

**"DESTRIPIING" DI IMMAGINI
LANDSAT MSS E TM**

Rapporto interno C89-34

Giugno 1989

Luciano Fortunati

"Destriping" di immagini Landsat MSS e TM

L. Fortunati

Rapporto interno C89-34

Istituto CNUCE - Pisa

Copyright Giugno 1989

1 - Introduzione

Uno dei maggiori contributi di rumore nei dati Landsat MSS e TM (MultiSpectral Scanner e Thematic Mapper) e' lo "striping" prodotto dai sensori, a causa della differente risposta dei "detector". Questo si traduce in una degradazione dell'immagine acquisita che si presenta come un insieme di strisce orizzontali, molto evidenti e quindi sgradevoli all'osservatore umano.

Lo striping (detto anche "streak noise") e' prodotto da una varieta' di cause che risiedono principalmente nella non perfetta calibrazione radiometrica dei sensori MSS e TM.

Questi sensori risultano composti, per ciascuna banda spettrale, da piu' detector disposti in fila ("linear array").

Per il MSS si hanno quattro array di 6 detector mentre per il TM si hanno sette array di 16 detector.

Per ciascuna operazione elementare di scanning ("scan swath") il sensore acquisisce contemporaneamente 6 o 16 linee di immagine (rispettivamente per il MSS e il TM), per ciascuna banda spettrale.

Considerando il sensore di una sola banda spettrale, poiche' i vari detector non hanno la medesima sensitivita' radiometrica (definibile in termini di "gain" e "offset"), risulta che le linee dell'immagine acquisita sono piu' o meno luminose, determinando cosi' l'effetto di uno striping regolare.

Cio' persiste nonostante le correzioni effettuate sui dati a seguito delle operazioni di taratura del sensore mediante la scansione di una tavola di tonalita' di grigi ("gray wedge") posta alla fine di ciascun movimento di scansione (data l'impossibilita' di porre un analogo target sulla scena reale).

La presenza di questa degradazione nell'immagine, oltre ad essere poco gradevole all'occhio umano se non viene rimossa prima dell'"enhancement", puo' risultare addirittura inaccettabile nel caso di enhancement mediante operazioni

di rapporto tra bande o comunque quando siamo in presenza di bassi valori del rapporto segnale-rumore.

Per correggere il problema dello striping periodico generalmente si fa ricorso a tecniche di correzione basate sulla statistica dei dati acquisiti dai sensori stessi; queste sono note come:

- correzione lineare
- correzione non lineare (modifica dell'istogramma)

e prevedono entrambe che sia verificata l'ipotesi che i vari detector siano esposti alle radiazioni di scene aventi (approssimativamente) la stessa distribuzione di probabilita'.

L'applicazione dei suddetti metodi comporta che:

- i valori dei pixel dell'immagine corretta risultano comunque legati ai valori di radianza della scena reale;
- la scala di tonalita' dell'immagine corretta rimane simile a quella dei dati grezzi (non si hanno effetti di "stretching");
- non si ha perdita di risoluzione ne' aumento del livello di rumore.

Quanto detto tende a correggere gli errori radiometrici prodotti dal sensore e considerati come fenomeno periodico.

Da un altro punto di vista, si possono considerare gli errori radiometrici come variazione nel tempo della sensitivita' del sensore e quindi considerare non periodico l'effetto.

Questo e' piu' propriamente il caso, ad esempio, dei dati prodotti dal sensore VHRR dei satelliti NOAA, in cui viene fatto uso di un singolo detector per banda spettrale.

Il metodo usato per correggere questo tipo non periodico di striping puo' essere pero' applicato efficacemente anche nel caso di striping periodico, tipico dei sensori MSS e TM, usando una tecnica di equalizzazione radiometrica.

2 - Striping periodico: correzione lineare

Questo semplice metodo si applica nel caso in cui i detector abbiano una funzione di trasferimento lineare e costante nel tempo.

Detto D il numero dei detector in un sensore, ciascun detector acquisisce una sottoimmagine costituita da tutte le linee D -esime. L'immagine globale (di M righe e N colonne) e' formata quindi interallacciando le varie sottoimmagini.

L'elemento della sottoimmagine relativa al detector d si puo' esprimere come una funzione lineare della radianza della scena:

$$g_d(i_dj) = G_d f_d(i_dj) + O_d$$

dove $i_d = d, d + D, d + 2D, d + 3D, \dots$ e $j = 1, 2, 3, 4, \dots, N$.

Se fossero noti (a priori o tramite procedure di calibrazione) i valori costanti del guadagno G_d e dell'offset O_d di ciascun detector, si potrebbe facilmente risalire al valore assoluto della radianza della scena calcolato come:

$$f_d(i_dj) = \frac{g_d(i_dj) - O_d}{G_d}$$

e quindi risulterebbe superato il problema della correzione dello striping.

