>8</sup> DeCarlo D., Stone M., *Visual explanation*, in *Proceedings of the 8th International Symposium on Non-Photorealistic Animation and Rendering (NPAR 2010)*, ACM Press, New York, 2010, pp. 173-178.

<sup>9</sup> Cfr. Remondino F., Manfredini A.M., *Modellazione 3D da immagini – Pipeline fotogrammetrica*, in B. Benedetti, M. Gaiani, F. Remondino, *Mesurés, dessinés et décrits avec la plus grande exactitude*, Edizioni della Scuola Normale Superiore, Pisa, 2010, p. 166

camere digitali commerciali, oltre che telefoni cellulari), portatili e semplici da utilizzare; (vi) i recenti sviluppi nella modellazione automatica di superfici mediante le fotografie consentono di ottenere risultati paragonabili a quelli ottenuti mediante l'uso di sensori attivi, come i laser scanner<sup>9</sup>.

Tuttavia a un'ampia diffusione dei sistemi corrispondeva, fino ad oggi, una limitata disponibilità di informazioni e letteratura relativa alle loro caratteristiche effettive e alle metodologie operative. Al fine di ottenere il massimo vantaggio dai sistemi che rilevano immagini 2D e 3D, è, invece, necessario conoscere e comprendere non solo i vantaggi, ma anche i loro limiti servendosi di un metodo sistematico per definire le prestazioni complessive del sistema e le procedure che permettono di arrivare a quel risultato.

Gli argomenti affrontati da De Luca si pongono proprio come il tentativo di descrivere il processo di produzione e di rappresentazione dell'architettura esistente nell'era digitale dal punto di vista del progettista e non dello sviluppatore o del ricercatore, cioè oltre la semplice prospettiva del manuale dei comandi del software o dello scritto di matematica applicata all'informatica grafica.

In quest'ottica il testo riporta metodo e procedure operative esposti in forma piana tenendo al centro non lo strumento o gli algoritmi ma l'oggetto da rappresentare e i suoi caratteri, cioè l'argomento dell'architetto. E fa ciò agendo intrinsecamente sulla materia e sfruttando quello che è il vero filo conduttore che guida la storia delle proiezioni centrali a quadro piano da Brunelleschi fino alla computer vision: l'utilizzo del meccanismo del modello di proiezione a semplice punto di vista, un sistema di semplice riutilizzo per le applicazioni di computer grafica e computer vision.

Infine l'ultimo tema di cui desidero occuparmi in queste note, e che ha attinenza con i contenuti del libro, è quello dell'ibridazione fra sistemi rappresentativi differenti.

Fotografie e disegni sono sempre vissuti come sistemi separati nella mente e nell'insieme delle figurazioni dell'architetto, tanto è vero che gli apparati normativi presuppongono l'esistenza di tavole con i disegni e, staccate, di tavole (o album) con fotografie, e la fotografia raramente è insegnata nelle università italiane entro i corsi di Scienza della rappresentazione come parte integrante.

L'uso presentato di disegno e fotografia propone un'arte di combinarsi con l'altro da sé che inaugura per la rappresentazione l'acquisizione di un denso tramite rispetto alla sua dimensione sintagmatica, vale a dire associativa nei confronti di un elemento del contesto. È un'attitudine che ha qualcosa della passione, un'illuminazione che non teme di essere misurata con il metro del surrealismo. E i sistemi che si mostrano capaci di radicarsi, di articolarsi dando luogo alle figure dell'impurità e della deviazione sono in grado non solo di fondare la propria evidenza ma di darci segno di quella dimensione sedimentaria, cumulativa, trasformativa, che, in realtà, è il vero patrimonio degli architetti e del progetto di architettura e che spesso l'assenza di confronto effettivo con il reale fa dimenticare.

Per questo il lavoro di Livio De Luca traccia un importante percorso: ora che i media sono cambiati e che il digitale ha scardinato il meccanismo figurativo in atto dal Medioevo ai giorni nostri, proponendo non solo una nuova e diversa imitazione, ma anche differenti risultati, convenzioni, e condizioni che ne determinano l'uso, in definitiva nuove condizioni corrispondenti ad altrettante possibilità metodologiche per le tecniche di disegno del progetto. La fotomodellazione architettonica fornisce solide basi su ciò che andiamo a immettere nel sistema rappresentativo, cogliendone l'essenza e mostrandone i significati.

Marco Gaiani

## Presentazione

*Si riporta di seguito la presentazione di Luc Robert della versione francese di questo libro: La photomodélisation architecturale. Relevé, modélisation, représentation d'édifices à partir de photographies edito da Eyrolles (giugno 2009)*

L'architecture fait partie de ces domaines touchés de plein fouet par la révolution numérique. Aujourd'hui, un projet architectural peut être entièrement conçu en numérique, depuis le premier trait de crayon (ou de souris) d'une esquisse jusqu'à la simulation visuelle du projet: plans, vues perspectives, visualisation (en dessin stylisé ou en images photoréalistes), en passant par la simulation numérique de résistance des matériaux! Et je ne parle pas des possibilités nouvelles qu'offre l'outil informatique, comme la représentation d'un projet en images animées ou en 3D interactive, ou l'établissement d'un devis en temps réel pendant la phase de conception. Même des maquettes physiques démontables peuvent être produites automatiquement en un clic, grâce à l'impression 3D.

Bien évidemment, l'adoption des ces nouveaux outils ne se fait pas en un claquement de doigts, mais on peut être certain que lorsque la "génération papier" sera à la retraite, tout le monde utilisera les outils de conception numériques.

La photographie a toujours été un outil important dans la panoplie des architectes. Que ce soit pour enregistrer les détails du lieu de construction avant de se lancer dans la conception, réaliser une simulation par photomontage – contractuelle dans les permis de construire –, enregistrer certaines informations importantes au cours de la construction, ou se constituer un album avec leurs réalisations, les photographies sont utiles dans toutes les phases d'un projet architectural. C'est encore plus vrai depuis qu'elles sont numériques: elles sont gratuites, peuvent être partagées, éditées, archivées en quelques clics. Et maintenant que leurs outils sont également numériques, les architectes peuvent non seulement stocker sur le même support toutes les données d'un même projet (photos, dessins, contrats), mais aussi créer des liens entre ces documents, les combiner, les publier, les archiver, les distribuer à l'infini.

Tout cela est le bénéfice "standard" que chacun retire du passage au numérique. Ce qui est moins standard, c'est que l'appareil photo n'est plus une simple machine à produire des images rectangulaires. Il est maintenant devenu un instrument de mesure extrêmement puissant, précis, et infiniment pratique. Une espèce de mètre ruban qui permet de prendre autant de mesures que l'on souhaite sans bouger de son bureau, un décimètre capable de relever avec précision toutes les dimensions d'un édifice sans avoir à grimper sur une échelle et risquer de se rompre le cou, un moyen de mesurer la distribution de l'intensité lumineuse en un point donné pour analyser l'ensoleillement ou les besoins en éclairage d'un bâtiment.

La photogrammétrie – l'utilisation de photographies à des fins de mesure – n'est pas une science nouvelle. Ce qui est nouveau, c'est qu'elle soit accessible au plus grand nombre. Les perspectives ouvertes par l'intégration de cette technologie dans l'éventail des outils numériques sont vertigineuses, comme l'explique Livio De Luca dans son livre. Il nous décrit les outils les plus récents que les architectes avides de nouvelles technologies ont commencé à adopter, et qui seront très certainement utilisés au quotidien par la majorité d'entre eux d'ici quelques années: tout est question de temps et de facilité d'utilisation. Les progrès

fulgurants de la vision par ordinateur ces deux dernières décennies, aidés en cela par l'augmentation de la puissance de calcul des ordinateurs, vont faciliter cette transition, en automatisant toujours plus les processus mis en jeu dans la photomodélisation, abaissant ainsi les quelques barrières techniques qui pourraient effrayer les moins audacieux.

