

Fly Scan: una novità italiana nel campo della scansione per applicazioni fotogrammetriche

Lo scanner "fotogrammetrico"

Cosa si intende per "scanner fotogrammetrico"?

Questa terminologia viene oggi utilizzata per indicare un'apparecchiatura che, oltre a svolgere la funzione fondamentale di ogni dispositivo di scansione d'immagini, cioè trasformare un'immagine su supporto tradizionale (pellicola) in immagine "numerica", possiede particolari caratteristiche di precisione e di stabilità.

Occorre premettere che un sistema di restituzione fotogrammetrica digitale non è dotato di dispositivi di misura delle coordinate immagine: esso serve solo a determinare i punti (pixel) omologhi che daranno luogo alla misura. Lo scanner costituisce perciò l'apparecchiatura che, trasformando i fotogrammi destinati alla restituzione fotogrammetrica in immagini numeriche, determina le coordinate dei punti e può quindi stravolgere il contenuto geometrico del fotogramma stesso.

Su tale apparato va quindi concentrata la nostra attenzione (un tempo dedicata al restitutore) affinché l'operazione di restituzione sia ancora fondata su una solida base geometrica che ne garantisca la precisione e l'affidabilità.

Possiamo così riassumere le caratteristiche peculiari di uno scanner fotogrammetrico:

- garanzia di assoluta fedeltà geometrica rispetto all'originale;
- buona risposta "radiometrica", idonea a riprodurre i livelli di grigio o sfumature di colore presenti nel film originale per consentire all'operatore che utilizza i fotogrammi digitali una buona visione dei particolari;
- stabilità nel tempo delle caratteristiche di cui sopra;



Figura 1 - Lo scanner Fly Scan

- disponibilità di una procedura oggettiva che possa certificare le proprietà di cui ai precedenti punti.

Fly Scan: architettura e schema di principio

La risoluzione, molto spinta, richiesta per la scansione di un fotogramma aereo (dimensioni 23x23 cm) destinato alla restituzione fotogrammetrica, viene realizzata proiettando, per mezzo di un obiettivo appositamente progettato, una porzione di immagine su un sensore CMOS di tipo a matrice avente una dimensione utile di 2048x2048 pixel. Per coprire tutta l'area utile occorre spostare il sensore e l'ottica di trasporto immagine in un certo numero di posizioni predefinite dipendenti dall'ingrandimento dell'ottica di trasporto, oltre che dalle dimensioni fisiche del sensore.

Si intuisce facilmente che i sistemi che movimentano il gruppo composto dal sensore e dall'ottica di trasporto devono possedere determinate caratteristiche di precisione e stabilità.

Lo schema generale dello scanner è rappresentato in Fig. 2. Una robusta struttura di supporto contiene i dispositivi di movimentazione e misura, il sistema di illuminazione, il gruppo costituito dal sensore CMOS e dall'ottica di trasporto immagine ed infine l'unità di alimentazione e di interfacciamento verso il PC. Quest'ultimo, col software di pilotaggio e di interfaccia utente, costituisce parte integrante dello strumento.

Lo schema funzionale è semplice: il sensore, con la sua ottica, viene spostato nelle posizioni di acquisizione da un sistema di

La fotogrammetria da immagini digitali è oggi pienamente accettata per la produzione di cartografia tecnica e tematica a tutte le scale: i restitutori digitali si stanno imponendo sempre di più anche in virtù della loro flessibilità operativa, della facilità d'uso, dell'assenza di grossi investimenti iniziali e per la manutenzione, dei vantaggi che offrono nell'organizzazione del lavoro all'interno della realtà produttiva.

L'informazione primaria continua comunque ad essere costituita in larghissima parte da immagini su film che, inevitabilmente, devono essere trasformate in dati numerici per essere utilizzate nei sistemi di restituzione digitale.

Risulta chiara l'importanza dell'apparecchiatura che svolge quest'ultima funzione: su di essa si deve concentrare tutta l'attenzione necessaria affinché le operazioni di restituzione siano ancora fondate su una solida base geometrica che ne garantisca la consueta precisione.

In questa breve nota viene presentato lo scanner fotogrammetrico Fly Scan: si tratta di uno strumento progettato e costruito in Italia per le applicazioni di alta precisione nel quale è stata particolarmente curata la precisione geometrica, la fedeltà radiometrica e la semplicità strutturale.