Poiche' cosi' non e' e ai fini del destriping non interessa calcolare i valori assoluti, si risolve il problema determinando i valori (relativi) del guadagno e dell'offset facendo uso di valori statistici dei dati acquisiti dai detector.

Se, per una immagine sufficientemente grande, ciascuna sottoimmagine ha approssimativamente la stessa distribuzione di probabilita' dei valori di radianza della scena globale, allora il guadagno e l'offset di ciascun detector possono essere determinati in funzione della media e della deviazione standard dei valori misurati dal sensore (e cioe' dell'immagine globale).

Detti μ e σ il valor medio e la deviazione standard dell'immagine globale e μ_d e σ_d il valor medio e la deviazione standard della sottoimmagine del detector d , si ha:

$$\sigma_d = G_d \sigma \quad \text{e} \quad \mu_d = G_d \mu + O_d$$

da cui si ricavano:

$$G_d = \frac{\sigma_d}{\sigma} \quad \text{e} \quad O_d = \mu_d - G_d \mu$$

E' quindi cosi' possibile ricalcolare il valore corretto di ciascun detector d :

$$f_d^x(i_d j) = (g_d(i_d j) - \mu_d) \frac{\sigma}{\sigma_d} + \mu$$

Nel caso in cui si abbia $\sigma_d = \sigma$, si ottiene

$$f_d^x(i_d j) = g_d(i_d j) + (\mu - \mu_d)$$

e cioe' si ha solo uno "shifting" di tutti i valori acquisiti dal detector della quantita' $(\mu - \mu_d)$.

Operativamente si procede calcolando il valor medio e la deviazione standard di ciascuna sottoimmagine e dell'immagine globale; quindi, per ciascun detector, si costruisce una tabella che fa corrispondere ad ogni valore dei pixel della sottoimmagine il nuovo valore determinato, secondo la formula precedente, in funzione di σ , μ , σ_d e μ_d .

Quindi si effettua la correzione per tutti i pixel di tutte le sottoimmagini.

Questo metodo risolve solo parzialmente i problemi dello striping nelle immagini Landsat MSS e TM.

Per il MSS, una ragione e' dovuta al fatto che, mediamente, su un range di 128 possibili valori dei pixel dell'immagine, solo circa un quarto corrispondono a quelli di un normale territorio (cio' a seguito della decompressione effettuata sui dati inviati a terra dal sensore in modo compresso logicamente).

I valori bassi (specialmente nelle bande a piccola lunghezza d'onda) sono praticamente inesistenti in quanto e' preponderante l'effetto di scattering

dell'atmosfera; nel range dei valori alti, in corrispondenza di nuvole, neve e ghiaccio, spesso si ha la saturazione del sensore, determinando così un "clipping" dei valori misurati. Un analogo risultato di clipping si verifica a volte in corrispondenza dei valori bassi (nelle bande a grande lunghezza d'onda) a causa dell'offset negativo del sensore.

Questi effetti, che rendono conseguentemente non lineare la funzione di trasferimento del sensore, si possono ridurre effettuando il destriping dell'immagine non considerando i valori bassi e quelli alti, determinando due valori di soglia o una percentuale di valori sul totale.

3 - Striping periodico: correzione non lineare (modifica dell'istogramma)

Questo metodo di correzione radiometrica riduce con maggior successo l'effetto dello striping, anche nel caso di comportamento non lineare del sensore.

Consideriamo un sensore avente funzione di trasferimento $f(x)$, tale che $x' = f(x)$, dove x e x' sono i valori di ingresso e di uscita del sensore (x sono i valori di radianza della scena e x' sono i valori rilevati dal sensore).

Dette $p(x)$ e $p'(x')$ le funzioni di densita' di probabilita' dei valori di ingresso e di uscita, si considerino le rispettive funzioni cumulative di densita' di probabilita' $P(x)$ e $P'(x')$; si puo' dimostrare che nel caso di $f(x)$ monotonica e non decrescente si ha:

$$P(x) = P'(x')$$

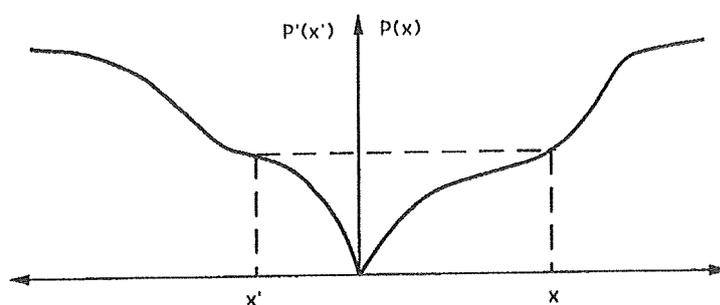
Quindi, note le funzioni $P(x)$ e $P'(x')$, si puo' determinare il valore x' rilevato dal sensore in funzione del valore di radianza della scena, e viceversa. Infatti:

$$P(x) = P'(x') = P'(f(x))$$

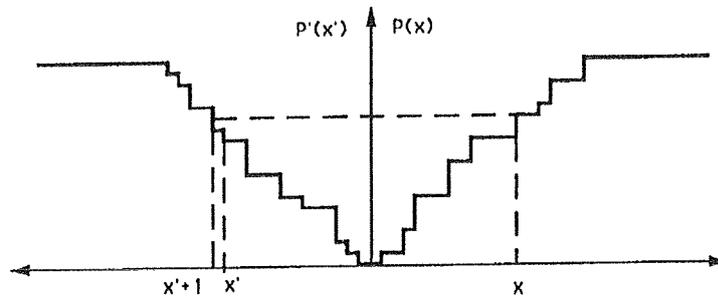
da cui si ottiene:

$$x' = f(x) = (P')^{-1}P(x)$$

La rappresentazione grafica di quanto detto risulta notevolmente piu' intuitiva:



Quanto detto vale per i sensori aventi funzione di trasferimento continua; considerazioni analoghe si possono fare anche nel caso di sensori che producono valori di output discreti (P e P' sono in questo caso funzioni discrete).



Poiche' la funzione di densita' di probabilita' della scena reale non e' nota, possiamo assumere che questa sia sostituibile con quella dei valori rilevati dal sensore, relativamente alla scena globale, per cui avremo rilevazioni di correzione non piu' assolute ma relative.

Deve comunque essere valida l'ipotesi che ciascun detector acquisisca valori di radianza relativi a scene aventi simili probabilita' di distribuzione.

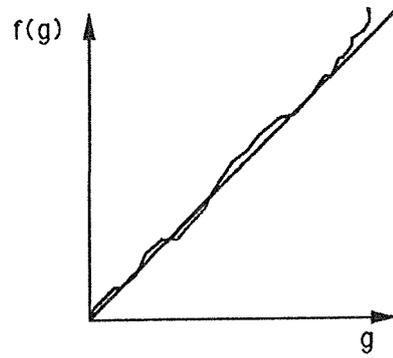
Detti $H(f)$ e $H_d(g)$ gli istogrammi cumulativi dell'intera immagine e della sottoimmagine relativa al detector d , e n e n_d siano i rispettivi pixel che le compongono ($n = MN$ e $n_d = MN/D$), la correzione si ottiene facendo corrispondere gli istogrammi cumulativi delle singole sottoimmagini all'istogramma cumulativo dell'immagine globale.

Cio' equivale a modificare gli istogrammi delle sottoimmagini e quindi a determinare per ciascun detector una funzione di trasferimento $f^* = f(g)$ tale che:

$$n_d H(f) \leq n H_d(g) < n_d H(f + 1)$$

In questo modo si costruisce cosi' per ciascun detector una tabella ("destriping look-up table") che sara' usata per modificare tutti i valori di radianza rilevati dai detector.

L'effetto della non linearita' del sensore si puo' anche evidenziare tracciando le funzioni rappresentate nelle varie tabelle usate per la correzione. Queste risultano del tipo:



in cui i segmenti orizzontali corrispondono a valori di pixel che non compariranno piu' nell'immagine corretta (come contributo di quel detector).

4 - Applicazione dei metodi

La teoria esposta relativamente ai metodi di correzione puo' essere applicata cosi' come descritta.

Un punto di vista leggermente diverso che comporta variazioni nell'applicazione dei metodi, e' quello che tende ad individuare, tra i vari detector, quelli che comportano distorsione ("noisy detectors") rispetto agli altri considerati come riferimento ("quiet detectors").

Cio' prevede un processo di decisione relativo ai criteri da usare per effettuare la selezione, a monte della fase di correzione.

Si introduce quindi il parametro di discriminazione τ_d definito come:

$$\tau_d = \frac{|\delta_d|}{S}$$

dove δ_d e' la deviazione del valor medio della sottoimmagine del detector d rispetto al valor medio dell'immagine globale e S e' la deviazione standard dei valor medi delle sottoimmagini, e cioe':

$$\delta_d = \mu_d - \mu \quad \text{e} \quad S = \sqrt{\frac{\sum_{d=1}^D (\mu_d - \mu)^2}{D}}$$

dove $\mu = \frac{1}{D} \sum_{d=1}^D \mu_d$ e D e' il numero dei detector.

Se si indica con τ_D la deviazione media

$$\tau_D = \frac{1}{D} \sum_{d=1}^D \tau_d$$

potremo stabilire il criterio di discriminazione in modo tale che tutti i detector per i quali risulta:

$$\tau_d - \tau_D > 0$$

saranno considerati noisy detector.