D'une certaine manière, Livio De Luca est un visionnaire, qui a fait siennes ces techniques encore en pleine maturation, et dont l'utilisation est naissante chez les architectes. Je ne serais pas surpris que cet ouvrage fasse rapidement référence en la matière, et devienne une «bible» qui accompagne tout architecte désireux d'utiliser la photographie à des fins de mesure ou de modélisation. Le mélange extrêmement dense en connaissances d'architecture, de géométrie, de photographie, de modes opératoires et d'utilisation des logiciels est particulièrement complet et détaillé, mais aussi très pratique et concret. Sans aucun doute, Livio De Luca maîtrise parfaitement son art. Il accomplit un tour de force en nous expliquant de manière très simple et pédagogique des phénomènes géométriques parfois complexes. Il s'appuie notamment sur des illustrations d'une clarté extraordinaire, et à l'esthétique particulièrement soignée et réussie. Tout cela contribue à rendre cet ouvrage très technique particulièrement agréable à lire, en linéaire ou en butinant au gré de son envie.

Bonne lecture!

Luc Robert

*Fondateur et directeur technique de Realviz  
Senior Development Manager chez Autodesk*

## **Parte I**

# **Teoria e metodologia**

Questa prima parte è dedicata alle nozioni relative alle differenti fasi di un processo di fotomodellazione applicato allo studio dell'edificio: la ripresa fotografica, la calibrazione e l'orientamento delle camere, la presa di misure e la restituzione bidimensionale, la ricostruzione tridimensionale e la rappresentazione basata sull'immagine.

## Capitolo I

# Introduzione alla fotomodellazione in architettura

*Sin dalla sua invenzione, la fotografia è sempre stata considerata come una soluzione per la "registrazione" del reale. Acquisire delle informazioni sullo spazio fisico è una esigenza specifica delle discipline che si interessano alla documentazione, alla conservazione e alla valorizzazione del patrimonio architettonico.*

*La fotografia è in effetti un supporto privilegiato per condurre l'analisi delle superfici e per interpretare la forma, le proporzioni e le misure degli elementi che compongono l'oggetto architettonico. Le tecniche di restituzione fotogrammetrica basate sulla corrispondenza geometrica tra una proiezione prospettica e una ortografia hanno permesso, nel corso del secolo scorso, la nascita di una stretta relazione tra lo spazio della fotografia e quello della rappresentazione.*

*Oggi, grazie al progresso delle tecnologie informatiche nei campi della fotogrammetria, della modellazione geometrica e della visione computazionale, questa relazione acquisisce un'altra dimensione: lo spazio della rappresentazione diventa definitivamente tridimensionale e la fotografia rappresenta una delle possibili viste di questo spazio.*

*Questo avvicinamento tra una codifica euclidea e una proiettiva dello stesso spazio obbliga oggi a riflettere attorno alla definizione di un nuovo approccio per l'osservazione, la comprensione e la restituzione grafica delle forme architettoniche.*

## La digitalizzazione del patrimonio costruito

Le nuove tecnologie offrono al mondo culturale possibilità di creazione e di condivisione di conoscenze. La digitalizzazione del patrimonio contribuisce allo sviluppo della società dell'informazione oltre che alla democratizzazione dell'accesso alla cultura. In questo contesto, il modello digitale 3D si afferma poco a poco come un supporto efficace per documentare lo stato attuale di edifici storici, per fornire risorse ai ricercatori che ne studiano l'evoluzione, oltre che per elaborare dei supporti di diffusione e di valorizzazione destinati al "grande pubblico".

Grazie all'informatica, l'acquisizione, il trattamento e la resa di informazioni dimensionali hanno conosciuto, in questi ultimi anni, un progresso significativo. Gli strumenti e le tecniche di rilievo e rappresentazione attuali danno accesso a dei risultati fino a oggi inimmaginabili in termini di precisione, di velocità, d'eshaustività e di realismo.

Fra questi nuovi strumenti (a volte molto sofisticati e costosi), la fotomodellazione fa esclusivamente riferimento all'utilizzo di fotografie per condurre la ricostruzione tridimensionale d'oggetti reali. La fotomodellazione introduce, in effetti, un ambiente di lavoro che permette la restituzione tridimensionale di edifici basandosi sull'integrazione globale e coerente delle fasi di rilievo, modellazione e rappresentazione. Ciò consiste nell'estrarre direttamente dalle fotografie tutte le informazioni necessarie a queste differenti fasi: coordinate, distanze, punti caratteristici per la restituzione bidimensionale di piante e prospetti; vertici e profili per la ricostruzione tridimensionale degli elementi; texture per arricchire visivamente i volumi creati. Si tratta quindi della possibilità, a partire da semplici fotografie, di arrivare a elaborare delle rappresentazioni tridimensionali realistiche nelle quali le texture, lontane dall'essere un semplice escamotage per la simulazione dell'apparenza visiva delle superfici, costituiscono un archivio di informazioni relative allo stato di conservazione dei materiali. Nonostante si disponga oggi di nuovi strumenti, le esigenze proprie ai campi della documentazione, della conservazione e della valorizzazione dell'architettura patrimoniale restano, imponendo l'elaborazione di rappresentazioni intelligibili.

Nell'analisi del patrimonio costruito, l'obiettivo della rappresentazione è di condurre una lettura semantica dei dati rilevati grazie a una interpretazione geometrica della forma che essi descrivono. In questo senso, mettere in coerenza queste tecniche emergenti in rapporto ai codici della rappresentazione architettonica costituisce un problema importante per chiunque voglia applicare gli strumenti digitali allo studio dell'architettura. Il rilievo di un edificio è in effetti un momento in cui, grazie all'osservazione della forma, si restituiscono i caratteri che compongono il costruito attraverso un processo che si serve dell'atto di "disegnare" come mezzo per "comprendere" l'architettura.

Applicare la fotomodellazione alla ricostruzione 3D di edifici obbliga l'utilizzatore a uno sforzo di interpretazione che coincide necessariamente con la comprensione delle forme architettoniche che lo compongono. Questo corrisponde a una prassi in perfetta continuità logica con la storia della rappresentazione architettonica e che non limita il rilevamento architettonico al semplice controllo di macchine e procedimenti tecnici "per prendere punti".

Bisogna innanzitutto iniziare col capire quali siano i principi geometrici che ci permettono di misurare, di modellare e di restituire in tre dimensioni un oggetto reale a partire da fotografie. Tutto si spiega attraverso una relazione proiettiva: una fotografia è la proiezione di una scena (spazio in tre dimensioni) su di un piano (spazio in due dimensioni). È allora importante tracciare una breve storia dei metodi di rappresentazione dello spazio che, dall'introduzione della prospettiva, sono arrivati alla fotomodellazione.

## Dalla prospettiva alla fotomodellazione

Esiste una forte relazione tra la prospettiva e la misurazione. In effetti, se le tecniche di rilevamento utilizzate nel Medioevo sono implicate nelle origini della prospettiva, dopo la sua invenzione quest'ultima è stata rapidamente impiegata come strumento di misura.

