

CALIBRAZIONE DI DATI LANDSAT ETM+ PER LE ANALISI MULTITEMPORALI

M. Caprioli, B. Figorito, E. Tarantino

POLITECNICO DI BARI - Dipartimento di Vie e Trasporti

E-mail: m.caprioli@poliba.it; benedetto1980@libero.it; e.tarantino@poliba.it

Sommario

I vantaggi offerti dal Telerilevamento nell'ambito della conoscenza delle dinamiche ambientali sono ormai constatati ampiamente dalla comunità scientifica. Infatti, la sincronizzazione spaziale e i tempi di rivisitazione di grandi aree hanno migliorato significativamente la quantità e la qualità delle immagini, che hanno assunto un ruolo importante nel monitoraggio ambientale. Permangono, tuttavia, problematiche di trattamento preliminare dei dati satellitari multitemporali come base informativa nelle analisi dei cambiamenti di uso del suolo, a causa della presenza di errori dovuti al rumore, alle condizioni ambientali e alle distorsioni geometriche e radiometriche introdotte durante l'acquisizione e la trasmissione.

Nel presente contributo vengono affrontate le tecniche di calibrazione di immagini Landsat ETM+, riferite ad acquisizioni comprese nell'arco temporale 1999-2001-2002 e relative ad un'area test del Lazio meridionale. A tal fine, è stato implementato un algoritmo di normalizzazione, basato sulla trasformazione MAD - *Multivariate Alteration Detection*, operandone il confronto quantitativo e qualitativo rispetto al metodo consolidato ELC (*Empirical Line Calibration*).

Abstract

The advantages of Remote Sensing for the knowledge of environmental dynamics are widely ascertained by scientific community. Spatial synchronization and temporal resolution of large areas have meaningfully improved the quantity and the quality of imagery, which have assumed an important role in the field of environmental monitoring. Nevertheless, preliminary processing problems of multitemporal satellite data, as basic information in the analysis of land cover transformations, are remaining because of errors due to noise, to environmental conditions and to geometric and radiometric distortions introduced during the acquisition and the transmission phases. In this paper calibration techniques of Landsat ETM+ data were faced. These last were referred to acquisitions comprised in 1999-2001-2002 years on a test area of southern Lazio. A normalization algorithm, based on MAD - *Multivariate Alteration Detection* transformation, was implemented for this aim, by executing a quantitative and qualitative comparison with the consolidated ELC (*Empirical Line Calibration*) method.

Introduzione

La gestione e la tutela del territorio richiedono una tecnologia in grado di indagare, misurare, e monitorare le dinamiche naturali ed antropiche. Le tradizionali tecniche di rilevamento *in situ* richiedono tempi e costi elevati, improponibili per enti o amministrazioni sensibili alla salvaguardia e ad un corretto uso del territorio. Il telerilevamento offre un'ottima opportunità per monitorare ampie superfici ad intervalli regolari, con tempi e costi relativamente contenuti.

In letteratura, esistono diverse tecniche per le analisi multitemporali e quella più intuitiva è senza dubbio l'*image differencing*. La semplice differenza di due dati satellitari coregistrati e acquisiti in tempi diversi fornisce una stima quantitativa del tasso di cambiamento "punto per punto" (Nielsen et al., 1998). I limiti di questa tecnica sono principalmente legati alla difficoltà nell'ottenere l'accuratezza assoluta, alla stabilità temporale della calibrazione del sensore, al grado di correlazione delle bande, alle condizioni atmosferiche ed infine alla geometria sole-terreno-sensore. Tali fattori non permettono un valido confronto di immagini, perché tali dati non hanno un riferimento radiometrico comune. Le tecniche di normalizzazione radiometrica rendono questa tecnica particolarmente vantaggiosa. In questi casi risulta essenziale correggere radiometricamente

le immagini, affinché l'informazione contenuta nel singolo DN (Digital Number) sia poco influenzata dal rumore.

I metodi di normalizzazione radiometrica si dividono in due gruppi: assoluti e relativi.

I metodi assoluti, si basano sulle proprietà riscontrate alla data dell'acquisizione dell'immagine e si avvalgono di un modello fisico di trasferimento radiativo. Essi necessitano di misure delle proprietà ottiche della atmosfera, con tecniche di rilevamento *in situ* e contemporanee al momento di ripresa della scena. Ottenere tali dati è molto costoso e non sempre possibile, anche nei casi di acquisizioni pianificate, addirittura diventa impossibile per le analisi di serie storiche.

I metodi di normalizzazione relativa (Scott et al., 1988; Hall et al., 1991; Furby et al., 2001; Du et al., 2002) elaborano l'informazione radiometrica intrinseca di ogni immagine, assumendo che la relazione tra la radianza registrata dal sensore, in due o più rivisitazioni della stessa area, abbia una distribuzione spaziale omogenea approssimabile con una funzione lineare (Canty et al., 2004). Il limite di questo approccio consiste nel ricercare in modo oggettivo quegli elementi presenti nelle immagini che non variano nel tempo (PIF - *Pseudo Invariant Features*). Un ulteriore limite si presenta nei casi di utilizzo di dati satellitari affetti da problematiche radiometriche intrinseche, quali ad es. presenza di coperture nuvolose o di neve (Moran et al., 1992).

In questo studio sono state confrontate due tecniche di calibrazione relativa *scene-to-scene*, applicate su dati Landsat ETM+, riferiti ad acquisizioni comprese nell'arco temporale 1999-2002 e relativi ad un'area test del Lazio meridionale. Con la prima tecnica (ELC - *Empirical Line Calibration*) i *target* pseudo-invarianti sono stati selezionati manualmente, mentre con il secondo metodo questi sono stati individuati con l'ausilio della trasformazione MAD (Multivariate Alteration Detection).