In questo caso le correzioni saranno applicate solo ai dati prodotti dai noisy detector, considerando come riferimento quelli prodotti dai quiet detector.

5 - Striping non periodico: equalizzazione radiometrica

La variazione nel tempo della sensitività del sensore è considerata la causa principale di questo tipo di striping. Se questa variazione è lenta, si può supporre che lungo una linea di scansione tale variazione non sia apprezzabile. In questo caso potremo considerare gli errori radiometrici come variazioni "da linea a linea" della risposta del sensore.

Se $R(x_i, y_j)$ è la radianza da misurare e $V(x_i, y_j)$ è il valore misurato dal sensore, possiamo dire che:

$$V(x_i, y_j) = g_j R(x_i, y_j)$$

dove g_j è una funzione (lineare o non lineare) che dipende dall'indice di linea j .

Consideriamo due linee di dati j e k ; per queste si ha:

$$\text{linea } j \quad V(x_i, y_j) = g_j R(x_i, y_j)$$

$$\text{linea } k \quad V(x_i, y_k) = g_k R(x_i, y_k)$$

Considerate monotoniche le funzioni g_j e g_k (come è ragionevole assumere per la risposta di un sensore), se i punti (x_i, y_j) e (x_i, y_k) hanno la stessa intensità di radianza, si ha:

$$V(x_i, y_k) = g_k g_j^{-1} V(x_i, y_j)$$

Quindi la risposta per la linea k è legata a quella della linea j dalla relazione:

$$V_k = g_k g_j^{-1} V_j = g_{kj} V_j$$

Un semplice modello di curva di equalizzazione, basato sulle variazioni del guadagno e dell'offset del sensore, è rappresentato da:

$$V_k = g_{kj} V_j = a_{kj} V_j + b_{kj}$$

che nel caso di guadagno costante del sensore diventa:

$$V_k = g_{kj}V_j = V_j + b_{kj}$$

Questo modello di rappresentazione e' anche accettabile nel caso in cui il guadagno non si puo' considerare costante ma si operi comunque in una piccola parte della curva di risposta del sensore.

Il problema consiste quindi nel determinare la funzione g_{kj} basandosi su informazioni statistiche dei dati e quindi, nel caso piu' semplice di errore nell'offset del sensore, nella determinazione di b_{kj} .

Data una immagine di M linee e N colonne, si determina innanzitutto il valor medio dei dati di ciascuna linea

$$m_j = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N V(x_i, y_j)$$

L'insieme dei valor medi (determinati per tutte le linee dell'immagine) contiene quindi informazioni sul contenuto dell'immagine e sulla risposta del sensore. Il contenuto dell'immagine si puo' modellare come un trend lineare del tipo:

$$t_j = a_1 j + a_2$$

dove i coefficienti a_1 e a_2 sono stimati col metodo dei minimi quadrati per minimizzare la funzione:

$$Q(a_1, a_2) = \sum_{j=1}^M (m_j - t_j)^2$$

Sottraendo il trend lineare ipotizzato dai valori medi delle linee si ottiene il trend corretto:

$$c_j = m_j - t_j$$

dal quale, tramite filtraggio, si possono rimuovere le fluttuazioni random dovute al sensore. Si puo' usare un filtro di smoothing ricorsivo del primo ordine del tipo:

$$c' = \alpha_0 c_j + \alpha_1 c_{j-1}$$

con la condizione al limite che $c'_1 = c_1$ e che il guadagno sia tale che per $c_j = c_{j-1}$ sia $c'_j = c_j$, per cui $\alpha_0 + \alpha_1 = 1$.

La costante di decadimento α_1/α_0 deve essere scelta sufficientemente grande affinché si abbia uno smoothing accettabile, ma non troppo grande per evitare di propagare il contenuto di una linea sulle successive.

L'errore $e_j = c'_j - c_j$ è attribuito alle variazioni di offset del sensore ed è usato per correggere i valori rilevati dal sensore:

$$V'(x_i, y_j) = V(x_i, y_j) - e_j$$

permettendo così una equalizzazione della radiometria del sensore.

6 - Implementazione dei metodi sul Sistema PC-IPW

Sul sistema per elaborazione di immagini PC-IPW (sviluppato presso il CNUCE) operante su personal computer, sono stati realizzati programmi per l'analisi e la correzione dello striping presente sulle immagini Landsat.

- ***Programma MSSDHIST***

Permette la visualizzazione degli istogrammi delle sottoimmagini acquisite dai singoli detectors del sensore MSS. Il programma elabora l'immagine di una singola banda MSS, memorizzata su file, e costruisce gli istogrammi considerando esclusivamente quei pixel il cui valore e' compreso nel range INF-SUP specificato. Vengono costruiti sei istogrammi e sei istogrammi cumulativi relativi alle sottoimmagini dei singoli detectors, e calcolati i valori statistici quali valor medio, varianza, moda, mediana, massimo e minimo; tali risultati sono poi mostrati sul monitor in forma grafica e in forma alfanumerica. Se specificato, e' possibile ottenere anche la memorizzazione su file dei sei istogrammi.