Nel XV secolo, Filippo Brunelleschi introduce un procedimento geometrico che permettesse di dipingere con precisione una porzione osservata di spazio reale. Nel suo libro *De pictura*, proponeva una rappresentazione della prospettiva a un punto di fuga centrale per simulare la visione umana. Si trattava della formalizzazione del passaggio tra la prospettiva "naturalis" (ottica) e "artificialis" (geometria).

Dopo la formulazione di questo metodo, una prima "macchina per disegnare" fu concepita da Albrecht Dürer: una griglia regolare, ottenuta da una rete di fili, serviva a diminuire la complessità del disegno basandosi su una visione centrale monoculare, materializzata da un mirino (fig. 1). È probabilmente a partire da questo "prospettografo" che l'immagine mentale del piano prospettico e della visione piramidale è venuta alla luce.



Figura 1. Il prospettografo di Albrecht Dürer

A questo proposito, la definizione di prospettiva data da Leonardo da Vinci è interessante: "la prospettiva non è nient'altro che vedere un oggetto dietro un vetro piano e ben trasparente, la cui superficie contiene tutte le cose che sono dietro: esse possono essere riportate al punto dell'occhio tramite delle piramidi, e queste piramidi tagliano il vetro mensionato"<sup>1</sup>.

Altri principi, come il raggio visivo o la linea di fuga, già presenti nelle prime formulazioni del procedimento, furono in seguito ripresi da Jean-Henri Lambert per sviluppare le regole inverse della geometria proiettiva che consistono nel determinare la posizione dell'osservatore, nel trovare la linea d'orizzonte e nello stimare l'orientamento degli oggetti contenuti in un quadro. Lambert capì che i punti di fuga potevano essere sfruttati come supporto geometrico per l'inversione della prospettiva.

<sup>1</sup> Leonardo da Vinci, *Trattato della pittura*, 1490 ca.

Come si potrà capire nel seguito di questo libro, Lambert aveva già inventato quella che oggi viene chiamata, in visione computazionale e in fotogrammetria, la *calibrazione della camera* aprendo il cammino all'emergere della geometria proiettiva, che unisce l'approccio puramente geometrico con il metodo delle coordinate. La geometria proiettiva, studiata da matematici come Pascal o Desargues nel corso del XVII secolo e formalizzata chiaramente dal trattato di Jean Victor Poncelet nel 1822, enuncia le nozioni intuitive di prospettiva e studia le proprietà delle figure invariate per proiezione.

Più tardi, Felix Klein chiarirà il legame tra geometria proiettiva e geometria euclidea: "La geometria proiettiva è nata quando si è cominciato a considerare come identiche la figura primitiva e tutte quelle da essa deducibili per proiezione e a enunciare le proprietà proiettive in modo da mettere in evidenza la loro indipendenza nei confronti delle modificazioni apportate dalla proiezione"<sup>2</sup>.

Ma, al di là dei progressi realizzati in geometria, è anche importante guardare parallelamente, sulla stessa linea temporale, quanto avviene attorno allo sviluppo delle macchine per catturare la realtà.

Nel 1515, Leonardo da Vinci spiegava: "Lasciando le immagini degli oggetti illuminati penetrare da un piccolo foro in una camera molto scura, intercetterai queste immagini su un foglio bianco posizionato in questa camera [...] ma questi saranno più piccoli e capovolti"<sup>3</sup> (fig. 2). Questa "camera oscura" semplice, chiamata stenopeo, progressivamente perfezionata dall'aggiunta di lenti, poi di un diaframma e di uno specchio inclinato a 45°, è l'antenata del reflex. Rimpiazzando lo schermo con una superficie fotosensibile in grado di "fissare" la luce, essa sarà alla base dell'invenzione della fotografia nel 1839, per merito di Niépce, Daguerre e Talbot.

Dieci anni più tardi, Aimé Laussedat immagina di utilizzare le prospettive disegnate come dei documenti metrici a partire dai quali è possibile ricostruire i fasci prospettici formati dall'insieme di raggi visivi che partono da tutti i punti di una costruzione e convergono verso l'occhio dell'osservatore. Utilizzando la camera chiara di Wollaston, che permette grazie a un prisma a riflessione totale di vedere sullo stesso piano le immagini di oggetti situati in differenti regioni dello spazio, Laussedat migliora la qualità metrica delle prospettive disegnate.

Le immagini generate tramite la camera chiara offrono una registrazione della realtà, che permette anche la registrazione fotografica delle prospettive. Laussedat chiamerà il suo metodo "Metrofotografia", decretando così la nascita della fotogrammetria; egli fu infatti il primo a individuare le potenzialità della fotografia per

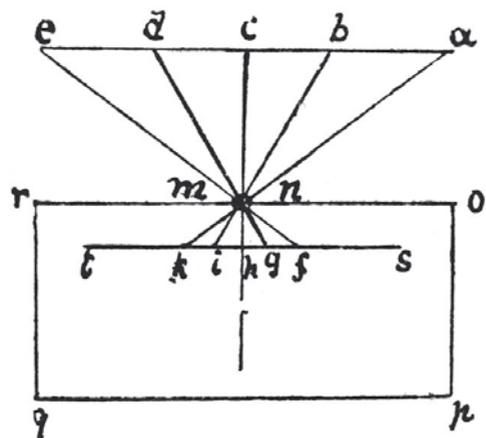


Figura 2. La "camera oscura" di Leonardo da Vinci

<sup>2</sup> Da Granger G.G., *La Pensée de l'espace*, Odile Jacob, Paris, 1999, p. 71.

<sup>3</sup> Leonardo da Vinci, *Codice Atlantico*, 1515.

l'estrazione di informazioni a carattere spaziale. L'idea fondamentale offerta da questa nuova disciplina, i cui aspetti algebrici sono formalizzati dal matematico Kruppa, è semplice: su di una fotografia, la scena tridimensionale è proiettata in prospettiva su di un piano a due dimensioni. Di conseguenza, un qualsiasi punto dell'oggetto fotografato, indipendentemente dalla sua posizione nello spazio, sarà sempre e comunque posizionato lungo il raggio che partendo dal centro ottico della macchina fotografica si prolunga all'infinito.

Tuttavia, se lo stesso oggetto è visibile su due fotografie distinte, questo punto si troverà allora sull'intersezione dei due raggi corrispondenti. Questo procedimento – conosciuto con il nome di *triangolazione* – permette, a partire da due foto (di posizione e orientamento relativi conosciuti), di ritrovare un qualsiasi punto nello spazio, a condizione che questo sia presente in entrambe le fotografie.

A partire da questi principi, il vero progresso in fotogrammetria si manifesterà all'inizio del XX secolo con quello che Jean-Paul Saint-Aubin definirà come “le mariage mécanique de la photogrammétrie et de la stéréoscopie”<sup>4</sup>, il matrimonio meccanico della fotogrammetria e della stereoscopia, cioè quando l'austriaco Von Orel costruisce il primo “restitutore” analogico che permette di determinare la dimensione e la forma dell'oggetto due volte fotografato. Grazie all'osservazione stereoscopica di due fotografie, questo apparecchio permette di misurare, direttamente nello spazio, la posizione di un punto di riferimento.

