

## RADDRIZZAMENTO DIGITALE APPLICATO AL RILIEVO DI BENI CULTURALI

### 1. INTRODUZIONE

I metodi di rilievo basati sull'acquisizione digitale delle immagini si stanno rapidamente affiancando a quelli tradizionali che prevedono l'uso della tecnica fotogrammetrica. L'elaboratore, ancora una volta, si trova al centro del sistema ed il software, sempre più interattivo e facile da utilizzare anche per i non addetti ai lavori, permette di eseguire rilievi bidimensionali (oggetti piani o considerabili come tali, e quindi raddrizzamento) o nelle tre dimensioni (restituzione digitale).

I procedimenti di raddrizzamento digitale, più o meno rigorosi, sono oramai ampiamente utilizzati per una vasta serie di applicazioni. Tuttavia, vogliamo richiamare l'attenzione su alcuni aspetti del metodo e sulle caratteristiche che il software specializzato (dedicato, cioè, all'ambito strettamente fotogrammetrico) presenta. Inoltre, riportiamo alcune considerazioni su una tecnica di ripresa digitale che stiamo attualmente studiando, allo scopo di ottenere uno strumento di rilievo flessibile nel settore dei beni culturali.

### 2. L'IMMAGINE

L'immagine digitale, come noto, è un insieme discreto di punti (di dimensione finita) caratterizzati da un valore di luminanza (per chiarezza ci riferiamo ad un'immagine monocromatica). Ogni punto è caratterizzato quindi da una coppia di coordinate che ne individuano la posizione sul piano dell'immagine, e da un numero che caratterizza il colore (su una scala di grigi). I programmi di raddrizzamento operano sulle immagini digitali calcolando, per ogni punto dell'immagine affetta dalla deformazione prospettica, le coordinate corrispondenti nell'immagine non distorta.

I modelli analitici utilizzati per indicare tale deformazione sono i seguenti:

$$X = a_1 + b_1x + c_1y \quad \text{Trasformazione affine} \quad [1]$$

$$Y = a_2 + b_2x + c_2y$$

$$X = (a_1 + b_1x + c_1y)/(ux + vy + 1) \quad \text{Trasformazione prospettica} \quad [2]$$

$$Y = (a_2 + b_2x + c_2y)/(ux + vy + 1)$$

Nella trasformazione affine, i raggi proiettanti sono paralleli tra loro. Questo si verifica, ad es., per distanze di presa elevate. Invece, nella trasformazione prospettica i raggi proiettanti convergono in un punto, ossia il centro della prospettiva.

I programmi di raddrizzamento digitale, nella maggior parte dei casi, operano utilizzando queste relazioni: per ogni punto  $(x_d, y_d)$  vengono calcolate le coordinate corrette  $(x_n, y_n)$ .

Per citare un esempio, il programma Archis (Siscam) prevede un algoritmo di correzione a sei parametri, ossia una trasformazione affine.

Quanto detto finora, però, riguarda solo deformazioni di natura prospettica. E le altre cause di deformazione dovute, ad es., all'ottica? Osservando le [1] [2], si vede chiaramente come le sole variazioni di scala lineari vengano assorbite dal modello. Se si vuole correggere anche la distorsione radiale dell'ottica, che (com'è noto) viene solitamente espressa con il polinomio di grado  $n$ :

$$d_r = k_1 r^3 + k_2 r^5 + k_3 r^7 + \dots \quad [3]$$

occorre correggere le coordinate  $(x_d, y_d)$  del contributo [3] prima di inserirle nella [1] o nella [3].

I parametri che compaiono nelle [1] e [2] sono ricavati, rispettivamente, per mezzo di un minimo di 3 o 4 punti noti oppure indicando, sull'immagine, una serie di linee che, nella realtà dell'oggetto, sono sicuramente orizzontali o verticali. In questo caso, il programma ricostruisce il centro della prospettiva e dopo si ricava i parametri di trasformazione.

