

# LA FOTOGRAMMETRIA SFERICA

## UNA NUOVA TECNICA PER IL RILIEVO DEI VICINI

di Gabriele Fangi

Grazie all'elevata tecnicità della fotografia digitale, la fotogrammetria sferica ha ampliato le proprie capacità. Il ricampionamento, la correlazione di immagine o lo stitching permettono di realizzare fotomosaici accrescendo, così, la già lunga storia della fotogrammetria architettonica

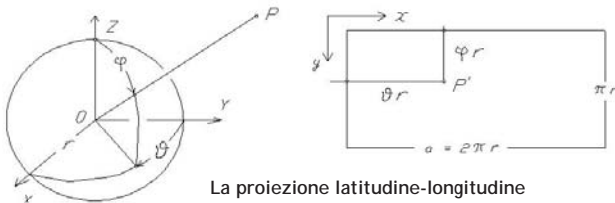
La formazione dei cosiddetti mosaici di scena costituisce un caso molto particolare nel campo della fotogrammetria sferica. Il ricampionamento segue tecniche proprie delle rappresentazioni cartografiche. Da un unico punto l'orizzonte viene ricoperto da immagini parzialmente ricoprentesi. Le fotografie vengono poi proiettate su una sfera virtuale che a sua volta è mappata su piano secondo la cosiddetta proiezione azimut-zenit o equirettangolare ovvero latitudine-longitudine, chiamato anche panorama sferico. Le equazioni della rappresentazione sono molto semplici  $x=r.\theta$  e  $y = \varphi.r$  ove  $\theta$  e  $\varphi$  sono gli angoli di direzione al punto oggetto,  $x$  e  $y$  le coordinate immagine ed  $r$  il raggio della sfera.

Chiesa di S. Maria della Carità (AP) - Uno dei panorami dell'interno.



In altre parole le coordinate immagine del panorama sferico, sono la registrazione delle direzioni al punto scalate di un valore pari al raggio della sfera, tutte quelle che si otterrebbero con un teodolite. La principale differenza con questo, a parte ovviamente la precisione, è che l'asse della sfera non può essere messo verticale con lo stesso grado di precisione  $d$ , è quindi necessario stimare due angoli di rotazione attorno ai due assi orizzontali  $x$  e  $y$ . Le equazioni tra le coordinate terreno  $X, Y, Z$  di un arbitrario punto oggetto  $P$ , le coordinate sfera  $X', Y', Z'$  del suo punto immagine  $P'$ , in un sistema centrato nel centro della sfera di coordinate  $X_0, Y_0$ , e  $Z_0$  e parallelo a quello terreno, sono

$$\begin{bmatrix} X-X_0 \\ Y-Y_0 \\ Z-Z_0 \end{bmatrix} = \lambda \begin{bmatrix} X' \\ Y' \\ Z' \end{bmatrix} = \lambda \begin{bmatrix} r_1 & r_2 & r_3 \\ r_4 & r_5 & r_6 \\ r_7 & r_8 & r_9 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X^* \\ Y^* \\ Z^* \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & -d\alpha_y \\ 0 & 1 & d\alpha_x \\ d\alpha_y & -d\alpha_x & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} d \sin \theta \sin \varphi \\ d \cos \theta \sin \varphi \\ d \cos \varphi \end{bmatrix} \quad [1]$$



Dividendo la prima per la seconda si elimina la distanza all'oggetto  $d$  e le [1] diventano con semplici passaggi:

$$\begin{aligned} x &= r \cdot \left( -\theta_0 + \operatorname{atg} \frac{(X-X_0) - d\alpha_y(Y-Y_0)}{(Y-Y_0) + d\alpha_x(Z-Z_0)} \right) \\ y &= r \cdot \operatorname{acos} \frac{d\alpha_y(X-X_0) - d\alpha_x(Y-Y_0) + (X-X_0)}{\sqrt{(X-X_0)^2 + (Y-Y_0)^2 + (Z-Z_0)^2}} \end{aligned} \quad [2]$$

Se poniamo  $d\alpha_x = d\alpha_y = 0$  otteniamo le consuete equazioni alla direzione orizzontale e all'angolo zenitale, avendo trascurato l'effetto di sfericità e rifrazione.