Da una trentina d'anni, la fotogrammetria – come quasi tutti gli altri sistemi di misura – ha rotto con l'universo analogico in quanto travolta dalla rivoluzione elettronica prima e informatica poi. Dopo circa un secolo di evoluzione tecnologica, è interessante notare come i progressi in visione computazionale (computer vision), un ramo particolarmente attivo dell'informatica grafica, siano oggi dovuti all'incontro tra i metodi di calcolo algoritmico più recenti e i principi matematici introdotti da Poncelet. In effetti una macchina fotografica o una videocamera, e in generale tutte le macchine concepite per catturare la realtà, restano da un punto di vista geometrico delle semplici macchine proiettive, le stesse descritte nei trattati del XIX secolo.

Questo è il punto di vista di Olivier Faugeras, i cui lavori di ricerca svolti all'INRIA (Institut national de recherche en informatique et automatique) di Sophia Antipolis con Luc Robert saranno determinanti nel campo della visione computazionale. Questa disciplina ha come obiettivo quello di far “capire” le immagini ai computer: permette di dedurre, a partire dalle immagini, la struttura geometrica in tre dimensioni della scena fotografata o filmata in due dimensioni, basandosi sulle relazioni tra gli oggetti della scena e le loro proiezioni sulle immagini sfruttando lo spostamento della camera (nel senso generico del termine) attorno agli oggetti.

Il titolo di un rapporto di ricerca dell'INRIA del 1992 offre una perfetta idea del modo in cui le procedure messe a punto dai due ricercatori sfruttino la conoscenza dello spazio prospettico per condurre le iterazioni algoritmiche necessarie alla deduzione del modello geometrico delle camere utilizzate per fotografare o filmare una scena: *What can two images tell us about a third one?* Cosa possono dirci due immagini a proposito di una terza?

<sup>4</sup> Saint-Aubin J.P., *Le relevé et la représentation de l'architecture*, Inventaire Général, E.L.P., 1992.

Gli autori introducono la nozione di “geometria di immagini multiple”: le leggi che governano la relazione tra una scena 3D e le sue possibili proiezioni 2D. Le esperienze seguenti condotte all'Università di Berkley da Paul Ernest Debevec sfruttano inoltre la conoscenza a priori sulle invarianti geometriche di alcune primitive (parallelismo, ortogonalità, complanarità, etc.) per dedurre la posizione e l'orientamento di oggetti a partire da una sola immagine. Il ricercatore americano sviluppa un sistema per modellare e restituire delle scene architettoniche a partire da fotografie. Quello delle scene architettoniche è un caso particolarmente interessante per quanto riguarda la modellazione, poiché la loro geometria è in generale molto strutturata. L'utilizzatore ricostruisce un modello 3D della scena posizionando sull'immagine una collezione di primitive geometriche come parallelepipedi, cilindri e piramidi.

Questa prassi consiste nella possibilità di ricostruire la geometria di una scena tridimensionale non soltanto indicando le dimensioni, la posizione e l'orientamento di primitive geometriche – come è solito ritrovare nei software comuni di modellazione solida – bensì deducendo questi parametri sovrapponendo le componenti caratteristiche delle primitive utilizzate (vertici, lati, facce) direttamente sulle immagini basandosi sulle conoscenze relative alla loro proiezione nello spazio.

Risultato dell'integrazione di principi provenienti dai campi della visione computazionale, della fotogrammetria e della modellazione geometrica, l'emergenza delle tecniche dette di *Image-Based Modeling and Rendering*, modellazione e resa basate sull'immagine (da cui fotomodellazione), costituisce l'ultima tappa di questo lungo percorso evolutivo. La relazione tra un oggetto nello spazio e la sua proiezione su di un piano immagine si arricchisce di una nuova dimensione: la possibilità di proiettare sulla geometria ricostruita le texture direttamente estratte dalle fotografie. La macchina fotografica da macchina per “catturare la realtà” diventa allora macchina per “proiettare la realtà”.

## Un processo in più fasi

In fotomodellazione l'elaborazione del modello tridimensionale di un edificio passa dall'espressione geometrica degli oggetti che lo compongono alla restituzione dell'aspetto superficiale delle sue differenti parti. Ciò corrisponde a un processo in tre fasi d'elaborazione interdipendenti: l'acquisizione delle coordinate spaziali, la ricostruzione tridimensionale e la restituzione dell'apparenza visiva.

L'interdipendenza di queste tre fasi risulta inizialmente dalla scelta delle informazioni (coordinate nello spazio) che sono ricavate dalle fotografie per condurre le operazioni di ricostruzione 3D in funzione delle procedure di modellazione geometrica delle superfici e dei volumi. In seguito, essa dipende dal grado di approssimazione geometrica scelto in fase di modellazione, oltre che dalla strategia adottata per l'estrazione delle texture. In effetti nella maggior parte delle applicazioni, il legame tra la fase di misura, di modellazione e di estrazione delle texture è stabilito sin dalle prime operazioni di rilievo fotografico al fine di assicurare sul terreno l'acquisizione dell'insieme di informazioni necessarie alla rappresentazione dell'oggetto.

## L'acquisizione delle coordinate spaziali

La fase di acquisizione delle coordinate spaziali consiste nel determinare le caratteristiche metriche della porzione di spazio fotografata. Generalmente, per passare da una rappresentazione bidimensionale (foto) a una tridimensionale (modello) della scena sono necessarie almeno due immagini.

A partire dalle differenti proiezioni note di un elemento e dalla conoscenza dei parametri relativi alle macchine fotografiche utilizzate (dedotti o conosciuti a priori), si possono determinare la posizione e l'orientamento nello spazio delle stesse al momento dello scatto. Nel corso di questa fase si selezionano dei punti su un'immagine o li si associano ai punti omologhi presenti in altre immagini della stessa scena. Una volta raggiunto un numero sufficiente di corrispondenze, la procedura detta *calibrazione e orientamento delle camere* permette di stabilire le relazioni proiettive tra i centri ottici delle macchine fotografiche (o più genericamente delle camere), i punti sulle immagini e le coordinate 3D nello spazio. A partire dalla deduzione delle proprietà proiettive, delle posizioni e degli orientamenti di ogni fotografia, questa procedura determina la posizione nello spazio dei punti selezionati sulle immagini.

