

Simulazione di prese fotografiche con il CAD

Arch. Marco GASPARINI (*)

(*) Dottore di ricerca in Architettura
Università degli Studi di Genova – Facoltà di Architettura
Via F. Sivioli 2b/11 – cell.347-8149697– e-mail: marco.gasparini@libero.it

RIASSUNTO

La procedura proposta ha come obiettivo quello di testare il sistema di correzione delle aberrazioni ottiche dei vari software dedicati alla fotogrammetria senza dover ricorrere a strumentazioni altamente sofisticate e di difficile reperibilità. Il metodo viene sviluppato e testato utilizzando una macchina fotografica digitale con obiettivo grandangolare, un programma di restituzione fotogrammetrica, un programma stand-alone di correzione delle distorsioni ottiche e un comune programma di CAD, e può essere esteso a qualsiasi altra tipologia di apparecchiatura fotografica e di software di restituzione.

SUMMARY

The purpose of the suggested operating procedure is to test the correction system of the optical distortions performed by photogrammetric softwares without having to use hard to find and highly sophisticated equipment. This procedure is developed and exemplified with a digital camera equipped with a wide-angle lens, a photogrammetric survey software, a stand-alone optical correction software and a common CAD software, and can be extended to any other combination of photographic camera and photogrammetric software.

TESTO COMPLETO

Verificare la qualità della correzione delle aberrazioni ottiche e della correzione prospettica effettuata da un programma di restituzione fotogrammetrica utilizzando un oggetto reale è un processo che richiede un campione che risponda ad un modello geometrico noto e indeformabile misurato con strumenti ad altissima precisione perfettamente calibrati. Fortunatamente, anche senza disporre di una simile strumentazione, è possibile effettuare delle simulazioni con un moderno programma CAD in grado di operare in ambiente 3D e di realizzare delle viste prospettiche corrispondenti a quelle di un apparecchio fotografico completamente privo di aberrazioni. AutoCAD corrisponde a questi requisiti, ed è in grado di fornire un output con 8 cifre decimali, una precisione impensabile per qualunque strumento di misura topografico.

Condizione necessaria per poter effettuare questo tipo di simulazione è quella di disporre di un software di correzione delle aberrazioni ottiche estremamente preciso e controllabile e che offra la possibilità di invertire il processo. Esiste una gran varietà di software disponibili che possono essere usati per correggere la distorsione, ma uno dei più avanzati e versatili è il plugin "Panorama Tools" per Photoshop realizzato da Helmut Dersch. A dispetto delle sue impressionanti possibilità, Panorama Tools è gratuito, elemento sicuramente difficile da ignorare. L'unico elemento negativo di Panorama Tools è la sua complessità.

La procedura per correggere la distorsione di un determinato obiettivo (si ricorda che nel caso degli obiettivi zoom i parametri sono diversi per ogni lunghezza focale) è quella di scattare una foto di un oggetto rettilineo e quindi aggiustare manualmente i parametri del filtro "Corrector" di Panorama Tools fino a che l'immagine dell'oggetto rettilineo non torni rettilinea.

Scendendo ulteriormente nel dettaglio possiamo dire che la funzione di correzione è una equazione polinomiale di terzo ordine. Essa mette in relazione la distanza di un pixel dal centro dell'immagine sorgente (r_{srg}) con la corrispondente distanza nell'immagine corretta (r_{corr}):

$$r_{srg} = (a \cdot r_{corr}^3 + b \cdot r_{corr}^2 + c \cdot r_{corr} + d) \cdot r_{corr}$$

Il parametro d descrive la scalatura lineare dell'immagine. Impostando $d = 1$, e $a = b = c = 0$ non apportiamo nessuna modifica all'immagine. Scegliendo dei valori d diversi da 1 scaliamo l'immagine del relativo fattore.

I parametri a , b e c distorcono l'immagine. Impostando valori negativi otteniamo lo spostamento dei punti più distanti verso l'esterno. Questo effetto contrasta la distorsione a barilotto. Impostando invece valori positivi otteniamo lo spostamento dei punti più distanti verso il centro. Questo effetto contrasta la distorsione a cuscinetto.