La restituzione avviene per intersezione di due o più rette proiettive [2]. I panorami vengono orientati come si orienta una stazione di teodolite. In alternativa si può usare la tecnica della "poligonale cieca" (Fangi 1998), cioè usare la condizione di complanarità per orientare un panorama rispetto ad un altro. In questo caso, si stimano le coordinate modello di una serie di punti e si effettua la rototraslazione nel sistema di riferimento. I modelli attigui possono essere concatenati. Da ultimo si può effettuare la compensazione di blocco a fasci proiettivi.

Ove si accetti una precisione ridotta si può usare il normale software topografico, ovvero effettuare compensazioni combinate teodolite-panorami. I vantaggi di questa tecnica consistono nel fatto che si ha a disposizione una specie di (pseudo) fotocamera ideale:

- risoluzione molto elevata (es. 30.000 x 15.000 pixel);
- costi molto bassi;
- angolo di campo fino a 360°;
- libretto di campagna ideale in cui sono registrate tutte le possibili direzioni angolari provenienti da un punto;
- estrema velocità di esecuzione;
- nessuna distorsione;
- possibilità di usare normale software topografico;
- possibilità di effettuare compensazioni combinate teodolite-panorama.

**ALCUNI ESEMPI**

Gli esempi di restituzione di beni culturali ottenuti con la fotogrammetria sferica sono ormai molto numerosi, come gli interni delle chiese, le facciate monumentali, piazze. Si presentano qui tre casi esemplari per certi versi antitetici fra loro, ciascuno con una sua particolarità:

1. la chiesa di Santa Maria della Carità ad Ascoli Piceno;
2. Plaza de Armas a Cuzco, Perù;
3. Ad Deir (Monastero) a Petra, Giordania.

Il primo caso riportato fa riferimento ad un rilievo eseguito dal laboratorio del dipartimento come attività conto terzi; obiettivo del lavoro: soddisfare le richieste di una committenza. Negli altri casi si trattava di riprese fotografiche nate in occasione di viaggi turistici, quindi senza pretese di completezza. Nel caso di un lavoro commissionato, si debbono soddisfare requisiti di precisione e di interezza che rendono il lavoro alquanto oneroso. Al contrario quando si agisce *en tourist*, l'obiettivo consiste solamente nel raggiungimento di una testimonianza, di una documentazione che non può essere completa né esaustiva, ma solamente la più ricca possibile di informazioni e di documentazione, compatibilmente con tempi disponibili, sempre molto limitati.

**LA CHIESA DI SANTA MARIA DELLA CARITÀ AD ASCOLI PICENO**

Si tratta di una chiesa barocca, costruita nel XVI secolo, su disegni di Cola d'Amatrice e di Conte Conti, dalle notevoli e ricche decorazioni. L'interno è a navata unica coperta a botte e contraffortata da sette muri trasversali, fra i quali sono sistemate le cappelle, termina con una zona absidale







Chiesa di S. Maria della Carità (AP) - Uno dei panorami della facciata, la curvatura visibile si deve alla proiezione sferica.

dove si trova l'altare maggiore. Dopo gli eventi sismici di aprile 2009, si voleva accertare la condizione di stabilità dell'edificio. Il rilievo è stato eseguito con la tecnica della fotogrammetria sferica. Per la misura di alcune particolarità come la verticalità delle pareti e le sezioni della volta, si è proceduto per rilievo diretto con stazione totale *reflectorless* per punti isolati.

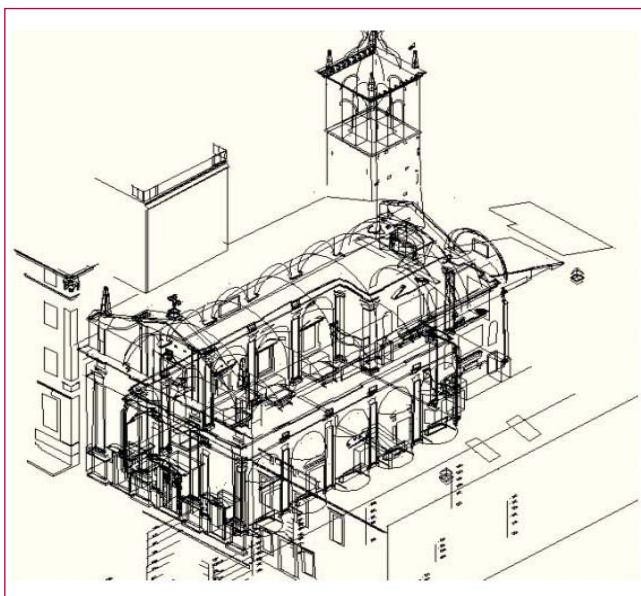


La Chiesa di S. Maria della Carità - Sezione trasversale (G. Mariotti, M. Villani, L. Baldassarri).

