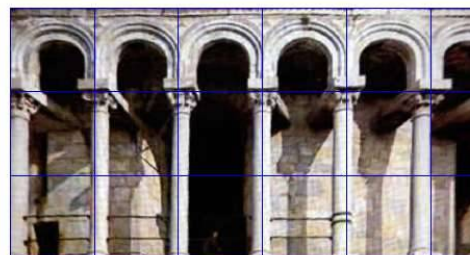


Fotogrammetria architettonica: programmi e metodi

di Sauro Agostini



Come districarsi fra programmi di fotogrammetria architettonica, le macchine fotografiche e valutare le caratteristiche di software e hardware

Introduzione

Ormai sono disponibili sul mercato diversi programmi per il rilievo architettonico tramite fotografie. I prezzi sono molto variabili, così come le prestazioni, le funzioni, la precisione e le caratteristiche.

Non è facile districarsi fra tutti questi programmi semplicemente leggendo le caratteristiche su un depliant o su una pubblicità e nemmeno con una veloce valutazione di una versione dimostrativa.

Nelle descrizioni sono usati alcuni termini che da soli non sono sufficienti a descrivere la loro validità, perché molto dipende da come vengono applicati.

In questo articolo parleremo di alcune di queste caratteristiche descrivendo come valutarle all'interno dei vari programmi.

Metodi fotogrammetrici

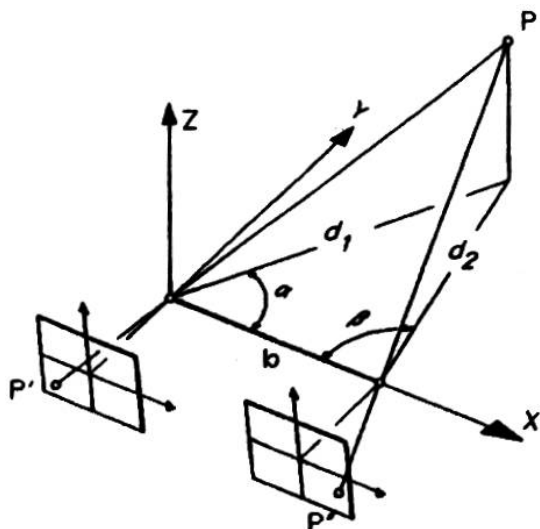
La fotogrammetria, vale a dire la misura tramite fotografie, utilizza diversi metodi che dipendono dal tipo di informazione a disposizione, di seguito i principali.

Stereo fotogrammetria

È la fotogrammetria classica, basata sulla ripresa tramite due macchine fotografiche speciali poste in parallelo ad una certa distanza. Le macchine fotografiche devono essere metriche o semi-metriche con caratteristiche note del sistema di lenti e di tutti i parametri utilizzati nella resa stereo-fotogrammetrica. Si

ottengono due immagini chiamate "Immagini omologhe".

E' un sistema con un buon grado di precisione, ma molto costoso, principalmente per il costo delle macchine metriche, ha il vantaggio di poter operare anche su superfici molto irregolari a patto di porre su di essi una serie di punti di riferimento.



Schema di ripresa per la stereofotogrammetria terrestre, con i due piani di proiezione delle pellicole delle macchine fotografiche metriche, di lunghezza focale e distanza noti

Fotogrammetria con due o più fotogrammi

E' simile al precedente, ma si usano due fotogrammi ripresi da posizioni diverse e con normali macchine fotografiche. Questo sistema ha un basso grado di precisione e quindi non viene normalmente usato per il rilievo architettonico.