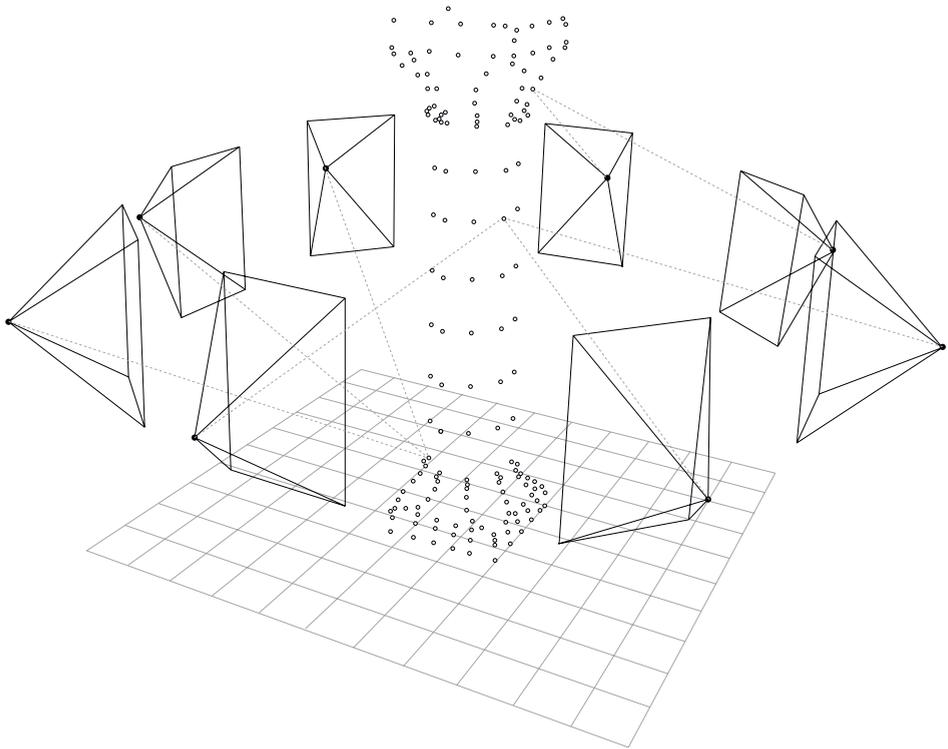


Figura 3. Acquisizione di coordinate spaziali

Una volta calcolata una prima soluzione di calibrazione è possibile aggiungere altre corrispondenze (punti omologhi) nel fine duplice di migliorare il calcolo dei parametri delle camere e di estrarre i punti caratteristici delle forme necessari alla loro ricostruzione nello spazio. Una volta stabilite le relazioni geometriche tra i centri ottici delle camere, le loro proprietà proiettive e la posizione dei punti nello spazio, l'impalcatura della geometria della scena è raffigurata in un unico riferimento spaziale (fig. 3).

Una volta introdotte nel sistema le informazioni dimensionali (misure di riferimento prese sul campo in fase di rilievo), è possibile ricavare diversi tipi di misure (distanze, angoli, quote, etc.) direttamente sulle fotografie.

### La ricostruzione tridimensionale

Una volta definiti dei punti nello spazio, è possibile costruire una rappresentazione tridimensionale che raggruppi l'insieme di questi punti e che esprima la natura geometrica degli elementi della scena fotografata (fig. 4).

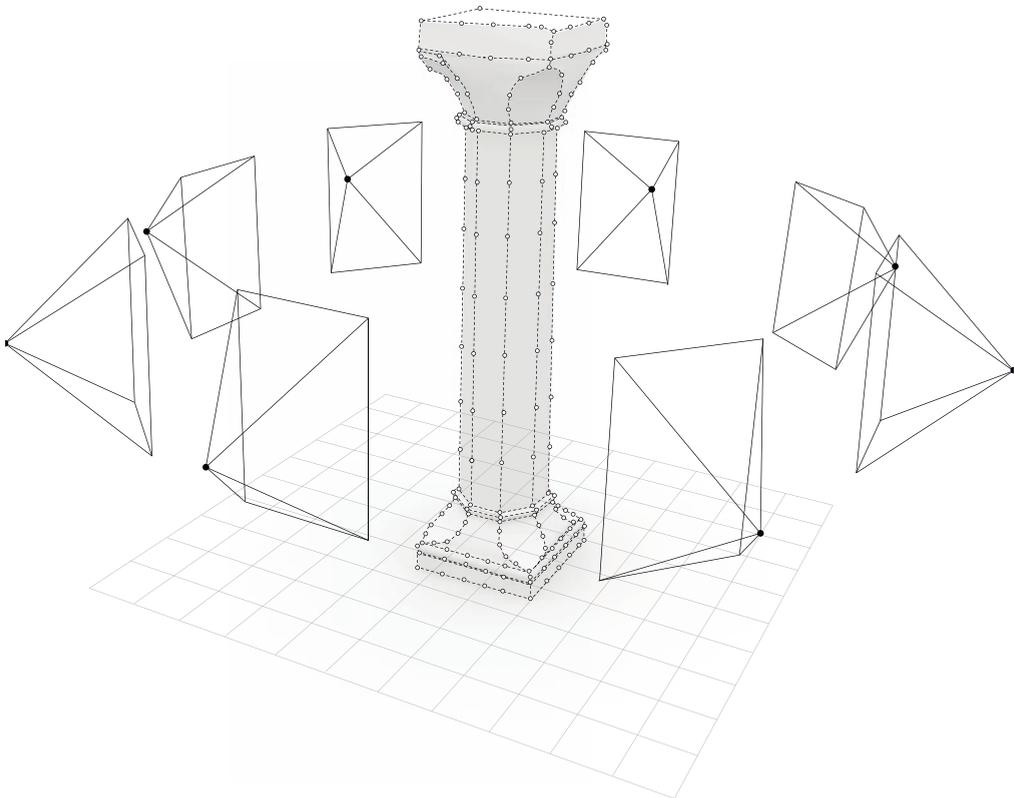


Figura 4. Ricostruzione tridimensionale

Questa seconda fase consiste in una vera e propria modellazione geometrica che può essere basata sull'aggiustamento (posizionamento e deformazione) di primitive geometriche su delle funzioni di estrusione di facce poligonali o su delle procedure più complesse di generazione di superfici parametriche a partire da profili.

## La restituzione dell'apparenza visiva

In questa fase ci si interessa all'arricchimento della geometria generata nella fase di ricostruzione attraverso degli attributi capaci di descrivere gli aspetti di superficie. Si tratta principalmente di associare al modello 3D, le texture acquisite al momento della ripresa fotografica (fig. 5).

Sfruttando le relazioni proiettive stabilite in fase di calibrazione tra i centri ottici delle camere, i poligoni creati nello spazio e i piani immagine (rappresentazione delle fotografie nello spazio), questa operazione permette di estrarre delle porzioni di immagine che sono in seguito proiettate sul modello 3D a partire da una o più foto simultaneamente.