Sono stati realizzati:

- una rete di circa cinquanta punti di appoggio costituita da quattro stazioni, una collocata all'interno, una per la facciata, due per la copertura;
- diciassette panorami all'interno della chiesa, quattro per la facciata, e dieci per la copertura.

La precisione di restituzione è stata soddisfacente, dell'ordine del centimetro, al di là delle aspettative.



Chiesa di S. Maria della Carità (AP) - Il modello a filo di ferro (G. Fangi).



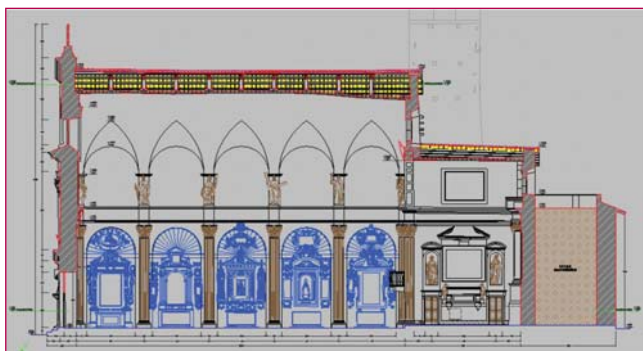
La chiesa S. Maria della Carità (AP) - Il disegno del decoro interno è stato ottenuto con il *monoplotting* (G. Mariotti, M. Villani, L. Baldassarri).

### IL MONOPLOTTING

Quando l'oggetto da restituire giace su un piano oppure su una superficie definibile matematicamente attraverso punti è possibile la restituzione da un solo panorama. Le rette proiettive vengono intersecate con la superficie. In questa maniera è possibile restituire forme complesse, non altrimenti restituibili in monoscopia. La restituzione del decoro interno della chiesa è avvenuta con il *monoplotting*. Individuato il piano medio, la restituzione è avvenuta tramite il panorama frontale. La procedura non è rigorosa, ma non si avevano alternative e comunque la committenza non era interessata tanto al decoro quanto alla struttura dell'edificio.

