

## **Riconoscimento e correzione automatica di fenomeni di hot spot in camere digitali aeree)**

Andrea Lingua, Paolo Maschio

Politecnico di Torino, Dipartimento di Ingegneria del Territorio, dell'Ambiente e delle Geotecnologie  
C.so Duca degli Abruzzi 24, 10129 Torino (TO), tel. 011-0907700, fax: 011-0907699  
e-mail: andrea.lingua@polito.it, paolo.maschio@polito.it

### **Riassunto**

Le camere fotogrammetriche digitali montate su piattaforma aerea stanno ormai da tempo soppiantando le camere analogiche comunemente utilizzate fino a pochi anni fa.

Le camere digitali di tipo *frame* permettono di acquisire immagini aeree utilizzando numerosi sensori tra cui i sensori pancromatici regolati da obiettivi con assi non paralleli tra loro e inclinati rispetto alla direzione di presa: questa geometria determina, spesso, l'insorgere di fastidiosi fenomeni di differenze di illuminazione tra le varie zone dell'immagine acquisita denominati *hot spot*, particolarmente importanti quando l'acquisizione fotogrammetrica è effettuata per produrre ortofoto. In questo contributo gli autori descrivono una procedura che permette di evidenziare la presenza di fenomeni di hot spot e correggerne automaticamente la gran parte degli effetti radiometrici nel campo del visibile. La procedura è stata applicata su numerosi casi derivati dal recente volo Regione Piemonte realizzato con camera DMC di produzione Z/I.

### **Abstract**

*The color quality of images acquired by aerial digital cameras is a substantial condition for a correct orthophoto mosaic. Hot spots and other illumination defects in used images often require manual editing operations to remove the visible seam lines between adjacent photos. In this paper, the authors propose an automatic procedure for hot spot removing using homomorphic filtering applied in frequencies domain.*

### **Introduzione**

Le camere fotogrammetriche digitali montate su piattaforma aerea hanno ormai da tempo soppiantando le camere analogiche comunemente utilizzate fino a pochi anni fa. Le caratteristiche delle camere digitali non seguono più regole e standard comuni (come succedeva nelle camere analogiche) ma sono costruite con sensori, risoluzioni e ottiche molto differenziate tra i vari produttori con soluzioni multi sensore e con geometrie di prese molto diverse dalle soluzioni canoniche in chiave analogica.

Per esempio le camere digitali di tipo *frame* permettono di acquisire immagini aeree utilizzando numerosi sensori sia per acquisire informazioni in varie bande (pancromatico, colori RGB, infrarosso vicino) sia per raggiungere le elevate risoluzioni necessarie alle tradizionali applicazioni fotogrammetriche cartografiche. Ne consegue che l'immagine definitiva viene generata in fase di *post-processing* mettendo insieme le varie immagini acquisite dai molteplici sensori, con tecniche di fusione e *pan-sharpening*.

La parte principale delle camere digitali sono i sensori pancromatici che, inseriti in percorsi ottici regolati da obiettivi con assi non paralleli tra loro, sono spesso inclinati rispetto alla direzione di presa: questa geometria determina spesso l'insorgere di fastidiosi fenomeni di illuminazione variabile tra le varie zone dell'immagine acquisita denominati *hot spot*.

Un *hot spot* è dovuto alla riflessione del sole all'interno del cono angolare definito dall'obiettivo e appare come una porzione dell'immagine digitale sovraesposta, scolorita e con dettagli poco evidenti particolarmente visibile e fastidiosa sull'acqua o sulle zone boschive.

Secondo (Paine, Kiser, 2008), la maggior probabilità di ritrovare *hot spot* nelle immagini acquisite si realizza quando la posizione del sole forma, con la direzione dello zenit, un angolo (*solar altitude*) inferiore alla metà dell'angolo di apertura dell'ottica utilizzata (*Field Of View, FOV*), come si può vedere in Figura 1. Si può comprendere che questa situazione si realizza spesso con elevazione solare maggiore di 50-60°, ovvero proprio nel periodo a cavallo del mezzogiorno solare consigliato in tutti i moderni capitolati speciali d'appalto per l'esecuzione di voli fotogrammetrici.

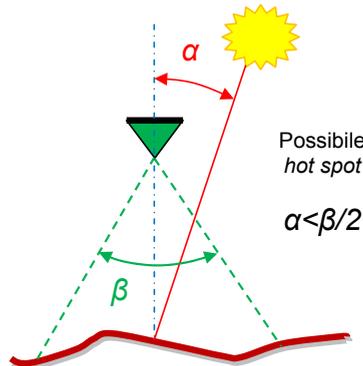


Figura 1 – Lo schema geometrico dell'*hot spot*:  $\alpha = \text{solar altitude}$ ,  $\beta = \text{FOV}$ .