- ***Programma DLMEAN***

Permette la visualizzazione in forma grafica del valor medio di ciascuna riga dell'immagine RGB, preventivamente caricata nella memoria della scheda grafica. Vengono mostrati quattro grafici, ciascuno relativo a 128 righe dell'immagine contenuta in un banco (R, G o B) della memoria grafica, con in ascisse il valor medio della riga (nel range 0-255) ed in ordinate il numero di riga (nel range 1-512) a cominciare da quella in alto.

- ***Programma DESTRIPE***

Il programma, nella versione attuale, permette di rimuovere solo lo striping periodico presente nelle immagini acquisite dal sensore MSS. L'operazione di destriping e' effettuata sullo stesso file contenente l'immagine da elaborare e si compone di due fasi:

- nella fase di analisi vengono costruiti gli istogrammi delle sottoimmagini relative a ciascun detector, analogamente a quanto detto

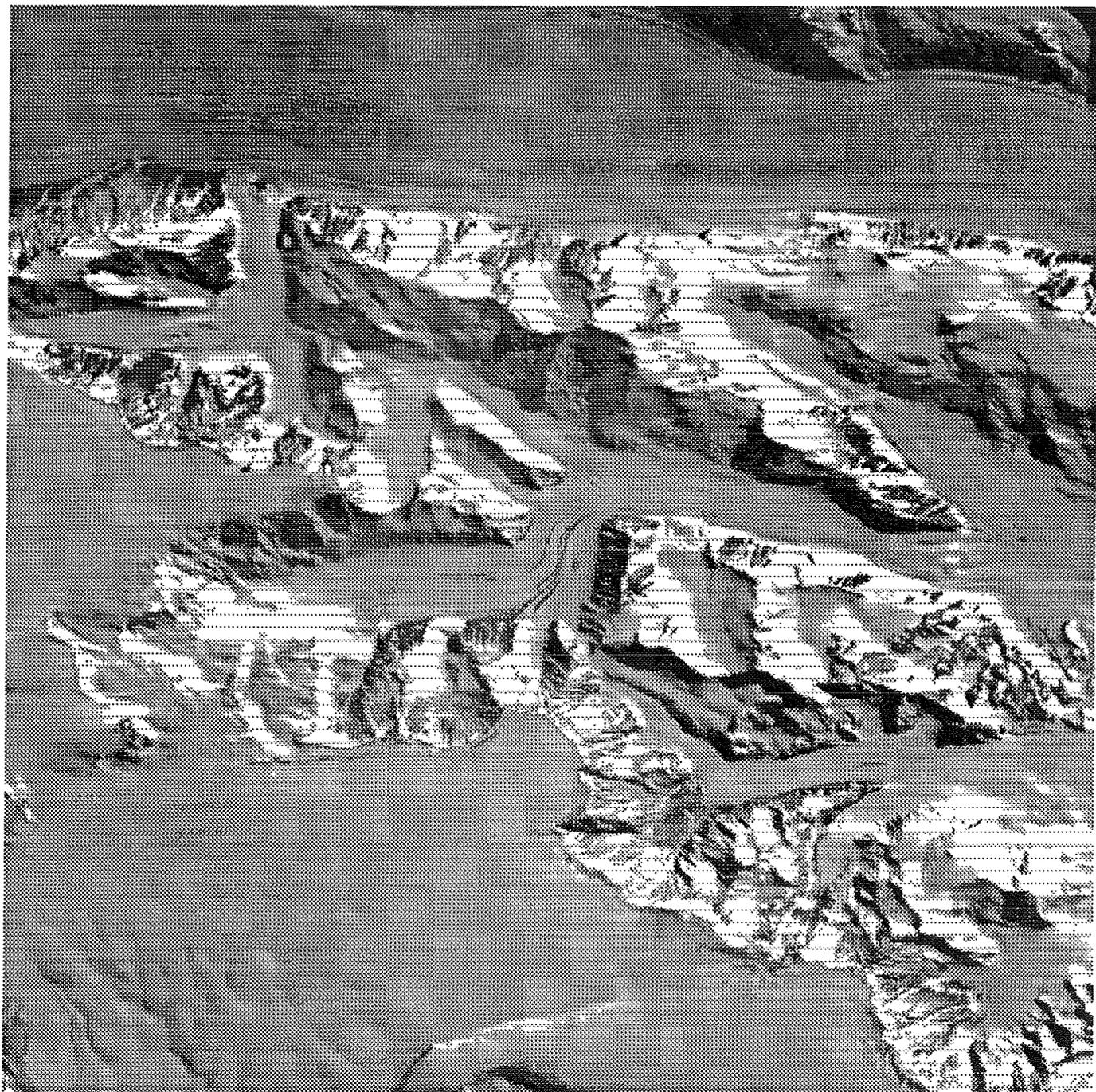
- per il programma MSSDHIST;
- nella fase di correzione e' possibile selezionare il metodo da applicare (lineare o non-lineare), secondo quanto detto nei paragrafi precedenti. Per entrambi i metodi, i pixel modificati sono solo quelli il cui valore cade nel range INF-SUP specificato, mentre gli altri restano invariati. La correzione e' effettuata su tutte le righe dell'immagine (e non solo sulla riga in cui il fenomeno di striping e' piu' sensibile); la sua entita' e' determinata in funzione del valore medio dell'immagine globale, calcolato senza escludere il contributo del detector piu' difettoso.