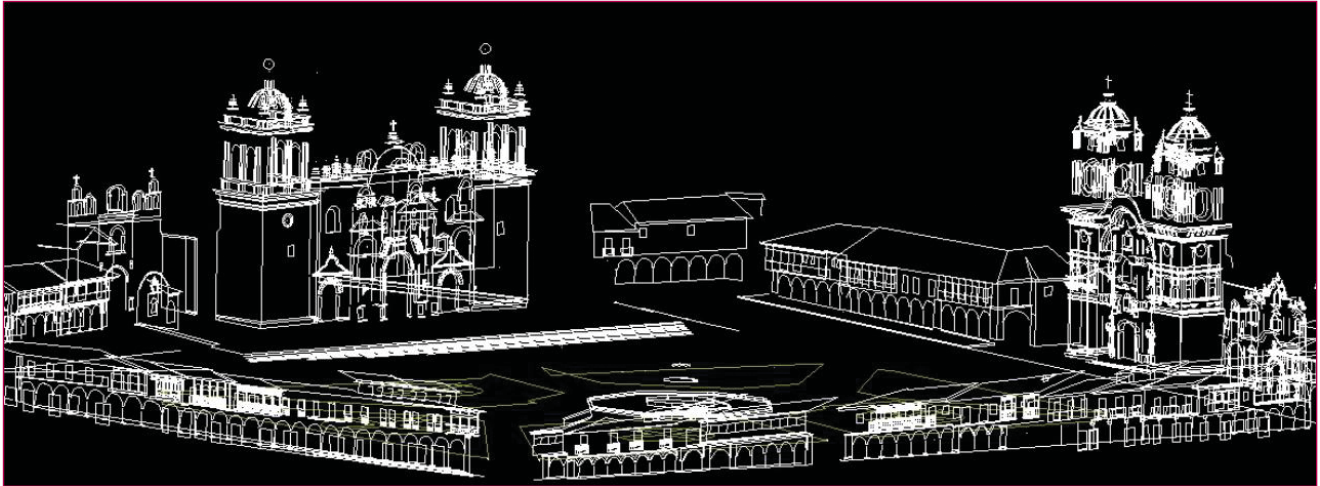
### PLAZA DE ARMAS - CUZCO, PERÚ

Cuore dell'antica capitale Incas, Plaza de Armas a Cuzco espone una serie pregevolissima di monumenti barocchi spagnoli coloniali, tra i quali la Cattedrale, la chiesa della Compagnia del Gesù e l'ingresso monumentale dell'Università di Sant'Antonio Abate, la seconda università più antica del sud America. Nel novembre 2007, in occasione di una visita turistica, sono stati realizzati tredici panorami, di cui dieci disposti lungo il perimetro della piazza, e tre in posizione centrale. Nessuna misura è stata effettuata sul posto.



Chiesa di S. Maria della Carità - sezione longitudinale (G. Mariotti, M. Villani, L. Baldassarri).





Plaza de Armas, Cuzco, Perù - Modello a filo di ferro, a sinistra la Cattedrale, a destra la chiesa della Compagnia del Gesù (restituzione G. Fangi).



Chiesa della compagnia del Gesù - Render (C.M. Agostani).

In un secondo momento, è stato realizzato il modello, orientato e dimensionato con le coordinate UTM fornite da *Google Earth* ad alta risoluzione, non avendo niente di meglio a disposizione per l'orientamento e il dimensionamento (Fangì 2008b).

#### AD DEIR - PETRA - GIORDANIA

Si tratta del monumento più pregevole dell'architettura nabatea. Costruito nel I secolo a.C., probabilmente in onore del re Obada I, il monumento è stato ricavato scavando

nella roccia tenera della montagna. Le sue dimensioni sono imponenti, l'altezza arriva a 45 metri. La facciata, articolata su due piani, è caratterizzata da imponenti colonne e culmina in alto con una grande urna circolare sopra un corpo cilindrico posto in posizione centrale, nel mezzo di due timpani triangolari simmetrici spezzati. In alto il fregio con triglifi, metope circolari e capitelli, si presenta nel tipico stile nabateo, caratterizzato da una estrema stilizzazione e semplicità; davanti al Monastero si apre un grande piazzale, probabilmente destinato alle cerimonie.



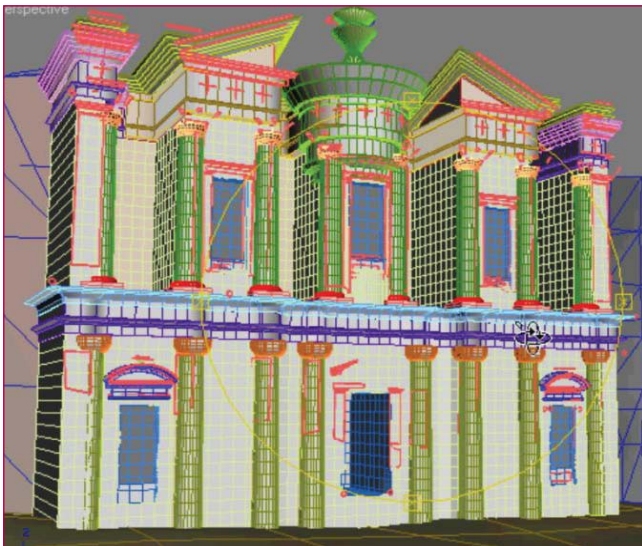
Ad Deir, Petra.  
Il panorama di sinistra.



## IL RILIEVO

Nell'aprile 2008 sono stati realizzati tre panorami da posizione frontale. Per il dimensionamento del modello, si è potuta prendere solamente una misura di distanza, con un distanziometro *disto*. Le fasi della restituzione sono state:

1. orientamento dei panorami, formazione del modello, e suo dimensionamento;
2. realizzazione del modello a filo di ferro;
3. modello solido approssimativo;
4. *fotoediting* o fotomodellazione in ambiente CAD mediante proiezione dei panorami orientati sopra il modello grezzo.



Ad Deir, il modello grezzo, in rosso le linee del modello a filo di ferro (E. D'Annibale).

## LA FOTOMODELLAZIONE

La restituzione a filo di ferro produceva un risultato poco soddisfacente in quanto, a causa della mancanza di stereoscopia, è stato impossibile restituire la quasi totalità del monumento costituito da superfici irregolari. La superficie del tempio infatti si presenta alquanto erosa a causa dell'azione del vento e del tempo sulla roccia tenera. Per ovviare a questo limite si è pensato di fare ricorso al *fotoediting* in ambiente CAD. In primo luogo si è passati dal modello a filo di ferro al modello solido, ancorché molto approssimativo.