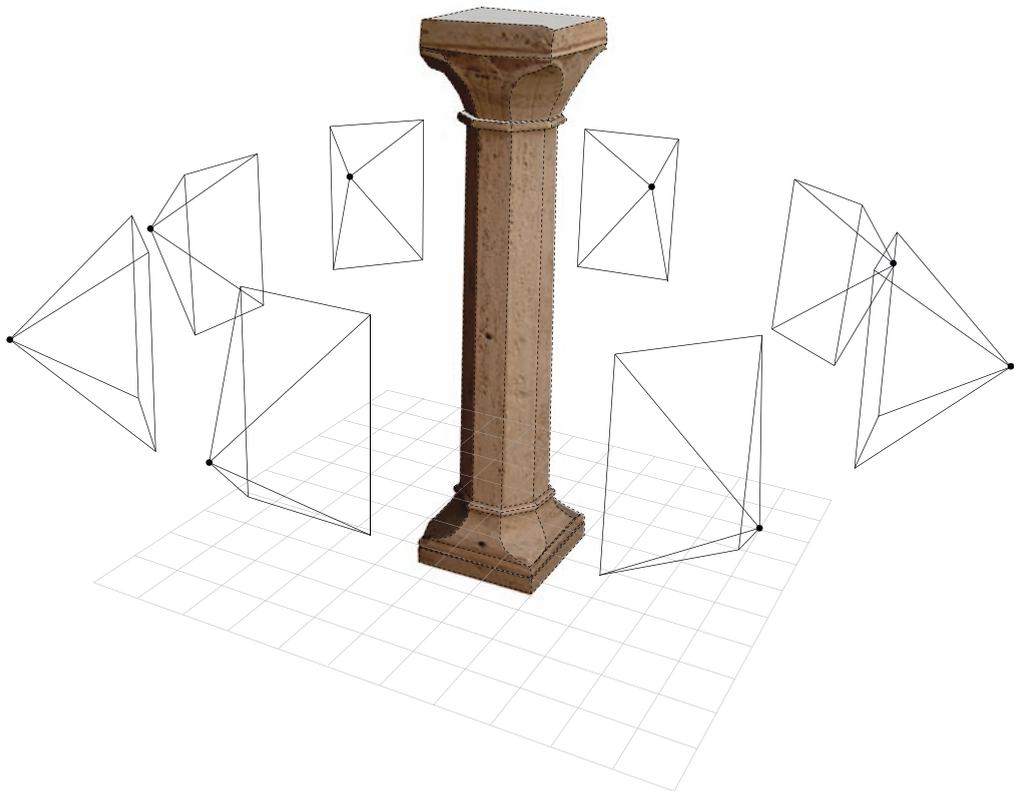


Figura 5. Restituzione dell'apparenza visiva

## Potenzialità e limiti della fotomodellazione

La fotografia è logicamente una soluzione per la *registrazione del reale*. La quantità di informazione che è possibile registrare in una campagna di rilievo è enorme. In effetti per ogni fotografia una macchina fotografica a uso amatoriale permette oggi di registrare fino a 12 milioni di pixel. Una volta terminata la procedura di calibrazione e orientamento delle camere, tutti i pixel contenuti in ogni fotografia possono potenzialmente essere trasformati in coordinate nello spazio. Malgrado ciò, bisogna sempre tenere conto del fatto che, eccetto nel caso di una correlazione automatica, l'estrazione di queste coordinate resta un'operazione interattiva e quindi spesso molto lunga. Questo limite, dovuto al fatto che la fotomodellazione è una tecnica di rilievo indiretto, è al tempo stesso un vantaggio: la fotografia è un documento che garantisce la possibilità di ricavare delle misure complementari anche in un secondo momento. In effetti l'informazione contenuta nelle fotografie può essere estratta in maniera più o meno dettagliata in funzione della finalità della restituzione e della complessità dell'oggetto da ricostruire. Logicamente è di fondamentale importanza prendere in considerazione la possibilità di associare alla ripresa fotografica il rilievo (anche manuale) di alcuni punti o distanze di riferimento. Queste informazioni complementari potranno in seguito essere sfruttate per introdurre una unità di misura nella scena fotomodellata, per definire dei vincoli geometrici in fase di calibrazione e di orientamento delle camere e infine per verificare i risultati. La qualità della calibrazione e dell'orientamento delle camere – e quindi la misura risultante delle coordinate nello spazio – dipende essenzialmente dalla risoluzione spaziale dei pixel dell'immagine nella scena 3D.

Come si vedrà nel capitolo seguente, questo aspetto impone la presa in conto di preoccupazioni di ordine metodologico in fase di rilievo fotografico. Un grande vantaggio della fotomodellazione consiste nella *flessibilità in fase d'acquisizione*. L'acquisizione fotografica permette uno spostamento facile e rapido attorno all'oggetto da rilevare. Rispetto ai metodi di rilievo topografico classico questo aspetto aumenta in maniera considerevole la quantità di informazioni spaziali registrabili sul sito.

Per quanto riguarda la *varietà di informazioni acquisite*, è evidente che tutti i dati registrati grazie a una macchina fotografica presentino le qualità d'esaustività e di veridicità proprie alla fotografia. Si tratta di informazioni estremamente importanti per la documentazione dello stato attuale di un edificio, soprattutto per quanto riguarda l'analisi dei materiali e del loro stato di conservazione. Per quanto concerne la fase di *ricostruzione 3D*, un limite importante della fotomodellazione riguarda la difficoltà nel riprodurre le forme che non presentano delle discontinuità evidenti, per esempio le sculture e i bassorilievi. Questo problema (che a volte è possibile risolvere adottando specifiche soluzioni in fase di ripresa fotografica) è principalmente dovuto alla difficoltà di selezionare sulle fotografie degli insiemi di punti che descrivono la geometria di superfici continue.

Malgrado questi limiti, il progresso continuo nella produzione di macchine fotografiche digitali (e soprattutto l'aumento incalzante della risoluzione dei captori) permette oggi di considerare la fotomodellazione come una soluzione economica ed efficace per molteplici applicazioni che riguardano l'analisi e la documentazione grafica tridimensionale di edifici.

## La fotomodellazione applicata all'architettura

Se la misura, la ricostruzione tridimensionale e la restituzione dei materiali diventano possibili a partire da una semplice acquisizione fotografica, l'applicazione della fotomodellazione alla documentazione del patrimonio costruito resta un compito difficile poiché la problematica legata al rilievo architettonico resta identica. In effetti non si tratta semplicemente di riprodurre in tre dimensioni l'oggetto rilevato, ma di estrarre dalla fotografia le informazioni capaci di descrivere le forme architettoniche e di rappresentarle in funzione dei codici grafici propri ai professionisti che si interessano all'archiviazione, all'analisi e alla valorizzazione del patrimonio costruito: architetti, archeologi, conservatori, amministratori, etc.

Partendo dallo scatto di semplici fotografie, il controllo della tecnica della fotomodellazione permette di ottenere misure, piante, prospetti e sezioni, ortofotografie, etc., per la documentazione metrica dell'edificio e l'analisi del suo stato di conservazione, nonché ricostruzioni tridimensionali dei volumi e degli elementi di dettaglio e di decoro per la rappresentazione esaustiva nello spazio dei caratteri architettonici, delle visualizzazioni fotorealistiche e dei fotomontaggi per la rappresentazione di ipotesi di restituzione di stati anteriori dell'edificio o per la valutazione dell'impatto ambientale di un progetto architettonico o urbano.

Come si vedrà successivamente, durante il processo che porta dal rilievo fotografico dell'oggetto alla restituzione esaustiva in tre dimensioni, molteplici rappresentazioni (2D o 3D) possono essere elaborate in funzione delle differenti esigenze.

È quindi utile capire l'importanza dell'integrazione delle procedure necessarie all'elaborazione di queste differenti rappresentazioni all'interno di prassi definite da esigenze reali. Nel seguito di questo libro, avremo modo di appurare l'influenza delle esigenze di rappresentazione sulla strategia adottata sia in fase d'acquisizione che in fase di trattamento dei dati.

Cinque approcci differenti costituiscono le principali applicazioni della fotomodellazione all'architettura.

Un primo approccio si concentra sull'*estrazione di informazioni dimensionali*. Questo approccio è caratterizzato da una strategia d'acquisizione che mira a isolare un insieme di coordinate nello spazio per estrarre in seguito delle distanze reciproche. In questo caso, la sola fase di calibrazione e orientamento delle camere è sufficiente.

Un secondo approccio riguarda l'*elaborazione di rappresentazioni bidimensionali* come piante, prospetti e sezioni. Come nel caso precedente, qui si tratta di acquisire insiemi di punti pertinenti per restituire i caratteri di una parte dell'edificio (una facciata per esempio) su di un piano in due dimensioni. Ciò permette di ottenere un supporto per la descrizione di aspetti specifici (restituzione di caratteri costruttivi, analisi della composizione architettonica, lettura dello stato di conservazione dei materiali, etc.). Il piano utilizzato come supporto della rappresentazione può ugualmente servire a estrarre l'informazione contenuta nelle fotografie per condurre delle letture più approfondite sulle superfici (analisi del degrado, stratigrafie, etc.).