Fotogrammetria tramite misure

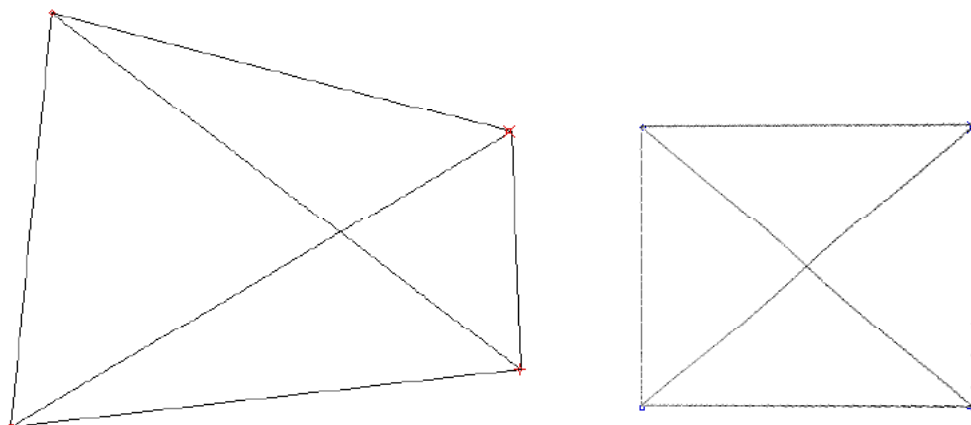
In questo tipo di fotogrammetria l'eliminazione della deformazione prospettica è ottenuta tramite alcune misure sull'oggetto del rilievo. E' il tipo più diffuso nei programmi attuali e quindi successivamente parleremo principalmente di questo.

Raddrizzamento fotografico

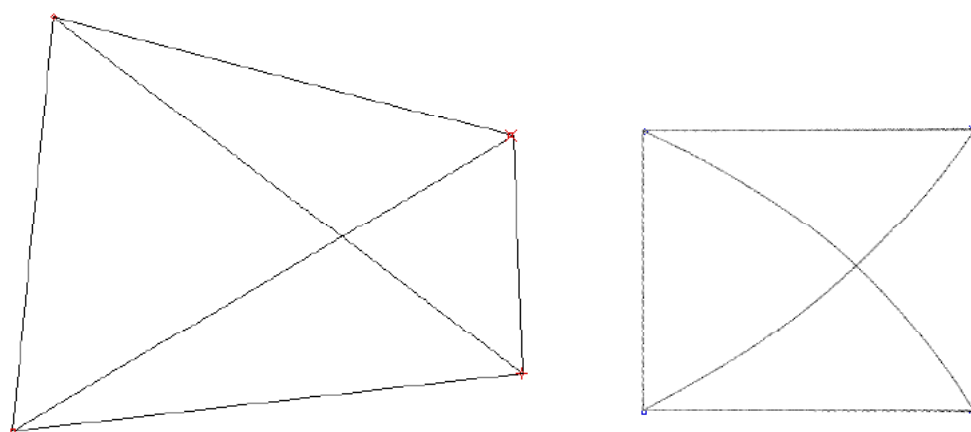
Questo tipo di eliminazione della deformazione prospettica si basa sulla trasformazione prospettica inversa chiamata omografia. La risoluzione matematica richiede la conoscenza di 4 punti di coordinate note tramite i quali è possibile determinare tutti gli altri punti appartenenti ad uno stesso piano.

I 4 punti possono essere inseriti in vario modo, direttamente, tramite allineamenti, figure geometriche ed altro, ma la sostanza rimane la stessa.

L'eliminazione della deformazione prospettica non deve essere confusa con una semplice eliminazione delle linee di fuga della prospettiva, questo può essere fatto anche tramite diversi tipi di programmi grafici e pittorici, ma il risultato non è corretto, perché non è a scala costante e non è misurabile.