### 3. APPLICABILITÀ

Il raddrizzamento, in generale, si applica su oggetti piani, o comunque quando la massima variazione nel profilo non supera l'1% della distanza camera-oggetto. La disponibilità di punti di coordinate note, ed in numero sovrabbondante, è da preferire al metodo delle linee di fuga perchè si ottiene, oltre alla determinazione dei parametri, l'immagine già portata alla scala corretta. Per oggetti di piccole dimensioni, si può ricorrere ad una cornice o ad un campo di ripresa tarato.

La camera da presa deve avere requisiti ottico-meccanici elevati, in quanto deve assicurare una distorsione legata all'ottica che sia a livelli accettabili ed un'ottima planarità al film. In caso contrario si restringerà la porzione centrale di fotogramma raddrizzato che può essere utilizzata (dalla [3] si vede chiaramente che la distorsione radiale cresce all'aumentare della distanza dal centro).

Qualora un singolo fotogramma raddrizzato non sia sufficiente a coprire l'estensione della superficie dell'oggetto da rilevare, si provvede alla mosaicatura di più immagini raddrizzate. Si tratta di un'opzione comunemente presente nei programmi di raddrizzamento. Occorre individuare un certo numero di punti di collegamento tra le due immagini (presenti, perciò, nella zona di sovrapposizione): in base alle loro coordinate immagine, il software calcola i parametri necessari alla scalatura di una delle due immagini

(questo nell'ipotesi che siano state raddrizzate con il metodo delle linee di fuga; se si utilizzano i punti di coordinate note, le immagini dovrebbero trovarsi già alla stessa scala, a meno di piccole imprecisioni). Come risultato si ottiene un'immagine unica, nel formato prescelto, che necessita solo di una eventuale scalatura per adeguarla alle caratteristiche di risoluzione del dispositivo di output (plotter elettrostatico, inkjet o altro).

#### 4. METODI DI ACQUISIZIONE DELL'IMMAGINE

L'immagine di lavoro può essere acquisita con diverse modalità. La più comune prevede l'utilizzo di una camera fotogrammetrica (o anche professionale, purchè con i requisiti visti in precedenza) e la successiva digitalizzazione dei fotogrammi ottenuti. La risoluzione varia in funzione del dispositivo di output (e anche della scala finale del plottaggio che si vuole ottenere). In alternativa, si possono utilizzare i dorsi digitali recentemente presentati da diversi Costruttori (es. Kodak, Rollei, Zeiss) che trasformano una camera tradizionale (metrica, semimetrica o professionale) in un sistema di ripresa digitale. Dispositivi interni od esterni permettono di registrare una serie di immagini alla risoluzione stabilita dal sensore d'immagine (tecnologia CCD) che si trova all'interno. Il vantaggio, in questi casi, è di evitare la conversione immagine analogica-digitale realizzata con lo scanner, in quanto l'immagine è già acquisita in forma digitale. Si segnala il costo elevato (per ora) di questi dorsi digitali e la necessità (se le immagini da acquisire sono molte) di un dispositivo di memorizzazione esterno (ad es., personal computer portatile).

Attualmente stiamo indagando la possibilità di utilizzare una videocamera amatoriale per raccogliere una serie di immagini "on the fly", memorizzarle su nastro, e digitalizzarle successivamente. Il segnale video, in questi apparati, viene registrato in forma analogica (segnale video composito); occorre quindi ricampionare il segnale. Si effettua, di norma, solo un campionamento asincrono, il cui effetto è di deformare l'immagine con una variazione di scala anisotropa (SENA 1991). Dal punto di vista dimensionale, la geometria del pixel viene persa, ma l'operazione successiva di raddrizzamento riporta l'immagine in scala corretta e quindi la rende nuovamente utilizzabile. Non si ha, certamente, una qualità confrontabile con quella dell'immagine fotografica digitalizzata, ma il vantaggio principale è nel controllo in real time della ripresa televisiva attraverso il finder della telecamera. Inoltre, su una cassetta di media capacità si possono memorizzare innumerevoli immagini (bastano pochi secondi per ripresa).