La correzione apportata dal parametro a interessa solo i pixel più esterni dell'immagine, mentre quella ottenuta mediante il parametro b è più uniforme. Se l'immagine presenta una distorsione a barilotto nella regione più esterna e una a cuscinetto in quella interna, è necessario impostare dei valori negativi di a e positivi di b . Queste distorsioni più complesse sono dette a "linea ondulata" o "a baffo".

Al fine di mantenere inalterata la dimensione globale dell'immagine è sempre importante mantenere la condizione $a + b + c + d = 1$.

Per la simulazione si è scelto di testare un software di restituzione fotogrammetrica molto diffuso, Phomodeler 5.2.3 della Eos Systems, ma il procedimento è applicabile a qualunque altro software presente sul mercato. La macchina fotografica utilizzata è stata una Minolta Dimage 7, una digitale con ottica grandangolare equivalente ad un 28 mm. Per tale ottica sono stati calcolati i parametri di distorsione a , b e d .

Il modello virtuale da me creato tramite AutoCAD per queste simulazioni è un semplice cubo con una parallelepipedo sporgente appoggiato ad ogni lato e un angolo tagliato (figura 1). Sulla superficie più esterna di ciascun parallelepipedo è presente una griglia regolare di 10 x 10 quadrati. Il lato del cubo misura 1.000 millimetri.

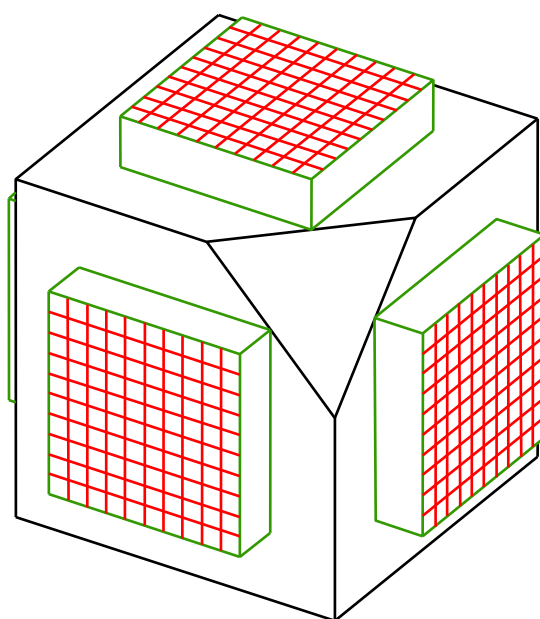


Figura 1 - Il modello tridimensionale realizzato con il CAD utilizzato per le simulazioni.

Una volta realizzata una vista prospettica del campione, esportata come immagine raster ad alta definizione, è possibile applicare una distorsione corrispondente a quella dell'apparecchio fotografico del quale si vuole effettuare la simulazione utilizzando il filtro correct di Panorama Tools e fornendo dei parametri uguali, ma di segno opposto, a quelli utilizzati nella correzione dell'aberrazione. In questo modo abbiamo a disposizione un campione virtuale dalla forma regolare misurato con estrema precisione; una serie di foto virtuali assolutamente prive di aberrazioni; una corrispondente serie di foto virtuali con un'aberrazione simulata. Disponiamo, quindi, del materiale più indicato per controllare il comportamento del programma in condizioni ottimali e potremo generalizzarlo a qualunque ripresa reale.

Ho scelto una figura che fosse estremamente semplice e nello stesso tempo offrisse la possibilità di individuare un numero sufficiente di punti con una distribuzione diffusa nello spazio. Il vertice tagliato permette di non avere una simmetria totale della figura, così da identificarne meglio la posizione nello spazio, e fornisce inoltre tre punti di riferimento aggiuntivi. La griglia è stata invece creata con lo scopo di verificare la precisione nella produzione di fotopiani.

Visualizzando il modello da angolazioni diverse con i parametri corrispondenti ad una lunghezza focale di 28mm sono stati realizzati quattro rendering salvati poi come file di immagine aventi la stessa risoluzione di quella di uscita della Minolta Dimage 7.