Trasformazione prospettica. Il punto incontro delle diagonali viene riportato correttamente al centro del rettangolo



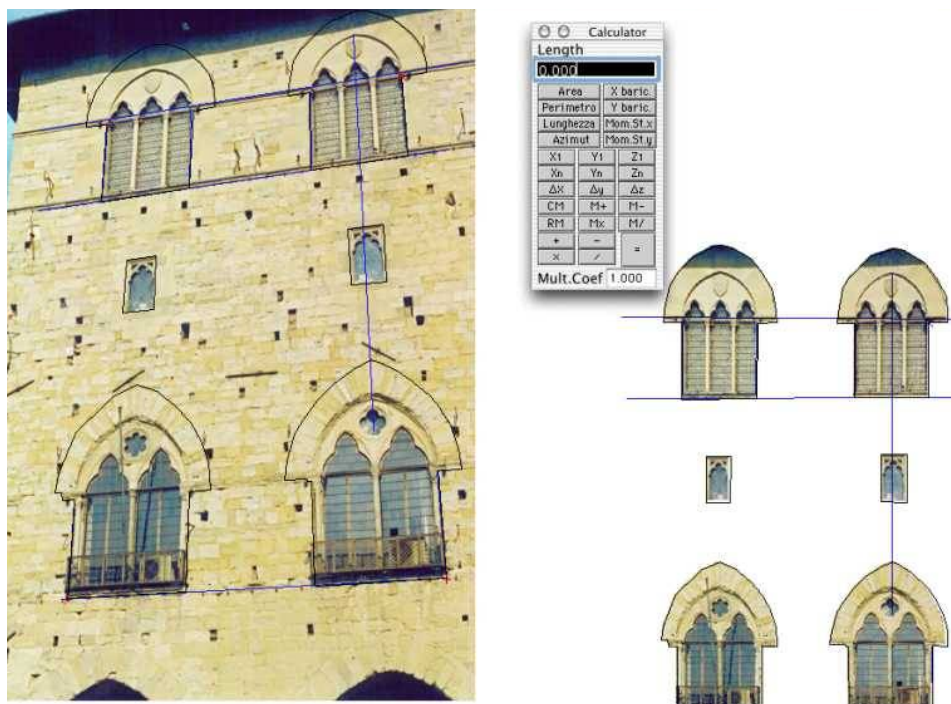
Trasformazione lineare. Il punto incontro delle diagonali rimane in un rapporto linearmente proporzionale con i vertici del rettangolo. Le diagonali diventano delle curve

Il raddrizzamento fotografico avviene per piani, quindi se l'oggetto architettonico è composto da piani diversi e posti su diversi livelli è importante che il programma permetta di trattarli in modo separato e che consenta di ricomporli in un prospetto o una pianta in scala. La maggior parte dei programmi in circolazione non permettono di fare questo con semplicità e in modo preciso.

Eliminazione delle parti non interessate

Le fotografie contengono molti elementi inutili ai fini del rilievo, molti elementi creano solo disturbo e, non essendo sul piano da raddrizzare, risulteranno molto deformati e inverosimili, è importante quindi poter lavorare su parti delle immagini, eliminando da subito le cose inutili, quali elementi in primo piano e sullo sfondo.

In altri casi interessano solo alcuni elementi della scena, quali ad esempio parti degradate o particolari costruttivi.



I particolari delle finestre sono stati raddrizzati e posizionati in scala tra loro

La scelta immediata delle parti interessate accorcia i tempi di elaborazione, fornisce risultati immediati e rende non necessarie successive rielaborazioni con altri programmi.

Molti programmi non consentono questo tipo di operazione, alcuni consentono di selezionare solo parti rettangolari. DigiCad 3D permette non solo di delimitare con grande precisione parti di qualsiasi forma, ma permette di costruire delle restituzioni per parti ove le varie parti sono tra loro posizionate con misure esatte e in scala.

Controllo della trasparenza

Le fotografie che sono alla base del raddrizzamento sono opache, il che significa che posizionate sopra altri elementi nascondono quelli che sono coperti dall'immagine.

Il raddrizzamento di una fotografia rettangolare crea un'immagine dove l'immagine originale assume una forma di trapezio irregolare incluso in un rettangolo con delle parti bianche opache.

Se poi si estraggono delle parti non rettangolari anche esse saranno incluse in un rettangolo opaco, perchè l'immagini sono comunque quadrate.

Il controllo della trasparenza delle immagini è normalmente una caratteristica dei programmi di grafica creativa, vettoriale e no, ma questo controllo è importante anche in programmi di fotogrammetria. DigiCad ha un ottimo controllo della trasparenza.