Un terzo approccio mira alla *ricostruzione geometrica tridimensionale* dell'oggetto. In questo

caso, un gran numero di punti deve essere estratto a partire dalle fotografie per la generazione di una rappresentazione che descriva le superfici e i volumi nel modo più coerente possibile con la realtà. Si tratta di una prassi ben più lunga dell'elaborazione di una rappresentazione bidimensionale poiché necessita, da una parte, della presa in conto di un insieme di vincoli in fase di ripresa fotografica e, dall'altra, del controllo delle funzioni di modellazione geometrica a volte molto complesse.

Un quarto approccio riguarda la *restituzione dell'apparenza visiva delle superfici*. Questo approccio non obbliga necessariamente alla descrizione geometrica approfondita delle forme. In questo caso l'approssimazione geometrica può in effetti essere celata dall'applicazione di texture integranti il dettaglio della forma da restituire. Questo tipo di rappresentazione, pur rispondendo a delle esigenze di analisi metrica, può ugualmente essere utile per la produzione di contenuti multimediali a scopo divulgativo culturale.

Un ultimo approccio mira alla *restituzione di più aspetti alla volta* e si basa sull'adozione di una strategia di rilievo esaustivo capace di supportare differenti trattamenti. Per fare ciò bisogna ricorrere a uno sfruttamento combinato dei trattamenti citati precedentemente, con lo scopo di elaborare molteplici rappresentazioni dell'edificio. In questo caso devono essere presi in esame, in fase di acquisizione, i differenti livelli di complessità geometrica dell'insieme di entità che compongono l'oggetto di studio.

## Struttura del libro

Questo libro affronta tutte le fasi e le procedure della fotomodellazione applicata all'architettura: riprese fotografiche sul sito, calibrazione e orientamento delle camere, raccolta di coordinate e di distanze sulle foto, modellazione geometrica, strutturazione del modello, estrazione di texture e tecniche di rappresentazione basate sull'immagine.

Per ogni fase saranno trattati gli aspetti teorici, metodologici, tecnici e applicativi. I principi esplorati saranno sempre integrati con riflessioni sulla loro applicabilità ai campi specifici del rilievo e della rappresentazione in architettura. Le tecniche presentate in dettaglio permetteranno di comprendere i vincoli provenienti dai bisogni propri al rilievo architettonico e alle funzionalità oggi proposte dai software presenti sul mercato.

Nella seconda parte di questo libro, tre casi di studio permetteranno di mettere in pratica le nozioni introdotte utilizzando i software *ImageModeler*, *Stitcher* e *AutoCAD* di Autodesk.

Questa opera è associata al portale Internet Architectural Image-Based Modeling. Su questo sito, il lettore troverà esempi, casi di studio e tutorial utili per approfondire le conoscenze in questo campo.

Alla fine del libro, oltre alla bibliografia, il lettore troverà un indice degli edifici fotografati utilizzati per l'elaborazione degli esempi presentati.

La maggior parte delle illustrazioni che accompagnano il testo è il risultato di diverse esperienze realizzate nel corso dei cinque anni precedenti al laboratorio MAP (Modèles et simulations pour



[www.map.archi.fr/aibm](http://www.map.archi.fr/aibm)

l'Architecture, l'urbanisme et le Paysage) sotto tutela del CNRS (Centre National de la Recherche Scientifique) e del Ministero della Cultura francese nel contesto di progetti di ricerca condotti con i suoi partner principali: Centre des monuments nationaux (programma *3D-Monuments*) e la Chartreuse de Villeneuve-lez-Avignon (programma *Chartreuse numérique*).

## Capitolo 2

# La ripresa fotografica

*Tutte le fasi di un processo di fotomodellazione, dalla raccolta di coordinate fino alla restituzione realistica dei materiali, dipendono fortemente dalla strategia di ripresa fotografica e dalla qualità delle fotografie.*

*In questo capitolo si forniranno innanzitutto alcune nozioni base di fotografia mettendo l'accento sui vincoli specifici alla fotomodellazione di cui bisogna tener conto in una campagna di rilievo. In seguito si presenteranno differenti tecniche di ripresa fotografica per l'acquisizione esaustiva dei caratteri morfologici degli edifici o degli elementi che li compongono; alcuni casi di studio permetteranno inoltre di comprendere meglio come applicare questi principi sul campo.*

## La macchina fotografica

A priori non ci sono vincoli riguardo alla scelta della macchina fotografica utilizzata per la fotomodellazione. In regola generale esistono due possibilità: utilizzare direttamente delle immagini acquisite da macchine digitali o digitalizzare con uno scanner le foto sviluppate di macchine fotografiche analogiche. Inoltre oggi, in numerosi campi, la fotografia digitale può essere considerata la soluzione standard per il trattamento informatico delle immagini.

Una macchina fotografica digitale cattura la luce su un supporto di tipo elettronico piuttosto che su una pellicola. Questo sensore codifica numericamente l'informazione acquisita in una matrice di valori di luminanza. L'immagine digitale che ne risulta è in seguito archiviata in un dispositivo di memoria. La definizione di questi captori – cioè il numero di pixel che compongono le immagini registrate – evolve molto rapidamente. Per quanto riguarda le macchine presenti in commercio, si tratta oramai di una risoluzione di milioni di pixel che permette di ottenere una quantità di informazioni compatibile con i bisogni comuni di misura e di restituzione grafica. Ma, al di là della risoluzione dell'immagine, altre caratteristiche devono essere prese in considerazione nella scelta di una macchina fotografica da utilizzare per condurre campagne di rilievo per la fotomodellazione.

## La scelta della macchina fotografica

Oggi il mercato della foto digitale offre tre principali categorie di macchine fotografiche che passano dal livello amatoriale a quello professionale: la *compatta*, la *bridge* e la *reflex* (fig. 6).

La compatta (fig. 6 sinistra) è una macchina tutto in uno, di piccole dimensioni e leggera.

I modi automatici sono generalmente il cuore di queste macchine nonostante esistano oggi dei modelli che integrano delle regolazioni manuali avanzate. Gli schermi che caratterizzano questo tipo di macchine sono dedicati all'inquadratura e alla visualizzazione. In effetti, sotto forma di un flusso video, questi schermi/visualizzatori permettono di previsualizzare la scena così come essa sarà registrata sul file immagine.

Al contrario, la reflex (fig. 6 destra) è una macchina con la quale l'inquadratura si effettua direttamente tramite l'obiettivo, grazie a un gioco di specchi: lo schermo di visualizzazione serve solo a visionare le fotografie una volta acquisite. Al momento della ripresa fotografica, lo specchio si alza in modo da lasciar passare la luce per farla arrivare al sensore. Generalmente, le reflex digitali possiedono dei captori di dimensioni superiori e offrono, inoltre, la possibilità di poter interscambiare i differenti obiettivi: caratteristica questa che le rende una soluzione professionale.

Come la compatta, la bridge (fig. 6 centro) è anch'essa una macchina tutto in uno: pur presentando la stessa ergonomia, le stesse specificità tecniche e la stessa struttura di una reflex il suo apparato di inquadratura resta elettronico.

Questo tipo di macchina è da considerare in qualche modo come la soluzione intermedia tra la compatta e la reflex. Permette delle regolazioni manuali importanti come la reflex, ma ha un obiettivo polivalente. Il sensore delle bridge è invece generalmente di dimensioni equivalenti a quello delle compatte.