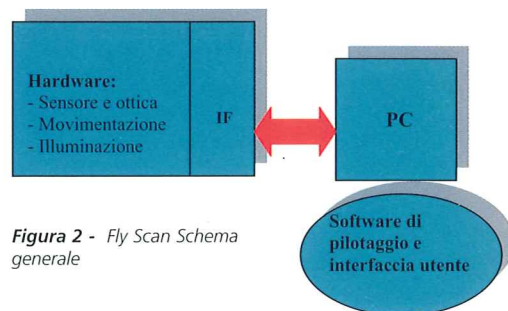


Figura 2 - Fly Scan Schema generale

carrelli guidati da servomotori controllati da trasduttori lineari di altissima risoluzione e precisione. Il film da scandire è interposto fra l'illuminatore e il sensore di acquisizione.

Il dispositivo di illuminazione

Si tratta di un dispositivo innovativo che utilizza come sorgente dei LED ad alta potenza combinati con opportuni sistemi di guida della luce emessa. È in grado di illuminare tutto il formato utile del fotogramma, re-

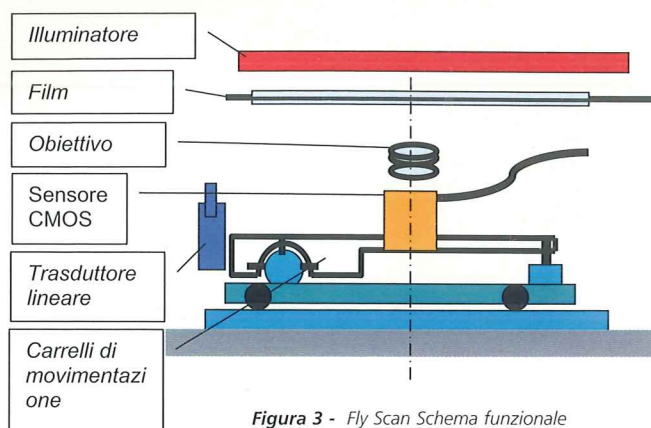


Figura 3 - Fly Scan Schema funzionale

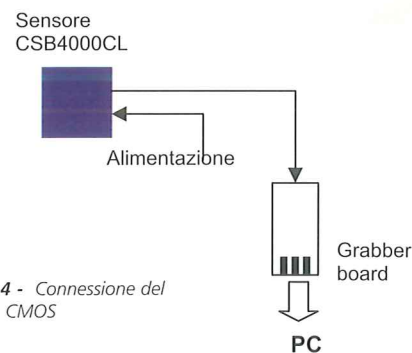


Figura 4 - Connessione del sensore CMOS

stando in posizione fissa rispetto al sensore CMOS. Il sistema presenta numerosi vantaggi come un'alta intensità e un'alta uniformità di illuminazione unite ad un'elevata robustezza meccanica e ad una vita media di oltre 40.000 ore. L'illuminazione, programmabile dal computer che pilota lo scanner, può essere in luce bianca oppure nei tre colori fondamentali (RGB) per la scansione dei fotogrammi a colori.

La trasduzione dell'immagine sulla superficie del sensore

Abbiamo già accennato all'obiettivo, che ha il compito di catturare una porzione d'immagine per tradurla sulla superficie del sensore CMOS. Tale dispositivo è determinante per la bontà della scansione finale. Possiamo così riassumere le sue caratteristiche:

- *distorsione massima inferiore a 0.004 mm;*
- *uniformità di fuoco;*
- *assenza di aberrazioni cromatiche;*
- *elevata risoluzione: migliore di 325 p/mm.*

Tali caratteristiche consentono di utilizzare l'immagine prelevata e inviata al sensore senza introdurre su di essa alcuna elaborazione che vada a modificare in qualche modo la distribuzione geometrica e radiometrica dei pixel acquisiti.

Sono disponibili tre tipi di obiettivi, facilmente intercambiabili, che consentono di realizzare scansioni con risoluzione di 3600 dpi, 2500 dpi, 1700 dpi.

Tenuto conto che la dimensione fisica del pixel è di 0.006 mm e che si considerano utili ai fini della formazione dell'immagine finale 1900 x 1900 pixel per ogni acquisi-

zione (un'area di 11.4 x 11.4 mm²), possiamo riassumere le caratteristiche della scansione nella tabella al lato.