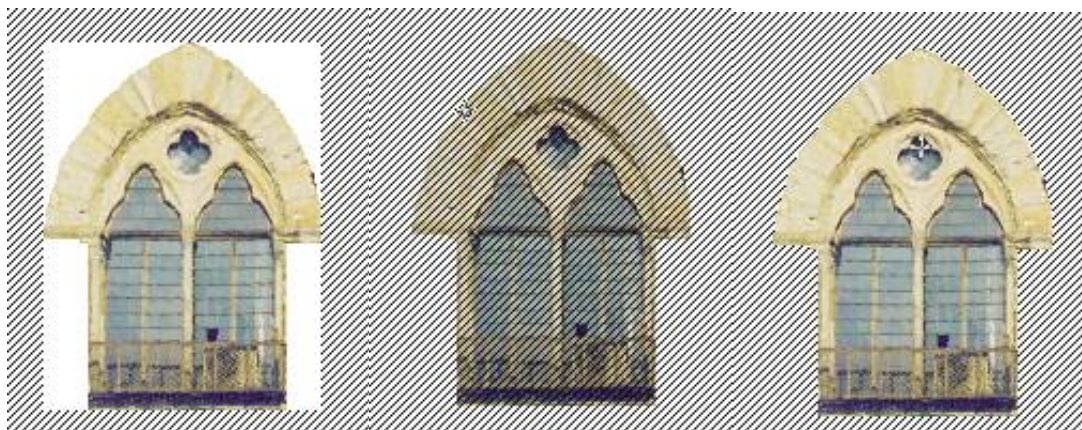
L'immagine opaca è quella che tutti conosciamo.

Se l'immagine è completamente trasparente, sarà possibile sovrapporla ad altri elementi. Molto utile è la sovrapposizione ad un disegno vettoriale, come ad esempio un prospetto raddrizzato esattamente sovrapposto ad un prospetto disegnato, avendo come risultato una foto con gli spigoli disegnati.

L'immagine puo' essere trasparente anche solo in parte, ad esempio è molto utile la trasparenza delle parti bianche, perchè questo permette di scontornare l'immagine, in modo che non abbia più solo la forma rettangolare, ma quella dell'elemento che interessa, ad esempio un rosone di una chiesa avrà la forma circolare.

In questo modo gli elementi sono sovrapponibili ad altri elementi senza lasciare parti bianche, permettendo dei mosaici per sovrapposizione, dove alla foto generale di una facciata, rilevata da una certa distanza e

quindi con pochi dettagli, si sovrappongono parti fotografate più ravvicinate o con una focale più lunga, in modo da aumentare il dettaglio e la precisione.



L'immagine raddrizzata di una finestra è sovrapposta ad un retino tratteggiato in modo da mettere in evidenza la trasparenza. L'immagine ha sempre forma rettangolare. La prima immagine è una classica immagine opaca, che copre completamente il retino sottostante, la seconda immagine è completamente trasparente e la terza è trasparente solo nel colore bianco, ottenendo di fatto un'immagine scontornata, che ha la forma voluta e che è perfettamente sovrapponibile ad altre immagini e a disegni.

Eliminazione della deformazione ottica

La deformazione ottica è la caratteristica più ingiustamente trascurata in architettura.

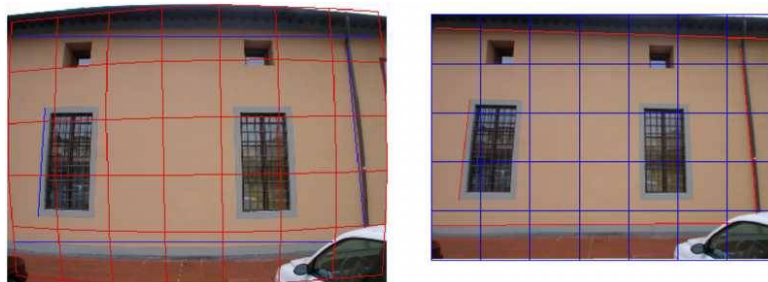
Ormai si usano molto le macchine fotografiche digitali che hanno obiettivi zoom con deformazioni ottiche marcate, ma anche i migliori obiettivi a focale fissa hanno comunque una deformazione ottica, maggiore normalmente sui grandangolari.