Riferimenti

1. Moik J.G. - Digital Processing of Remotely Sensed Images
NASA - 1980
2. Hord R.M. - Digital Image processing of Remotely Sensed Data
Academic Press - 1982
3. Horn B.K.P. & Woodham R.J. - Destriping Landsat MSS Images by
Histogram Modification
Computer Graphics and Image Processing, no. 10 - 1979
4. Algazi V.R. & Ford G.E. - Radiometric Equalization of Nonperiodic Strip-
ing in Satellite Data
Computer Graphics and Image Processing - 1981
5. Poros D.J. & Peterson C.J. - Methods for Destriping Landsat Thematic
Mapper Images - A Feasibility Study for an Online Destriping Process in
the Thematic Mapper Image Processing System (TIPS)
Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol. 51 no. 9 - 1985

Elenco delle tavole

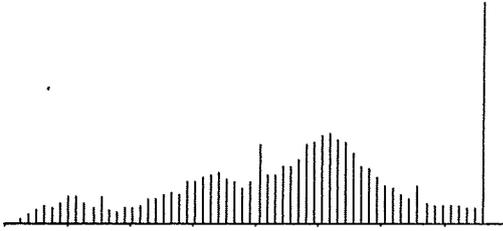
- Immagine con rumore dovuto allo striping
- Istogrammi delle sottoimmagini relative a ciascun detector
- Immagine senza rumore di striping
- Valor medio di linea prima e dopo la correzione dello striping



Min : 4 Max : 243
Mean: 149.09 Sigma : 57.36
Mode: 243 Median: 154
Pixels examined: 44032

kane.IMG
Histogram

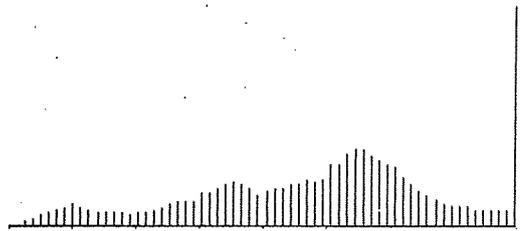
Detector 1



Min : 4 Max : 255
Mean: 160.16 Sigma : 60.94
Mode: 255 Median: 166
Pixels examined: 43520

kane.IMG
Histogram

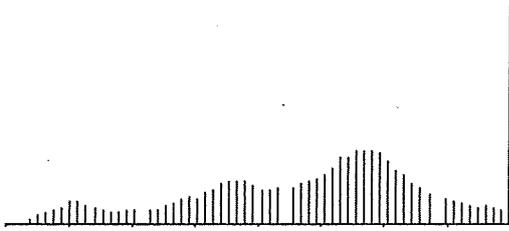
Detector 4



Min : 8 Max : 255
Mean: 163.25 Sigma : 60.97
Mode: 255 Median: 170
Pixels examined: 44032

kane.IMG
Histogram

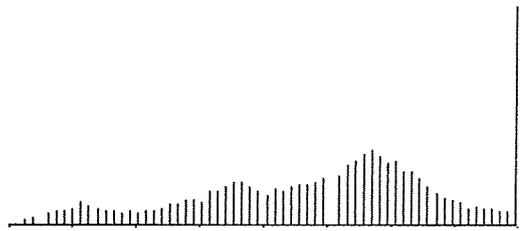
Detector 2



Min : 4 Max : 255
Mean: 164.07 Sigma : 61.09
Mode: 255 Median: 174
Pixels examined: 43520

kane.IMG
Histogram

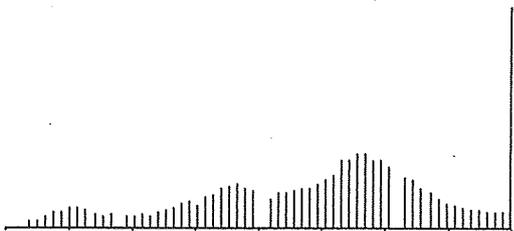
Detector 5



Min : 8 Max : 255
Mean: 163.99 Sigma : 60.86
Mode: 255 Median: 170
Pixels examined: 43520