Prima di "scattare" le fotografie virtuali al modello è stata simulata una calibrazione utilizzando la griglia apposita visualizzata da otto angolazioni diverse con i parametri corrispondenti ad una lunghezza focale di 28 mm. Effettuando una calibrazione virtuale è così possibile ovviare ad eventuali imprecisioni nei parametri di correzione individuati con Panorama Tools, in quanto si dissocia completamente il processo dall'effettiva disposizione di un apparecchio fotografico reale. A questo punto sarebbe anche possibile effettuare la verifica con parametri di distorsione casuali, ma ho preferito comunque mantenere il più possibile l'adesione alla strumentazione utilizzata.

Ad una copia delle immagini è stata poi applicata la distorsione e per ognuno dei due set di fotografie è stato impostato un progetto di Photomodeler diverso.

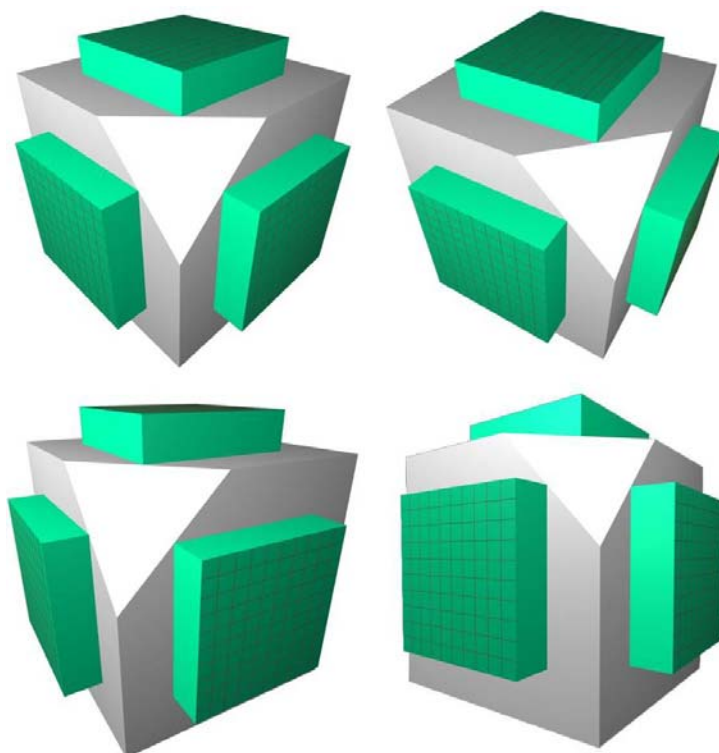


Figura 2 - Le quattro viste del modello.

Per il progetto senza distorsione non è stata utilizzata alcuna calibrazione, specificando semplicemente la lunghezza focale; per quelli con le aberrazioni, invece, è stato necessario effettuare una calibrazione simulata. Per ogni modello sono state realizzate quattro viste da angolazioni diverse del reticolo apposito ed applicando alle stesse la medesima distorsione delle immagini del modello (figura 2).

Il primo passo è stato quello di controllare, in ciascuno dei tre progetti, gli scarti nella posizione dei punti rispetto al modello originario.

Nei due progetti sono stati impostati solo tre punti di controllo, dato che, come abbiamo visto precedentemente, è più che sufficiente. Le tabelle seguenti riportano gli scarti riscontrati.

L'errore medio, pari a 1,6 millimetri, riscontrato nella posizione dei punti del progetto con le distorsioni simulate (tabella 1) corrisponde ad un valore di 1.600 ppm. Questo valore è risultato decisamente maggiore rispetto a quello dei casi reali, ad ulteriore conferma del fatto che il numero di punti identificati e messi in relazione nelle varie foto è determinante rispetto ad altri fattori.

Nel caso del progetto con immagini prive di distorsioni (tabella 2) lo scarto medio è risultato decisamente inferiore, pari cioè a 0,3 mm, corrispondenti a 300 ppm, ovvero il valore più basso riscontrato in questa ricerca. Questo fatto sembra indicare che il programma "Camera Calibrator" abbinato a Photomodeler non offra una correzione delle aberrazioni sufficientemente precisa da renderle paragonabili con immagini non distorte o preventivamente corrette con Panorama Tools; quest'ultima operazione risulta quindi decisamente preferibile, considerata, inoltre, la difficoltà nel ritracciare elementi rettilinei su un'immagine distorta.