La deformazione ottica non deve essere confusa con la deformazione prospettica. la deformazione ottica deriva dall'aberrazione sferica dell'obiettivo, dal modo e dalla precisione con cui è costruito l'obiettivo.

I costruttori di ottiche cercano di ridurla o con la costruzione di costosissimi obiettivi asferici o tramite la composizione di gruppi di lenti a focale diversa.

Il problema è maggiore con gli obiettivi a focale variabile, i cosiddetti zoom, perché è praticamente impossibile ottenere una buona correzione su tutta la gamma focale.

Purtroppo gli articoli sulle macchine fotografiche, specialmente su riviste di informatica, rarissimamente parlano di questa caratteristica, eppure è così evidente che basta fotografare un rettangolo perché sia visibile, provate a fotografare un rettangolo o una griglia con la vostra macchina fotografica con l'obiettivo in posizione grandangolare, guardate il risultato in prossimità dei bordi e vedrete che le linee saranno diventate delle curve, con la classica deformazione chiamata "a barilotto", la differenza fra la linea e la curva è la deformazione ottica e si esprime normalmente in percentuale.



Nella foto di sinistra la deformazione ottica è evidentissima, nella foto di destra è stata corretta. La foto di sinistra è del tutto inutilizzabile per la fotogrammetria architettonica, perché introduce errori inaccettabili

Deformazioni dell'ordine del 2 - 2,5% sono normalissime e sono pericolosissime in un rilievo architettonico. 2,5% significa che raddrizzando una facciata di un edificio di 40 m, avrò un errore di 1,00 m, enorme quindi e che rende perfettamente inutile e pericoloso tutto il resto del lavoro.

E' indispensabile quindi che la deformazione ottica venga eliminata prima che l'immagine sia raddrizzata.

Superfici curve e irregolari

Il raddrizzamento fotografico avviene su superfici piane, perché l'omografia parte proprio dalla proiezione prospettica inversa da un piano. Cosa succede se invece si hanno superfici curve, come la torre di Pisa o il Colosseo, o addirittura irregolari, come un terreno?

In questo caso è necessario lavorare su una rete di punti, detta anche mesh, che approssimano la superficie. La mesh viene appoggiata a punti di coordinate o misure note ed in questo modo si ottiene anche un raddrizzamento di superfici curve.



La superficie curva del Colosseo è stata riportata su un piano con tramite una mesh di punti, in rosso sulla foto originale e in blu su quella finale.

Le mesh sono utili anche nel caso di superfici non perfettamente piane, dove 4 punti non sono sufficienti per ottenere un buon risultato.

Immagini e disegno

Secondo il tipo di impostazione ed interfaccia i programmi di fotogrammetria si possono dividere in due tipi: con impostazione CAD e con impostazione di tipo pittorico o raster.

I secondi trattano esclusivamente immagini, in modo simile a programmi quali PhotoShop o Gimp Print, mentre i primi hanno funzioni tipiche del CAD che permettono di disegnare in modo vettoriale.

Per il rilievo architettonico l'interfaccia CAD offre dei vantaggi indiscutibili, perché permette di avere sullo stesso documento sia immagini che disegno.

Se a questo è aggiunta anche la possibilità sia di importare che esportare disegni da altri programmi CAD la flessibilità di uso aumenta. E' possibile, ad esempio, importare il prospetto disegnato di un edificio ed utilizzarlo come base per il raddrizzamento fotografico, dopo di che è possibile riesportare il tutto.

L'interfaccia CAD permette anche delle costruzioni grafiche che aumentano i punti di appoggio del raddrizzamento, ricostruendo anche punti fuori dall'immagine tramite intersezioni e altri tipi di costruzioni.