kane.IMG
Histogram

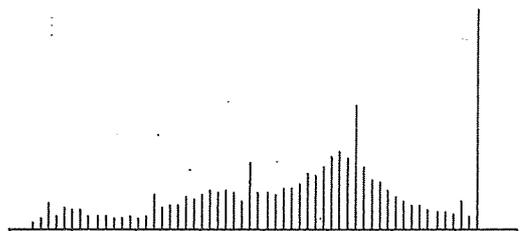
Detector 3

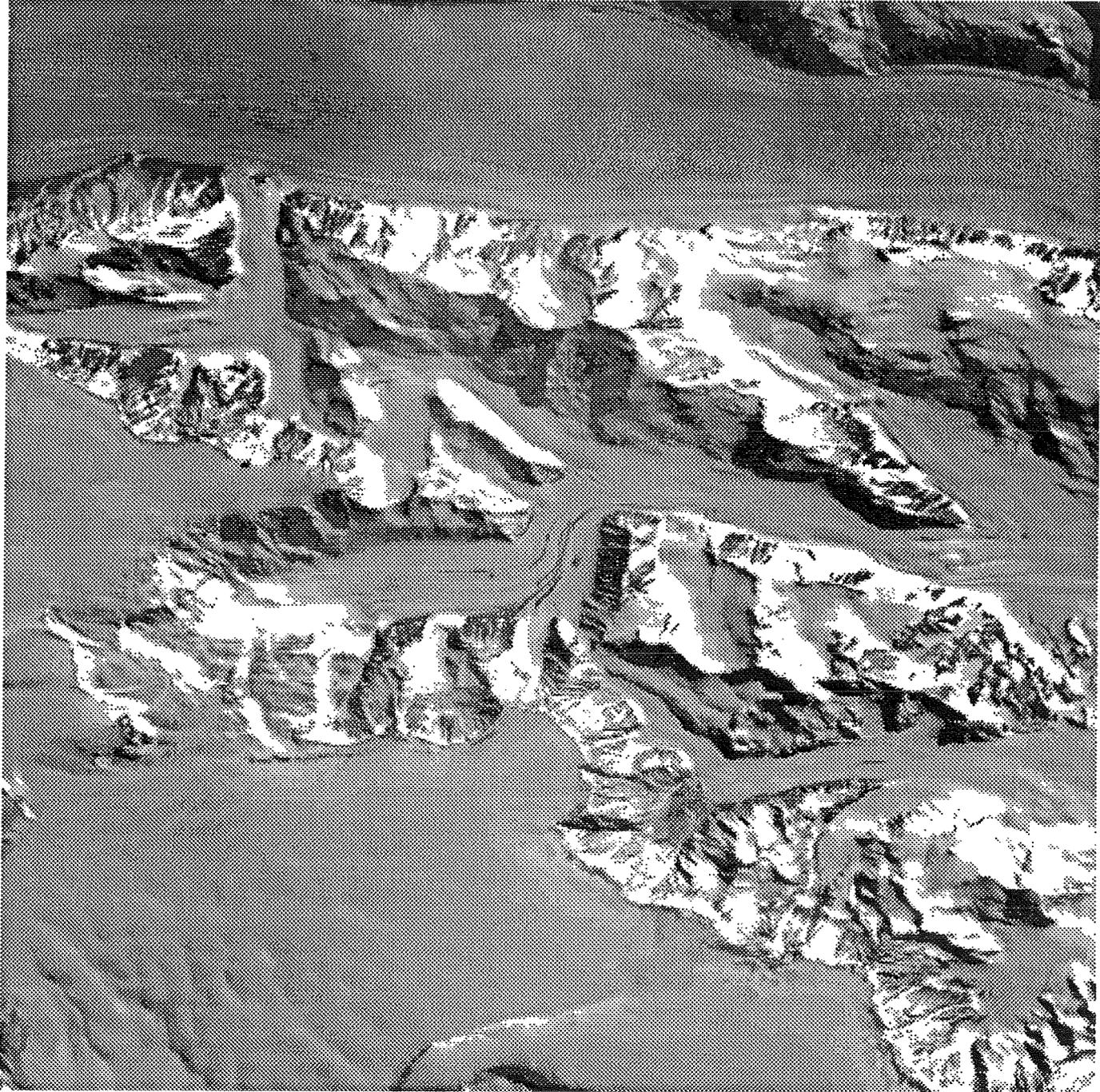


Min : 8 Max : 235
Mean: 149.72 Sigma : 56.34
Mode: 235 Median: 158
Pixels examined: 43520