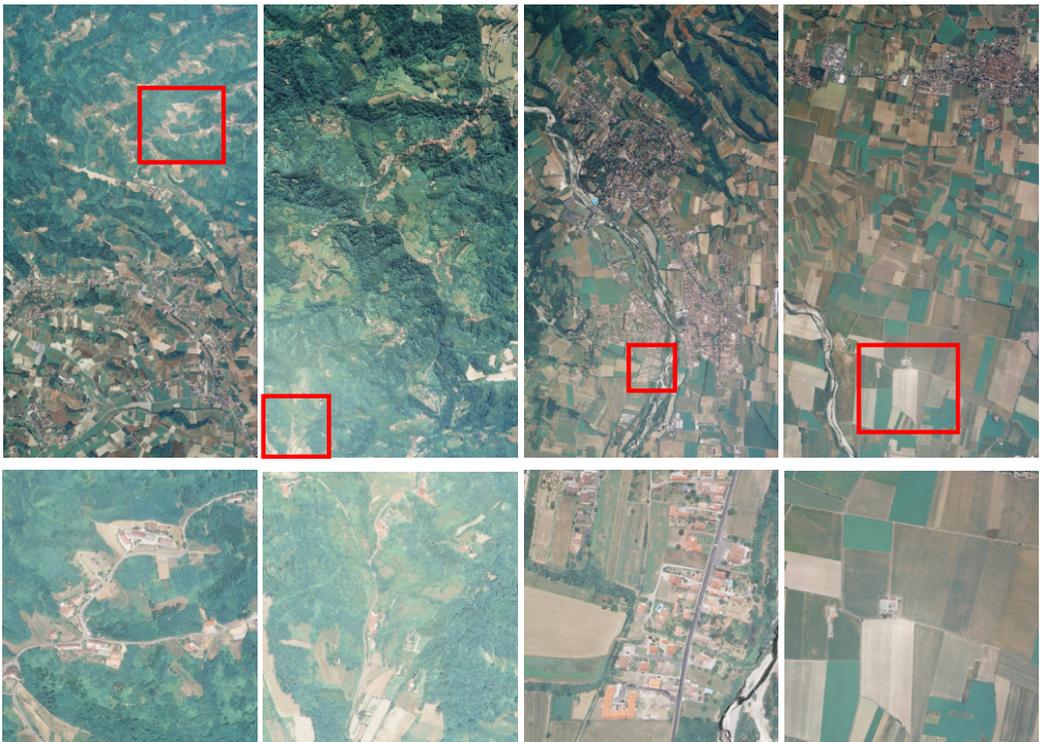


Figura 2 – Alcuni esempi di *hot-spot*, con i relativi zoom.

La Figura 2 mostra alcuni esempi di *hotspot* contenuti in fotogrammi aerei acquisiti con camera fotogrammetrica digitale di tipo *frame* (la DMC di Z/I). Questi effetti sono meno importanti se il volo fotogrammetrico viene utilizzato per la restituzione necessaria alla produzione di cartografia numerica: infatti, nelle zone degradate, i dettagli sono ancora visibili anche se, essendo i bordi radiometrici meno incisi, la precisione delle misurazioni potrà subire un lieve peggioramento.

Il fenomeno degli *hot spot* diviene particolarmente significativo quando si utilizzano i fotogrammi per la produzione di ortofoto digitali. Infatti, la loro presenza genera differenze sostanziali nell'illuminazione della stessa porzione di territorio sui vari fotogrammi che comportano, in fase di mosaicatura, problemi risolvibili solamente mediante tecniche manuali interattive: visto che, come ben noto, la produzione di ortofoto è un procedimento sostanzialmente automatico e quindi poco costoso, l'intervento umano per correggere gli effetti di una errata mosaicatura automatica o ancor peggio per realizzare una mosaicatura manuale "ad hoc" sono spesso insostenibili in termini economici.

In questo contributo gli autori descrivono una procedura automatica che permette di elaborare le immagini acquisite correggendo la gran parte degli effetti radiometrici nel campo del visibile dovuti fenomeni di *hot spot* attraverso un filtro omomorfo.

La procedura è stata applicata su numerosi casi derivati dal recente volo Regione Piemonte realizzato con camera DMC di produzione Z/I.