La dotazione standard riguarda l'obiettivo 1:1.66 (risoluzione 2540 dpi), mentre altri due obiettivi (1:1.16 e 1:2.5) sono forniti su richiesta. E' chiaro che, partendo da un obiettivo che consente una risoluzione più elevata (3600 dpi), si possono ottenere, con opportune operazioni di ricampionamento, tutte le risoluzioni meno spinte; occorre tuttavia osservare che i tempi di scansione di un fotogramma completo dipendono pesantemente dal numero di acquisizioni necessarie alla sua copertura. In altri termini, quanto ai tempi non è conveniente partire da risoluzioni ottiche molto più elevate del necessario.

Caratteristiche del sensore di acquisizione

Si tratta di una camera TELI (Tokio Electronic Industry) ad alta risoluzione, con otturatore elettronico programmabile per qualsiasi tempo (fig.4), le cui caratteristiche sono descritte in tabella 1.

Modello:	CSB4000CL
Sensore:	CMOS
Nr. totale pixel:	2048 (H) X 2048 (V)
Pixel attivi:	2008 (H) X 2048 (V)
Dimensione pixel:	0.006 (H) X 0.006 (V) mm
Frame rate:	7.29 fps
Guadagno regolabile:	16 step (da 3db a 15db)

Tab.1 - Caratteristiche del sensore CMOS

Le procedure di calibrazione

Si è già detto che uno scanner fotogrammetrico deve possedere quei particolari requisiti di precisione geometrica e di fedeltà radiometrica che lo contraddistinguono da altre apparecchiature di scansione.

Eventuali errori sistematici dopo la messa a punto che segue il montaggio devono essere rilevati, verificati e corretti con procedure adeguate. La misura di questi eventuali errori sistematici viene effettuata ricorrendo a reticoli campione le cui dimensioni sono note e certificate; la procedura, analoga a quella che viene applicata nella taratura degli strumenti di stereorestituzione analitici, è stata messa a punto avendo presenti due

Tab.2 - Tabella delle caratteristiche di acquisizione

Ingrandim. ottico nominale	Dimensione pixel immagine (mm) / Risoluzione (dpi)	Area immagine coperta per ogni acquisizione (mm ²)	Numero totale di acquisizioni per coprire il fotogramma	Schema di una singola acquisizione
1.16	0.007 / 3600	13.3 x 13.3	8 x 18 = 324	
1.66	0.010 / 250	19 x 19	13 x 13 = 169	
2.5	0.015 / 1700	28.5 x 28.5	8 x 8 = 64	

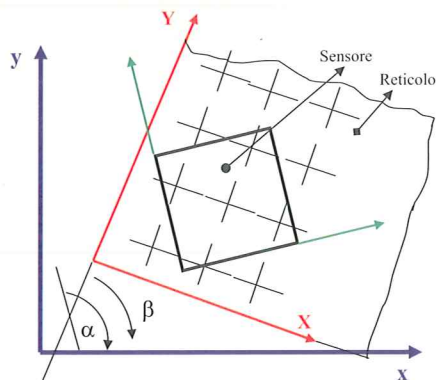


Figura 5 - Posizione del sensore e del reticolo rispetto agli assi strumentali

esigenze a nostro parere fondamentali:

- le procedure di calibrazione adottate non devono mai prevedere ricampionamenti che comportano trasformazioni geometriche sulle immagini acquisite;
- le procedure di calibrazione devono essere completamente automatiche; ciò consente di eseguirle in qualsiasi momento e con operazioni di tipo batch, a garanzia della oggettività del risultato.

Naturalmente queste procedure, oltre a consentire la determinazione di errori sistematici e la loro correzione, costituiscono anche una efficace metodologia per certificare lo stato dell'apparecchiatura.

Si eseguono sostanzialmente due tipi di calibrazione:

- calibrazione del sensore CMOS (calibrazione radiometrica);
- calibrazione della meccanica di movimentazione.

La calibrazione radiometrica si esegue a tre livelli: *linearizzazione della risposta dell'elemento sensibile CMOS, determinazione dell'immagine di "sfondo", bilanciamento del bianco*.

La linearizzazione della risposta del sensore permette di rendere lineare la legge che lega l'esposizione al livello di grigio reso dal CMOS; questa calibrazione può essere eseguita ad intervalli di qualche mese in quanto è legata alle proprietà fisiche del CMOS, che sono piuttosto stabili.