kane.IMG
Histogram

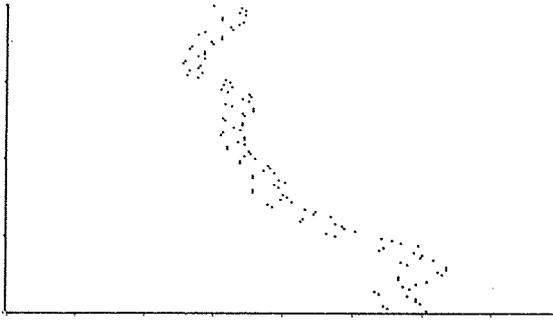
Detector 6





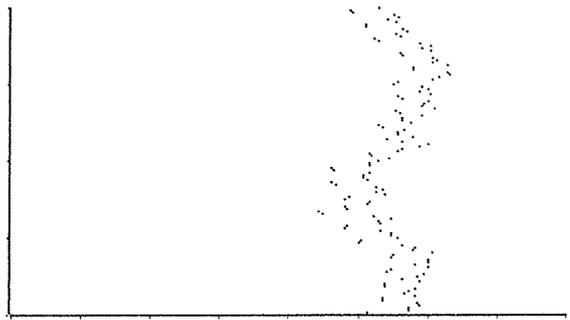
Lines: 1-128

Red Bank
Line Mean



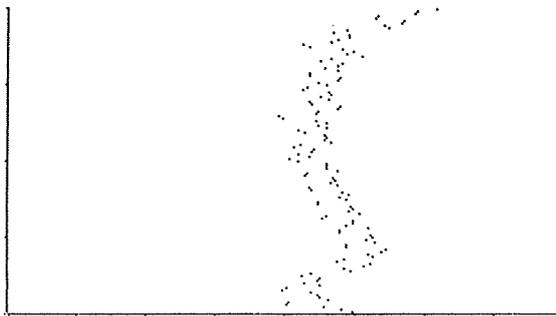
Lines: 257-384

Red Bank
Line Mean



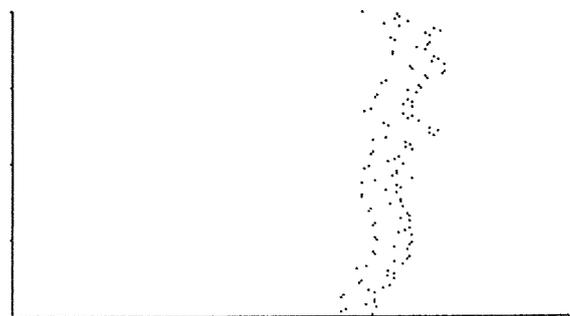
Lines: 129-256

Red Bank
Line Mean



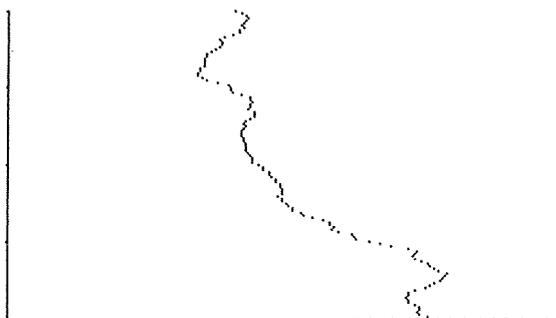
Lines: 385-512

Red Bank
Line Mean



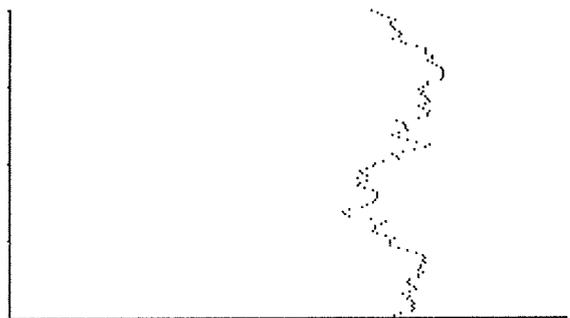
Lines: 1-128

Red Bank
Line Mean



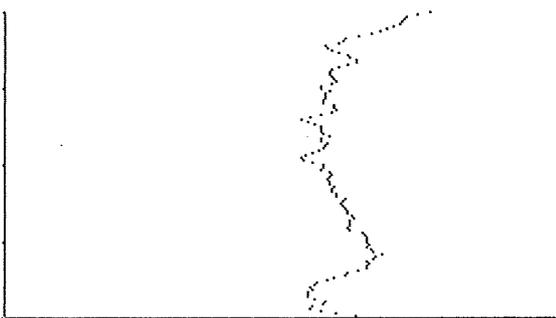
Lines: 257-384

Red Bank
Line Mean



Lines: 129-256

Red Bank
Line Mean



Lines: 385-512

Red Bank
Line Mean