### Il filtro omomorfo

L'immagine di un oggetto acquisita mediante una camera digitale può essere schematizzata mediante il modello illuminazione-riflettanza (Gonzales, Woods, 2008). Una fonte di luce illumina, con una certa intensità ( $i$ ), l'oggetto che la riflette ( $r$ ): il segnale luminoso che arriva al sensore è quindi legato alle condizioni di illuminazione in cui si trova l'oggetto e alle proprietà della sua superficie.

L'immagine acquisita può, per tanto, essere rappresentata, in toni di grigio, mediante una funzione bidimensionale  $f(x,y)$  non nulla e di valori finiti avente due componenti combinate tra loro in modo moltiplicativo:

1. l'illuminazione  $i(x,y)$  è determinata dalle caratteristiche della sorgente di illuminazione;
2. la riflettanza  $r(x,y)$  dipende dalle proprietà della superficie dell'oggetto (materiale e colore);

$$f(x,y) = i(x,y) \cdot r(x,y) \quad [1]$$

in cui la natura della componente  $i(x,y)$  è non nulla e finita mentre la componente  $r(x,y)$  è compresa tra 0 (assorbimento totale) e 1 (riflessione totale).

L'equazione [1] non può essere utilizzata direttamente per separare l'illuminazione e la riflettanza nel dominio di frequenza (mediante la *Fast Fourier Transformation*, FFT) in quanto:

$$FFT\{f(x, y)\} \neq FFT\{i(x, y)\} \cdot FFT\{r(x, y)\} \quad [2].$$

Per separare le componenti di luminosità e riflettanza, è necessario ricorrere ad un artificio matematico, applicando il logaritmo naturale all'equazione [1]. In questo modo si trasforma la moltiplicazione tra le due componenti in addizione:

$$L(x,y) = \ln[f(x, y)] = \ln[i(x, y)] + \ln[r(x, y)] \quad [3]$$

da cui, passando nel dominio di frequenza:

$$FFT\{\ln[f(x, y)]\} = FFT\{\ln[i(x, y)]\} + FFT\{\ln[r(x, y)]\} \quad [4]$$

$$F_f(u, v) = F_i(u, v) + F_r(u, v) \quad [5]$$

dove  $F_i(u, v)$  e  $F_r(u, v)$  sono rispettivamente la trasformata di Fourier del logaritmo dell'illuminazione  $\ln[i(x, y)]$  e della riflettanza  $\ln[r(x, y)]$ .

E' possibile quindi utilizzare un semplice filtro lineare  $H(u, v)$  per elaborare la  $F_f(u, v)$  in modo da separare gli apporti legati all'illuminazione e alla riflettanza:

$$Z(u, v) = H(u, v)F_f(u, v) = H(u, v)F_i(u, v) + H(u, v)F_r(u, v) \quad [6]$$

dove  $Z(u, v)$  è la trasformata di Fourier del risultato che si vuole ottenere. Ovviamente, il ritorno al dominio spaziale prevede l'applicazione dell'antitrasformata di Fourier e della funzione inversa del logaritmo (esponenziale). Questo metodo è basato su un caso speciale di una classe di sistemi, detti omomorfici (Etemadnia, Alsharif, 2003), da cui la tecnica di filtraggio omomorfo.

L'utilizzo di un semplice filtro lineare permette di separare le componenti mediante semplici considerazioni di base:

- l'illuminazione è generalmente caratterizzata da lente variazioni spaziali, molto graduali che influenzano porzioni estese dei fotogrammi aerei e possono pertanto essere immaginate come componenti a bassa frequenza del segnale registrato;
- la riflettanza è legata al colore degli oggetti presenti sul territorio e al materiale di cui sono costituiti ed è, in genere, caratterizzata da brusche variazioni localizzate lungo i contorni radiometrici che possono essere interpretate come componenti ad alta frequenza.

Ne consegue che, nell'applicazione pratica, occorre pertanto individuare un filtro  $H(u, v)$  in grado di operare in modo diverso sulle componenti di bassa frequenza e su quelle di alta frequenza della trasformata di Fourier dell'immagine. Come consigliato da (Sun, Zhanga, 2008), è possibile utilizzare un filtro gaussiano che tende a smorzare il contenuto delle basse frequenze (illuminazione) e ad amplificare il contenuto delle alte frequenze (riflettanza):

$$H(u, v) = (\gamma_H - \gamma_L) [1 - e^{-c(D(u,v)^2/D_0^2)}] + \gamma_L \quad [7]$$

$(\gamma_L < 1, \gamma_H > 1)$

dove  $D_0$  è la frequenza di taglio,  $\gamma_L < 1$  indica l'influenza residua con cui considerare le basse frequenze,  $\gamma_H > 1$  esprime quanto evidenziare le alte frequenze,  $c$  è un parametro che controlla la pendenza della funzione di transizione tra  $\gamma_L$  e  $\gamma_H$ ,  $D(u, v)$  è la distanza dal centro dell'immagine nel dominio di frequenza. In Figura 3 sono visualizzate la superficie corrispondente alla funzione  $H(u, v)$  per la zona centrale dell'immagine e una sua sezione radiale.