Ad Deir. Il modello finale con la texture costituita dalla proiezione del panorama centrale. Sono molto numerose le occlusioni (E. D'Annibale).

In ambiente 3D Studio sono stati quindi immessi i panorami orientati, dei quali erano note la posizione e l'orientamento. Il panorama, così posizionato, è stato proiettato sopra il modello, rendendo possibile l'*editing* del modello,

modificandone la forma, aggiungendo dettagli, fino a quando questo non coincideva con la proiezione del panorama. Infine il panorama proiettato ha "vestito" il modello finale, costituendone la texture. Il procedimento descritto, è stato ideato e messo in opera da Enzo D'Annibale (D'Annibale, Fangi 2009).

## CONCLUSIONI

La fotogrammetria sferica apre un nuovo capitolo della storia, alquanto lunga, della fotogrammetria architettonica. Tale tecnica è caratterizzata da velocità di esecuzione, completezza della documentazione ed esiguità dei costi e consente inoltre la formazione di filmati *Quicktime*, interattivi, validissimi strumenti di documentazione.

## RIFERIMENTI

- Armetta V., Dominaci D., Fangi G. (2008), *Applicazione di fotogrammetria panoramica per il rilievo della chiesa di San Cataldo a Palermo*, 12ª Conferenza Nazionale Asita, L'Aquila, 21-24 ottobre 2008, pp. 159-164.
- D'Annibale E., Fangi G. (2009), *Interactive modeling by projection of oriented spherical panorama*, 3D-Arc'2009, 3D Virtual Reconstruction and Visualization of complex Architectures - Trento 25-29 febbraio 2009- ISPRS Archives - Vol XXXVIII-5/W1 1682-1777.
- Fangi G. (2007a), *Una nuova fotogrammetria architettonica con i panorami sferici multimmagini*, in Atti Convegno Sifet, Arezzo, 27-29 giugno 2007.
- Fangi G. (2007b), *The Multi-image spherical Panoramas as a tool for Architectural Survey*, in Atti XXI International CIPA Symposium, 1-6 ottobre 2007, Atene, ISPRS International Archive - Vol. XXXVI-5/C53 - ISSN 1682-1750 - CIPA Archives vol. XXI-2007 ISSN 0256-1840 - pp.311-316.
- Fangi G. (2007c), *La Fotogrammetria sferica dei mosaici di scena per il rilievo architettonico* - in «SIFET», n. 3, pp. 23-42.
- Fangi G., Clini P., Fiori F. (2008), *Simple and quick digital technique for the safeguard of Cultural Heritage. The Rustem Pasha mosque in Istanbul*, DMACH 4 - 2008 - Digital Media and its Applications in Cultural Heritage 5 - 6 novembre, 2008, Amman pp. 209-217
- Fangi G. (2008), *El levantamiento fotogrametrico de Plaza de Armas en Cuzco por medio de los panoramas esfericos* - XXX Convegno Internazionale di Americanistica, Perugia (Italia), 6-12 maggio 2008.
- Fangi G. (2009), *FurtherDevelopments of the Spherical Photogrammetry for Cultural Heritage*, XXII Cipa Symposium, Kyoto, 11-15 ottobre 2009.
- Fangi G., Schiavoni A. (2009), *Un'esperienza di Mobile Mapping con la fotogrammetria sferica*, in Atti della 13ª Conferenza Nazionale Asita, 1-4 dicembre 2009, Bari.
- Mastroiacono M., Fangi G., Nardinocchi C., Sonessa A. (2008), *Un'esperienza di rilievo fotogrammetrico basato su panorami sferici*, in 12ª Conferenza Nazionale Asita, L'Aquila, 21-24 ottobre 2008 - pp. 1451-1456.

## ABSTRACT

### *Spherical Photogrammetry*

*Photogrammetry has expanded its horizons thanks to digital photography with techniques such as resampling, image enhancement or correlation of image; among the possibilities introduced the image stitching enables to paste partial photos. Through the new possibilities offered by spherical photogrammetry, it'll open a new chapter of history of the architectural photogrammetry.*

## AUTORE

GABRIELE FANGI  
GABRIELFANGI@GMAIL.COM