Punto	Variaz. x	Variaz. y	Variaz. z	Note
1	-	-	-	Controllo
2	1,4	1,8	2,2	
3	0,5	0,4	2,7	
4	-	-	-	Controllo
5	1,6	3,4	1,2	
6	-	-	-	Controllo
7	0,8	1,4	0,6	
8	2,0	1,7	0,7	
9	1,1	2,6	3,0	
10	0,9	2,4	2,3	
11	4,8	3,5	5,3	
12	1,8	0,1	0,9	
13	1,1	1,7	0,2	
14	1,7	0,7	0,3	
15	2,2	0,9	0,2	
16	2,1	1,3	0,4	
17	0	1,0	2,3	
18	0,7	0,1	1,3	
19	0,5	4,7	0,1	
20	2,3	1,5	1,9	
21	4,3	3,3	3,9	
22	0,9	2,1	2,4	
23	2,8	0,2	1,7	
24	1,2	0	0,6	
25	0,4	1,1	1,5	
26	2,7	1,6	0	
27	3,4	1,5	3,3	
Media	1,7	1,6	1,6	M.T.: 1,6

Tabella 1 - Gli scarti (in millimetri) riportati nel progetto con le distorsioni simulate per la Minolta Dimage 7.

Punto	Variaz. x	Variaz. y	Variaz. z	Note
1	-	-	-	Controllo
2	0,1	0,2	0,3	
3	0,6	0,1	0,3	
4	-	-	-	Controllo
5	0	0,1	0	
6	-	-	-	Controllo
7	0	0,3	0,1	
8	0,5	0,2	0,5	
9	0,2	0,3	0,2	
10	0	0,1	0,4	
11	0,9	0,7	0,7	
12	0,2	0	0,1	
13	0	0,5	0,3	
14	0,5	0,2	0,1	
15	0,3	0,2	0,1	
16	0,7	0,3	0,1	
17	0,1	0,4	0,2	
18	0,2	0,2	0,4	
19	0,3	0,5	0	
20	1,4	0,3	0,1	
21	0,5	0,3	1,0	
22	0,2	0,2	0,5	
23	0,5	0,5	0,6	
24	0,2	0,2	0,6	
25	0	0	0,3	
26	0,2	0,2	0	
27	0,2	0,3	0,7	
Media	0,3	0,3	0,3	M.T.: 0,3

Tabella 2 - Gli scarti (in millimetri) riportati nel progetto privo di distorsioni.

Fatto interessante, quando non sono presenti distorsioni, i fattori di errore sono risultati identici, in media, nelle tre componenti x, y e z. Questi errori possono quindi, a mio giudizio, essere interpretati come sistemaci, ovvero risultato dei limiti intrinseci nei mezzi usati; in particolare un fattore determinante è sicuramente la risoluzione della fotografia, ovvero il numero di pixel in rapporto alle dimensioni dell'oggetto considerato.