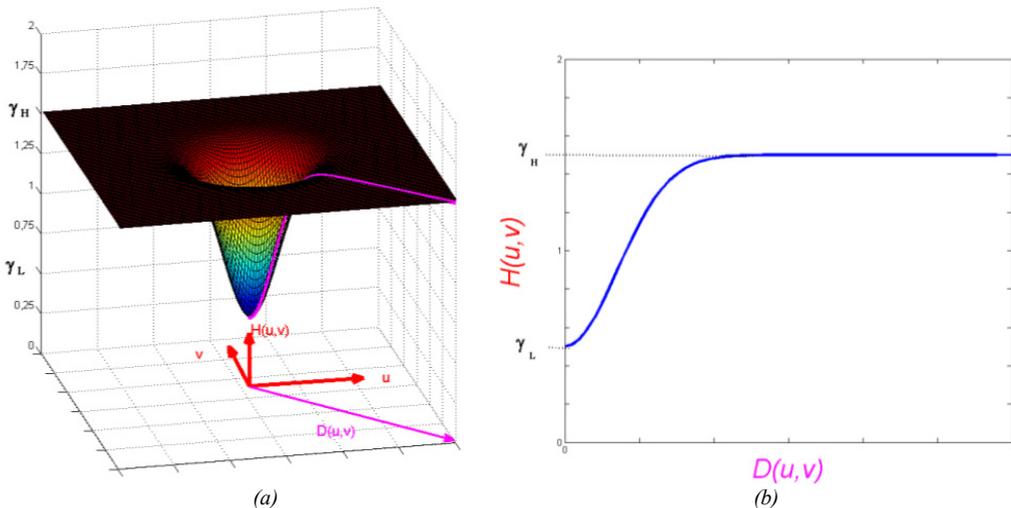


Figura 3 – Il filtro passa-alto gaussiano (a) visualizzazione 3D (b) sezione radiale.

### La procedura di rimozione degli *hot spot*

La Figura 4 rappresenta mediante un diagramma a blocchi la procedura seguita per realizzare la correzione degli *hot spot*. Nel caso di fotogrammi aerei è necessario aggiungere due fasi:

- una fase iniziale di *pre-processing* che permette di trasformare l'immagine di input (in genere RGB) nello spazio colorimetrico  $YCbCr$  per separare l'intensità  $Y$  dalle componenti cromatiche  $C_b$  e  $C_r$  meno influenzate dall'illuminazione;
- una fase finale di *post-processing* per estendere i toni radiometrici appiattiti verso il basso (proprio a causa della rimozione delle basse frequenze) mediante *gamma correction*, associare le componenti cromatiche  $C_b$  e  $C_r$  e generare una nuova immagine RGB.

L'intera procedura è stata realizzata in ambiente MATLAB<sup>®</sup> con un'interfaccia utente in modalità GUI (*Graphic User Interface*, vedi Figura 5).

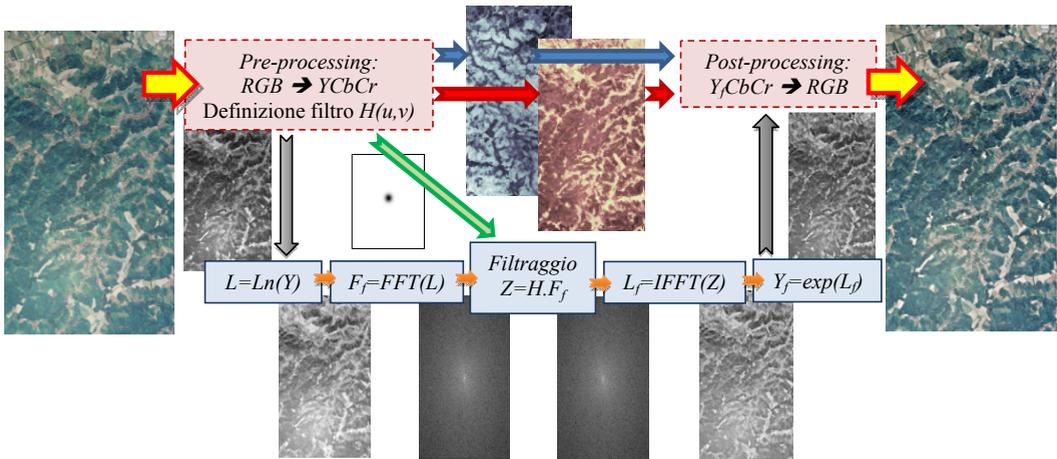


Figura 4 – Diagramma a blocchi di un filtraggio omomorfo.