Un caso particolare è se il programma è in grado di operare anche sull'informazione vettoriale, oltre che su quella grafica.

DigiCad 3D ad esempio lo fa in modo unico e interattivo, permettendo di vedere immediatamente il risultato raddrizzato mentre si disegna sopra la fotografia.

Mosaicatura

Molto spesso è impossibile riprendere con una sola foto una facciata di un fabbricato e quindi è necessario eseguire un certo numero di foto e rimontarle assieme in un mosaico che riproduce la facciata o l'edificio.

Molti programmi asseriscono di effettuare la mosaicatura di più foto, ma intendono anche cose molto diverse tra loro. Alcuni addirittura si limitano a raddrizzare molte foto nello stesso documento, ma poi lasciano all'utente il compito di rimontarle assieme ad occhio con programmi tipo Photoshop.

Escludendo questo tipo di programmi, si possono comunque avere molti casi e possibilità.

- Mosaicatura di precisione o approssimata. Nella mosaicatura di precisione i fotogrammi sono allineati e sovrapposti in base a punti di riferimento misurati e precisi, in quella approssimata la mosaicatura è ottenuta muovendo i fotogrammi con il mouse e sovrapponendoli "a occhio".

- Mosaicatura relativa o progressiva. Nella mosaicatura relativa ogni programma è sovrapposto al precedente usando 2 o più punti in comune, in questo modo però un piccolo errore si trasmette ai fotogrammi successivi e si amplifica in modo anche esagerato proporzionalmente al numero di fotogrammi che compongono il mosaico. Nella mosaicatura progressiva o assoluta ogni fotogramma è posizionato in modo indipendente appoggiandosi a punti misurati rispetto ad un riferimento assoluto, ad esempio lo spigolo di sinistra del fabbricato. In questo modo gli errori non si sommano e rimangono molto contenuti e indipendenti dal numero di fotogrammi utilizzati. Un esempio particolare di una mosaicatura progressiva o assoluta è quello che utilizza come base un disegno di una facciata sul quale vengono mappate le diverse immagini del mosaico.



Mosaico formato da 6 fotografie, sui lati, montate in un fotomosaico complessivo nella parte centrale.

- Mosaicatura da un solo piano o da piani diversi. Se la facciata di un edificio a corpi avanzati o arretrati ognuno di essi è su un piano diverso e quindi il prospetto deve essere ricostruito tramite un mosaico di più foto o di parti diverse della stessa foto. Non tutti i programmi consentono di mosaicare piano diversi.

- Mosaicatura di parti non contigue. Spesso non è possibile fotografare alcune parti di un edificio perché non sono accessibili o hanno altri elementi molto vicini che le nascondono, come ad esempio un albero. In questo caso è importante che il programma di fotogrammetria possa comunque creare un mosaico corretto e in scala, anche se incompleto in alcune parti.

- Mosaicatura per sovrapposizione. In questo tipo di mosaicatura si eseguono foto alla facciata generale ed altre foto a dettagli della facciata che successivamente sono sovrapposti esattamente all'immagine principale per aumentare il dettaglio e la precisione ove necessario. In questo tipo di mosaicatura è molto importante il controllo della trasparenza di cui abbiamo parlato sopra e la possibilità di ritagliare parti di forma qualsiasi in modo da ritagliare esattamente la forma dei dettagli architettonici.

- Mosaicatura di superfici curve. Anche nel caso di superfici curve o irregolari è necessario poter effettuare la mosaicatura, perché in questo caso è ancora più necessario effettuare riprese da punti diversi. Naturalmente è possibile fare questo tipo di mosaicatura solo se il programma gestisce il raddrizzamento di superfici curve o irregolari.

- Mosaicatura su base disegnata. Si tratta in questo caso di mappare fotografie o parti di fotografie sopra ad un disegno, importato normalmente tramite qualche formato standard vettoriale o raster. Ogni parte di fotografia è fatto corrispondere ad una parte del disegno in scala con risultati molto efficaci.