Per condurre un'analisi comparativa di questi tre tipi di macchine fotografiche in funzione delle esigenze della fotomodellazione, è necessario prendere in conto due aspetti principali: il *control-*



Figura 6. Tre tipi di macchine fotografiche digitali: una compatta, una bridge e una reflex

lo della ripresa e l'obiettivo. Per quanto riguarda il controllo della ripresa, le bridge e le reflex si distinguono dalle compatte perché offrono delle funzioni più avanzate dando la possibilità di liberarsi dagli automatismi di esposizione e di messa a fuoco.

L'altra differenza maggiore riguarda l'obiettivo: quello delle bridge e delle compatte è fisso, mentre quello delle reflex è amovibile. L'obiettivo delle compatte e delle bridge non può evolvere ma, nel caso delle bridge, può essere potente e di qualità. In effetti, l'obiettivo delle bridge è costruito in modo da offrire delle buone performance (distorsioni/luminosità) su di una gamma focale estesa. Rispetto alle esigenze specifiche di un rilievo fotografico di edifici o di siti, le reflex rappresentano indubbiamente la soluzione più adatta, proprio per la possibilità che offrono di potervi montare i diversi obiettivi in funzione del tipo di restituzione da condurre, delle dimensioni dell'oggetto da ricostruire e delle condizioni di ripresa fotografica, etc.

## Gli obiettivi

Al fine di registrare un'immagine nitida sul sensore (o sulla pellicola), è necessaria una lente per mettere a fuoco la luce su un punto preciso (centro ottico). Un obiettivo è composto di gruppi di lenti che si spostano le une rispetto alle altre, secondo la distanza di messa a fuoco. Esistono due tipi di obiettivo: a focale fissa o variabile. In quest'ultimo tipo (chiamato normalmente zoom), il gruppo di lenti può spostarsi per offrire differenti valori di zoom. Tutte le macchine digitali compatte e bridge dispongono di un obiettivo a focale variabile.

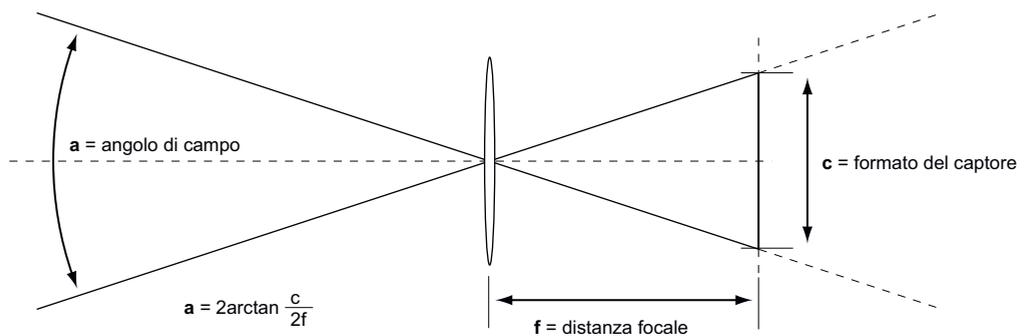
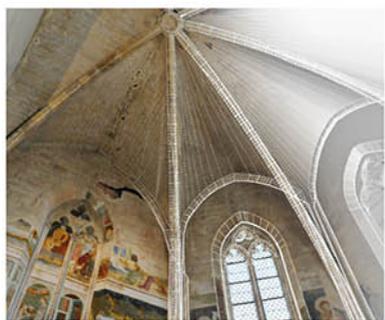
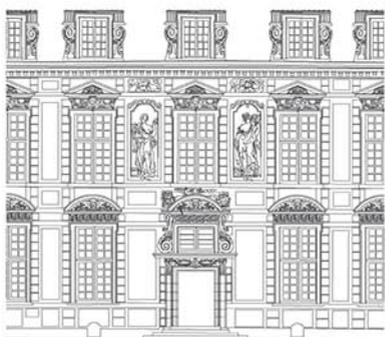


Figura 7. Relazione tra la distanza focale, il formato del sensore e l'angolo di campo

Si tratta di obiettivi con uno zoom ottico, digitale o misto. In quest'ultimo caso, lo zoom è ottico fino a una certa distanza focale diventando poi, al di là di essa, digitale. Questo tipo di macchina visualizza generalmente il livello di zoom sotto forma di valori di tipo ( $\times 3$ ), ( $\times 6$ ), ( $\times 8$ ) o ( $\times 12$ ). Si tratta di una volgarizzazione della nozione di distanza focale che è molto importante spiegare. In maniera approssimativa, si può definire la distanza focale come la distanza tra la pellicola (o il sensore) e il centro della lente frontale quando la messa a fuoco è all'infinito.

## La fotomodellazione architettonica

### Rilievo, modellazione, rappresentazione di edifici a partire da fotografie



#### Digitalizzare il patrimonio architettonico

La digitalizzazione 3D del patrimonio è una questione di attualità per molti paesi: musei, monumenti storici, siti archeologici ed altre istituzioni s'interessano fortemente all'archiviazione e alla valorizzazione digitale.

Per rispondere a queste esigenze, la fotomodellazione è una tecnica che permette di ricostruire in tre dimensioni delle scene reali a partire da fotografie.

Applicata all'architettura, essa costituisce una soluzione efficace per documentare lo stato attuale degli edifici storici, fornire delle risorse ai ricercatori che ne studiano l'evoluzione, o elaborare dei supporti di diffusione e di valorizzazione destinati al grande pubblico.

#### Un libro di riferimento dall'iconografia eccezionale

Trattando al tempo stesso degli aspetti teorici e metodologici oltre che delle applicazioni pratiche, questo libro molto illustrato, spiega come elaborare delle rappresentazioni 2D e 3D di edifici a partire da semplici immagini.

Il libro è completato da tre casi di studio (villa Savoye di Le Corbusier; hôtel de Béthune-Sully a Parigi, capella degli affreschi della certosa di Villeneuve-lez-Avignon), che fanno appello ai softwares ImageModeler, Stitcher e AutoCAD di Autodesk e da un portale Web con immagini, video, tutorials e modelli 3D.

#### A chi è indirizzato questo libro?

- Ai professionisti del campo della conservazione e della valorizzazione del patrimonio (architetti, archeologi, ricercatori, grafici, ...)
- Agli studenti di architettura, ingegneria e grafica

#### Livio De Luca

Architetto, dottore di ricerca Arts et Métiers ParisTech, insignito del premio Pierre Bézier 2007, Livio De Luca è ricercatore al CNRS (Centre Nationale de la Recherche Scientifique). Nel laboratorio MAP-Gamsau, coordina differenti studi del progetto 3D-monuments (programma nazionale francese di digitalizzazione 3D del patrimonio architettonico), è ugualmente co-responsabile scientifico del progetto ANR SINETOMB (sistema informativo a scala architettonica per lo studio della tomba dell'Imperatore Qianlong in Cina). Autore di numerosi articoli pubblicati in riviste scientifiche ed in atti di congressi internazionali, ha insegnato allo IUAV (Istituto Universitario di Architettura di Venezia) ed insegna attualmente il rilievo e la rappresentazione digitale a l'École nationale supérieure d'architecture de Marseille ed all'Institut Image di Chalon-sur-Saône.

Presentazione di Marco Gaiani

Ingegnere, è professore ordinario di Disegno presso la Facoltà di Ingegneria dell'Università di Bologna. Specializzato nella modellazione digitale per l'archeologia, l'architettura e per il design, si è impegnato, nell'ultimo quarto di secolo, nello studio e nell'ottimizzazione di metodi e sistemi per il rilievo, la restituzione e la documentazione dell'architettura, storica e moderna, delle opere di interesse archeologico e del virtual prototyping.