La verifica dell'algorithmo è stata effettuata sul campo grazie al progetto ortofoto della Regione Piemonte iniziato nell'anno 2009 con il fine di realizzare DTM e ortofoto in scala nominale 1:10000 su tutto il territorio di competenza. Nel volo fotogrammetrico eseguito dalla ditta ICE in collaborazione con Stereocarto, a causa delle condizioni atmosferiche che hanno costretto a volare praticamente solamente in estate, si sono riscontrati numerosi casi di *hot spot*. Sono stati pertanto estratti numerosi esempi e trattati con il software realizzato: le elaborazioni sono state realizzate a partire dai dati forniti e non dai dati originali a 12 bit, in quanto non erano disponibili. Mediante numerosi tentativi e analisi, sono stati fissati i valori ottimali dei parametri del filtro:  $D_0 = 14$ ,  $\gamma_L = 0.75$ ,  $\gamma_H = 1.25$ ,  $c = 1$ . Ogni immagine ha richiesto circa 30 minuti di elaborazione su PC standard, ma il processo è sempre stato interamente automatico.

Alcuni esempi di immagini a cui sono stati rimossi la gran parte degli effetti di *hot spot* sono visibili in Figura 6: le immagini originali sono contenute nella Figura 2.

### Conclusioni

Le moderne camere digitali sono particolarmente sensibili agli effetti dovuti alla presenza di *hot spot*. Se è necessario utilizzare questi fotogrammi per la produzione di ortofoto è bene che gli *hot spot* siano in gran parte rimossi in modo automatico, senza comportare operazioni manuali di *editing* economicamente insostenibili.

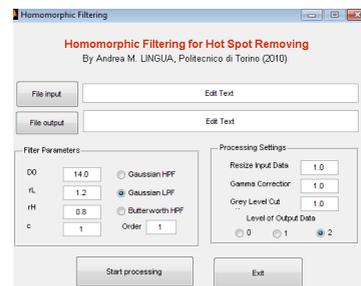


Figura 5 – La videata di lancio della procedura in MATLAB<sup>®</sup>

Il filtraggio omomorfo permette di rimuovere buona parte degli effetti *hot spot* in modo automatico mediante una procedura che riduce l'effetto delle basse frequenze (illuminazione differenziata) esaltando gli aspetti riflettivi mediante un filtro passa alto gaussiano applicato nel dominio di frequenza. Per i fotogrammi aerei prodotti dalla camera DMC di Z/I sono stati determinati i migliori parametri che regolano la procedura di filtraggio.



Figura 6 – Alcuni esempi di rimozione dell'effetto di hot spot (le immagini originali sono visibili in Figura 2).

### Bibliografia

- Sun M. W, Zhanga J. Q., (2008), “Dodging research for digital aerial images”, The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. Vol. XXXVII. Part B4. Beijing (China) 349-353
- Haest B., Biesemans J., Horsten W., Everaerts J., Van Camp N., Van Valckenborgh J. (2009), “Radiometric calibration of digital photogrammetric camera image data”, ASPRS 2009 Annual Conference, Baltimore, Maryland “ March 9-13, 2009
- Paine D.P., Kiser J. D. (2003), *Aerial Photography and Image Interpretation*, 2nd Edition”, Ed. Wiley, 143-146
- R.C. Gonzalez, Woods R. E., *Digital Image Processing*, 3<sup>rd</sup> edition, Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey 07458, 2008
- Etemadnia H., Alsharif M. R., “Automatic Image Shadow Identification using LPF in Homomorphic Processing System”, Proc. VIIth Digital Image Computing: Techniques and Applications, Sun C., Talbot H., Ourselin S. and Adriaansen T. (Eds.), 10-12 Dec. 2003, Sydney, 429-438
- <http://academic.mu.edu/phys/matthysd/web226/L0219.htm> (ultima consultazione 04.09.2010)