Questa immagine è stata ottenuta raddrizzando parti di alcune fotografie di un convento e facendole corrispondere alle corrispondenti parti di un disegno tecnico in scala, in modo da mettere in evidenza e misurare la parti degradate delle facciate. Da notare che il prospetto è formato da elementi posti su piani diversi. In questo lavoro sono state utilizzate assieme diverse tecniche descritte in questo articolo, quali lavorare per parti, la mosaicatura e le trasparenze (lavoro dell'Arch. Mattelo Lamberti)

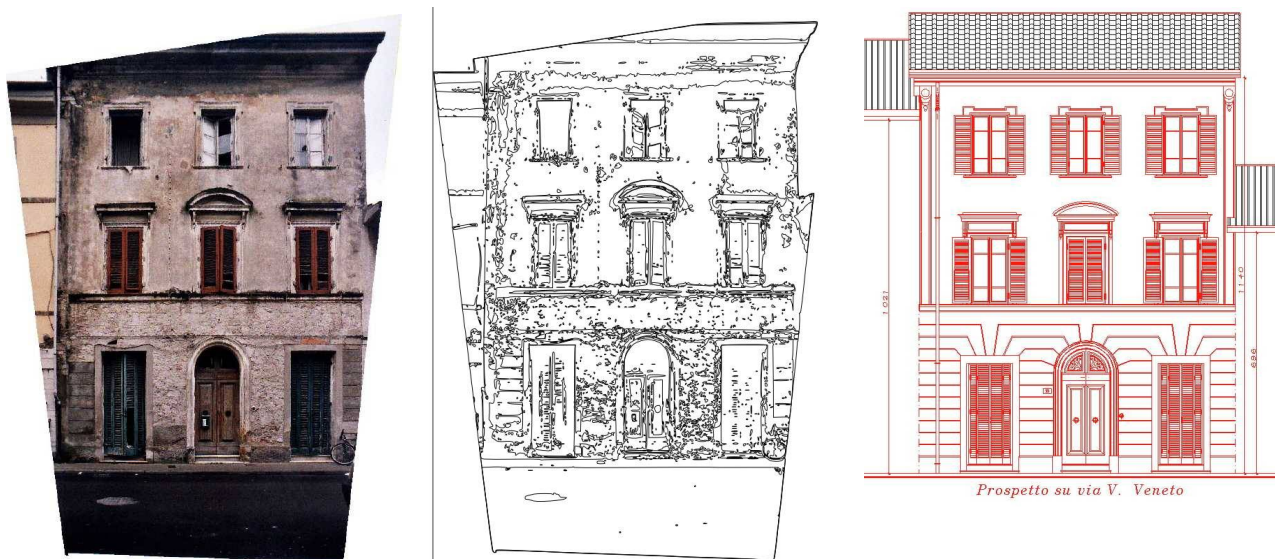
Vettorializzazione automatica

Una funzione richiesta talvolta dagli utilizzatori è la vettorializzazione di una fotografia in modo da ottenere un disegno automatico di un prospetto di un edificio.

Alcuni programmi la propongono, ma il risultato è sempre deludente e comunque inutilizzabile dal punto di vista di un rilievo automatico.

La vettorializzazione automatica è molto difficile e produce risultati scarsi anche per disegni al tratto, ma su foto a colori o a scala di grigi il risultato è del tutto casuale. In questo caso infatti le linee sono tracciate ove c'è un differenza evidente di colore fra le due facce di uno spigolo, spesso invece le differenze sono minime, e sono molto evidenti ove ci sono delle ombre, il risultato è un disegno con linee che non ci devono essere mentre quelle che servono non ci sono.

In pratica se serve un disegno vettoriale è più semplice ripassare la foto raddrizzata con elementi vettoriali quali linee e poligoni che dover "ripulire", modificare e aggiungere elementi alla foto vettorializzata.