Un approccio al problema di questo tipo richiede, oltre alla videocamera, anche la disponibilità di un frame grabber (campionatore di immagini), accessorio un tempo esotico e che oggi si trova a buon mercato con una serie di driver che ne permettono l'utilizzo in ambiente Windows.

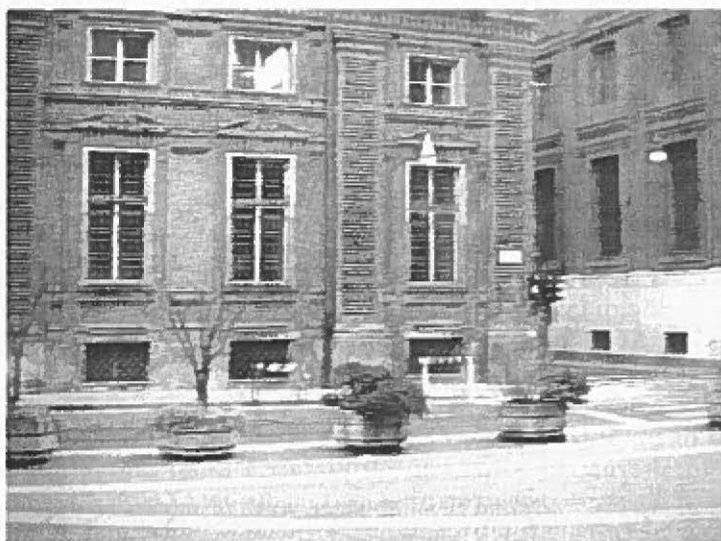


Fig. 1 - Palazzo Carignano - Torino.



Fig. 2 - Immagine raddrizzata.

Nella Fig. 1 si può osservare una ripresa (facciata nord di Palazzo Carignano a Torino) effettuata con una videocamera amatoriale (formato Video-8). Il frame grabber utilizzato è un processore Itex 100 (Imaging

Technology), con una finestra di campionamento pari a 768 x 576 pixel. Nella Fig. 2 si vede la stessa immagine raddrizzata per linee, e quindi ancora da scalare con l'introduzione di almeno due distanze note.

A prescindere dalla qualità di stampa, l'immagine che si ottiene al termine del processo non presenta contorni ben definiti (è un problema dovuto al campionamento e alla bassa risoluzione del sensore): non dimentichiamoci che abbiamo basato su una videocamera "consumer". Siamo comunque in fase di acquisizione di una camera digitale ad alta risoluzione (la scelta è orientata ai modelli adatti per visione artificiale, robotica, controlli industriali) che permetterà un incremento della precisione nel prodotto "raddrizzamento digitale".

Per concludere, suggeriamo di non procedere alla post-elaborazione dell'immagine raddrizzata con filtri del tipo "edge enhancement" o forzature del contrasto perché questi portano uno scadimento, dal punto di vista metrico, dell'immagine, anche se questa risulta di migliore osservazione.

CARLO ALBERTO BIROCCO

L.A.TER. Laboratorio di Analisi Territoriali  
Centro Ricerche Archeologiche e Scavi di Torino

#### BIBLIOGRAFIA

AA. VV. 1989, *Manual of Non-Topographic Photogrammetry*, 2ª ed., ASPRS, Virginia (USA).

CAPPELLINI V. 1985, *Elaborazione numerica delle immagini*, Torino, Boringhieri.

SELVINI A. 1988, *Principi di fotogrammetria*, Torino, Clup.

#### ABSTRACT

The present technique of digital image processing follows the concepts of the analytical rectification, allowing for the elimination of the geometric distortions from the original image and the retrieval of the correct dimensional information.

The work image can be produced in various ways: usually, sampling was made with scanners, but recently a new method is becoming more and more used, that is the acquisition of digital images directly on ground by means of digital cameras with CCD image sensor.

The appropriate software is now offered by various Producers of photogrammetric equipment and, in various cases, it allows us to carry out the survey of manufactured items which are almost flat starting from a single image, realizing a vectorial graphics superimposed in CAD environment.