La determinazione dell'immagine di sfondo viene eseguita riprendendo l'intero formato utile dell'apparecchiatura in condizioni di totale trasparenza (densità zero), rilevando successivamente le discontinuità della risposta. L'immagine così acquisita (sfondo) verrà applicata come correzione durante la scansione: in questo modo si eliminano eventuali disuniformità residue.

Infine, poiché il sensore non "risponde" nello stesso modo quando è stimolato da lunghezze d'onda diverse, occorre determi-

nare i valori di esposizione nelle tre componenti fondamentali del colore (R,G,B) che rendono la risposta del sensore uguale nelle tre bande ed uguale alla risposta nel bianco: quest'ultima procedura è nota come bilanciamento del bianco.

La calibrazione della meccanica di movimentazione si esegue come già detto, utilizzando un reticolo opportunamente certificato e confrontando le misure delle posizioni dei marker o reper del reticolo, rilevate utilizzando lo scanner, con le misure note e certificate.

La procedura è totalmente automatica (senza alcun intervento dell'operatore) e può essere eseguita semplicemente disponendo del reticolo. L'individuazione dei vari crocchi del reticolo è fatta con procedure di acquisizioni multiple, onde ottenere una precisione subpixel.

In Fig. 5 è mostrata una generica posizione dei dispositivi (sensore, reticolo e assi strumentali di movimentazione) che entrano in gioco nella procedura di calibrazione.

I risultati della calibrazione vengono riassunti in un certificato che, di fatto, documenta lo stato dell'apparecchiatura. Il certificato riporta, per ciascuna coordinata, i seguenti dati:

- le coordinate teoriche;
- le coordinate misurate;
- le deviazioni;
- gli scarti residui;
- deviazione standard degli scarti.

Gli scarti residui rappresentano le differenze fra le deviazioni riscontrate e le correzioni apportate dalla funzione polinomiale di correzione: essi sono dunque molto significativi per la valutazione complessiva dell'apparecchiatura, in quanto rappresentano i valori che non saranno corretti e quindi indicano i limiti delle prestazioni della macchina.

Il software di gestione dello scanner

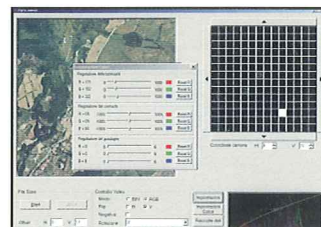
Costituisce una parte importantissima dello strumento, in quanto ne gestisce tutto il funzionamento e realizza l'interfaccia con l'utilizzatore. In particolare, il software svolge le seguenti funzioni fondamentali:

- programmazione del sensore e lettura delle immagini tramite librerie specializzate;
- pilotaggio servomotori per guidare il sensore nelle posizioni di acquisizione;
- esecuzione delle calibrazioni;
- pilotaggio motori per lo spostamento del rullo del film;
- produzione dell'immagine finale;

Figura 6
Tipica finestra della procedura automatica di calibrazione



Figura 7
Dialog box di preparazione per l'avvio della scansione



- gestione delle varie dialog box per i colloqui con l'operatore.

Quest'ultima funzione è stata particolarmente curata perché ritenuta di fondamentale importanza nel rendere l'apparecchiatura di facile gestione e uso.

Caratteristiche principali

Nella tabella che segue sono riassunte le caratteristiche principali di Fly Scan.

Film	Singoli fotogrammi o in rotolo Positivi o negativi B/N o colore
Area utile di scansione	250 x 250 mm
Illuminazione	Su tutta l'area utile mediante dispositivo fisso rispetto al carrello
Dispositivi di movimentazione e posizionamento	Servomotori ed encoder lineari
Risoluzione meccanica	0.0005 mm
Precisione di posizionamento	0.002 mm sqm
Ripetibilità	0.002 mm sqm
Movimentazione rullo film	Motori passo passo ed encoder rotativi
Risoluzione ottica di scansione	3600 dpi (Opzionale) 2500 dpi (Standard) 1700 dpi (Opzionale)
Risoluzione radiometrica	10 bit/canale
Riproducibilità toni di grigio	> 2.5 D
Tempi di acquisizione (risoluzione 2500 dpi)	Fotogramma 230x230 mm b/n circa 7 minuti colore circa 11 minuti
Computer e sistema operativo	PC Windows XP dedicato

Autori

GIANCARLO CAPANNI, ROMOLO DONNINI
SIMONE ORLANDINI, ANDREA RIGHI