Sulla sinistra vediamo la foto raddrizzata di una facciata di un edificio. Al centro la stessa facciata vettorializzata in modo automatico tramite un programma di vettorializzazione e a destra la rappresentazione tecnica del prospetto della facciata. Come si può vedere la vettorializzazione automatica da un risultato del tutto diverso ed inaccettabile come disegno tecnico. (lavoro dell'Arch. Puccinelli)

DigiCad 3D

La maggior parte dei programmi in commercio si limita ad un semplice raddrizzamento fotografico, ma come abbiamo visto questo non è assolutamente sufficiente per lavorare con precisione e poter risolvere tutti i casi che si possono presentare.

Altri programmi affermano di fare alcune di queste cose, ma non sempre le fanno bene. Un esempio è la mosaicatura, che in alcuni casi viene lasciata all'operatore tramite operazioni manuali di sovrapposizione e aggiustamento delle immagini.

E la deformazione ottica? Normalmente viene lasciata deformata.

Eppure esiste un programma che fa tutto quanto descritto in questo articolo: DigiCad 3D. DigiCad 3D è probabilmente il programma di fotogrammetria architettonica più avanzato. Non tratta la stereofotogrammetria, ma ha comunque una serie di funzioni che i sistemi stereofotogrammetrici non hanno. L'interfaccia grafica CAD offre una serie di possibilità in più, aggiungendo flessibilità ne risolvere le situazioni più complesse.

E' troppo lungo descrivere in questa sede le caratteristiche del programma, si rimanda quindi al sito del produttore Interstudio: <http://www.interstudio.net/ita>.

Le macchine fotografiche

Spesso mi viene chiesto un consiglio su quale macchina fotografica è più adatta per la fotogrammetria architettonica.

Escludendo sia le macchine metriche e semimetriche, le macchine a banco ottico e le macchine reflex con obiettivi basculabili per ragioni di costo, rimangono comunque tantissimi modelli e non voglio fare dei nomi, anche perché i modelli cambiano continuamente e dopo poco non sono più sul mercato.

I punti più importanti nello scegliere una macchina fotografica per fotogrammetria architettonica sono la deformazione ottica, l'angolo di campo massimo e la risoluzione.

Sono preferibili macchine reflex a obiettivo intercambiabile con ottiche fisse di 28 o 24 mm. Gli obiettivi fissi hanno normalmente deformazioni ottiche molto inferiori agli zoom.

Parlando di macchine fotografiche digitali un problema è l'angolo di campo. E' difficile trovare macchine

fotografiche con angolo di campo corrispondente ad un vero grandangolare. La maggior parte hanno focali minime corrispondenti a 35 mm o più, con alcune corrispondenti a 30 mm. Anche per quelle che permettono di utilizzare obiettivi intercambiabili non va meglio, perché la cella di ripresa è più piccola del formato 24x36 della pellicola e quindi l'angolo di campo di un 24 mm corrisponde in realtà a quello di un 35 mm.

Per la deformazione ottica, la cosa migliore è fare delle prove, fotografando dei reticoli o dei rettangoli, perché difficilmente questo valore è riportato tra le informazioni tecniche.

Per la risoluzione ormai non ci sono problemi, perché anche le macchine più economiche hanno più di 5 MegaPixels e promettono di avere una precisione di ripresa dell'ordine del cm su una facciata di un edificio di 30 m.

Bibliografia

M.Fondelli - Trattato di Fotogrammetria urbana e architettonica - Ed. Laterza
G. Fangi - Univ. di Ancona - note di fotogrammetria - clua ed. Ancona
M.Docci, D.Maestri - Manuale di rilevamento architettonico e urbano - Ed. Laterza
ISPRS: Historical Developments of Photogrammetric Methods and Instruments - T.Blanchut
U.Saccardi - Applicazioni della Geometria Descrittiva - LEF
R.Corazzi - Geometria "Scienza del disegno" - vol. I e II - Maggioli editore
Ezio Viti - "Appunti di Fotogrammetria" – Galileo Siscam
F.Flamigni - "Fotogrammetria digitale" – Galileo Siscam
AAVV - Lavori di fotogrammetria architettonica - Ed. Dei Roma