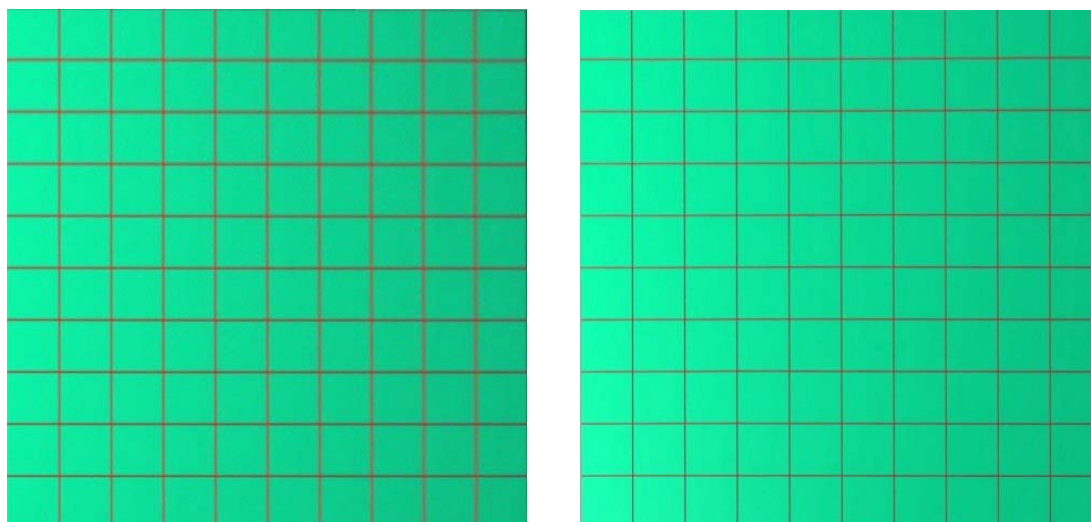


Figura 3 - Il fotopiano della griglia nel progetto privo di aberrazioni (sinistra) e con le aberrazioni simulate (destra)

La verifica successiva ha avuto lo scopo di testare la qualità della correzione prospettica effettuata da Photomodeler sulle textures applicate alle superfici. Per fare ciò ho creato un fotopiano di una delle facce del solido con sopra la griglia regolare, e sono andato a misurare le deformazioni di questa griglia.

La figura 3 mostra il risultato di questa operazione. Per quanto riguarda il progetto senza aberrazioni, la regolarità del risultato è notevole, e lo scostamento massimo rispetto al campione è di circa 1.600 ppm, con una media paragonabile a quella riscontrata nelle misure dei punti. La buona qualità del risultato è visibile anche in un ingrandimento dell'immagine precedente con sovrapposta, in colore magenta, la griglia originaria (figura 4). Nella stessa immagine si nota uno strano effetto di "tremolio" delle righe orizzontali che, paradossalmente, non si è verificato nel caso del progetto con l'aberrazione simulata (figura 5).

Nel caso del progetto con l'aberrazione simulata l'errore rilevato è stato in media doppio rispetto al caso precedente, con una punta massima di 4.500 ppm sul bordo estremo dell'immagine, ancora una volta dimostrando come la calibrazione effettuata a priori dia risultati di gran lunga migliori rispetto a quella del programma.

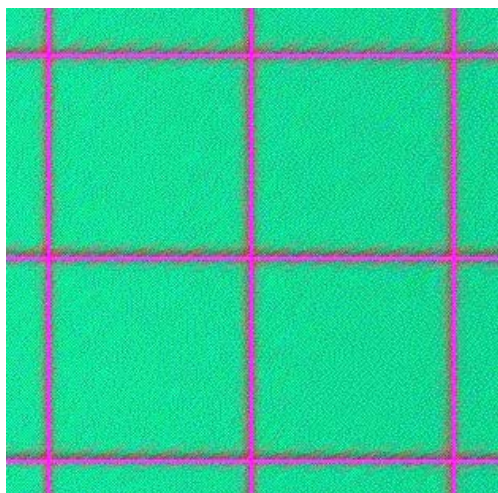


Figura 4 - Dettaglio della figura precedente con sovrapposta la griglia originaria.

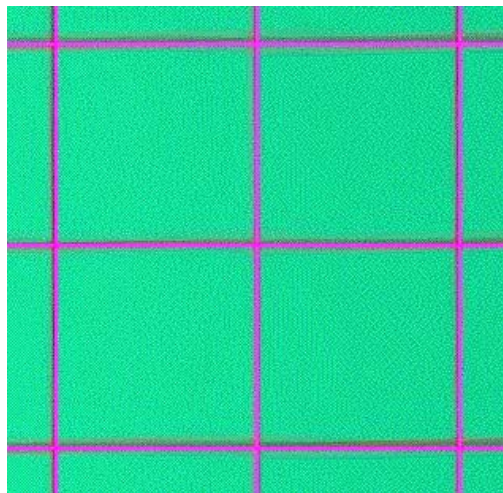


Figura 5 - Particolare analogo al precedente, ma relativo al progetto con l'aberrazione simulata.