Metodologie e dati analizzati

L'ipotesi di base della maggior parte delle tecniche *scene-to-scene* si fonda sulla relazione lineare tra i pixel campionati nell'immagine di riferimento con quelli delle immagini da normalizzare (Casselles et al., 1989). L'individuazione manuale dei *target* invarianti è soggettiva, laboriosa e affetta da numerosi errori (Hall et al., 1991; Scott et al., 1988). La procedura di regressione avrebbe bisogno di *target* selezionati sull'intero *range* di valori (*bright - midrange - dark*) ed aventi la stessa dimensione e lo stesso numero. Ogni *target* dovrebbe essere localizzato in un'area pianeggiante con caratteristiche uniformi, lontano da bordi della scena acquisita, in modo tale da minimizzare gli errori dovuti alla coregistrazione (Furby et al., 2001). In letteratura, esistono molte tecniche, tra cui la PCA - Analisi Componenti Principali (Du et al., 2002), per assistere l'operatore nella scelta degli elementi invarianti o pixel *no-change*. Come nel nostro caso, questa risulta essere di limitata efficacia quando si è in presenza di dati con un elevato tasso di cambiamento temporale e intrinseco, e quindi con pixel invarianti in numero minore rispetto al resto dei pixel dell'intera immagine.

Nella tecnica *image differencing* i pixel invarianti sono individuati attraverso la semplice differenza di immagini (matrici **F** e **G**) acquisite in due date differenti (t_1, t_2)

$$\mathbf{F} - \mathbf{G} = [F_1 - G_1 \dots F_k - G_k]^T \quad [1]$$

con $\mathbf{F} = [F_1 \dots F_k]^T$ e $\mathbf{G} = [G_1 \dots G_k]^T$ k = numero delle bande

Le aree con un lieve tasso di cambiamento avranno un valore di DN molto basso. Il limite di questa procedura consiste nell'assenza di confronto simultaneo di tutti i cambiamenti per tutte le bande.

La trasformazione MAD (Canty et al., 2004; Canty, 2005) supera questi problemi e, attraverso una procedura completamente automatica, concentra l'informazione sul tasso di cambiamento complessivo. Inoltre, è invariante rispetto agli effetti lineari causati dalle condizioni atmosferiche e dalla calibrazione del sensore (Nielsen et al., 1998).

Nella prima fase della procedura si esegue una combinazione lineare delle intensità di tutte le N bande delle due immagini

$$U = \mathbf{a}^T \mathbf{F} = a_1 F_1 + a_2 F_2 + \dots + a_N F_N \quad [2]$$

$$V = \mathbf{b}^T \mathbf{G} = b_1 G_1 + b_2 G_2 + \dots + b_N G_N.$$

I coefficienti a_i e b_i ($i = 1 \dots N$) vengono calcolati in modo da minimizzare la correlazione positiva tra U e V . In particolare, considerando che la tecnica MAD si basa sulla massimizzazione dello scarto tra i *change* pixels rispetto ai *no-change* pixels nel intervallo temporale t_1 - t_2 , si avrà:

$$\text{Var}(\mathbf{U}-\mathbf{V}) = \text{Var}(\mathbf{U}) + \text{Var}(\mathbf{V}) - 2\text{Cov}(\mathbf{U},\mathbf{V}) \rightarrow \text{massima} \quad [3]$$

ipotizzando $\text{Var}(\mathbf{U}) = \text{Var}(\mathbf{V}) = 1$ e $\text{Cov}(\mathbf{U},\mathbf{V}) > 0$,

si avrà $\text{Var}(\mathbf{U}-\mathbf{V}) = 2(1 - \rho)$ con $\rho = \text{Corr}(\mathbf{U},\mathbf{V})$.

Quindi, determinare la differenza tra due combinazioni lineari con massima varianza equivale a determinare le combinazioni lineari con minima (non negativa) correlazione (Nielsen et al., 1998). La procedura [3] individua N sets di coefficienti a_i e b_i , dove ogni set corrisponde ad un'unica componente differenza.

$$\text{MAD}_i = U_i - V_i = a_i^T \mathbf{F} - b_i^T \mathbf{G}, \quad i = 1 \dots N \quad [4]$$

Di conseguenza, i *no-change* pixels per la normalizzazione radiometrica dovranno soddisfare la seguente relazione

$$\sum_{i=1}^N \left(\frac{\text{MAD}_i}{\sigma_{\text{MAD}_i}} \right)^2 < t \quad [5]$$

dove $\sigma_{\text{MAD}_i}^2 = 2(1 - \rho_i)$ e $t = \text{soglia di decisione} = \chi^2_{N, P=0.01}$

Il termine P equivale alla probabilità di osservare un valore di t più basso e, nell' ipotesi di nessun cambiamento, la [5] approssima la distribuzione χ^2 con N gradi di libertà.



Figura 1A



Figura 1B



Figura 1C

	A (Febbraio 2002)				B (Aprile 2001)				C (Settembre 1999)			
Band	Min	Max	Media	Stdev	Min	Max	Media	Stdev	Min	Max	Media	Stdev
1	43	162	59,68	5,27	64	255	90,98	23,76	58	236	77,21	7,49
2	24	141	43,89	6,69	42	255	73,04	24,06	38	251	59,10	8,80
3	17	171	42,34	10,29	33	255	68,17	28,51	29	255	55,96	14,12
4	13	139	53,75	17,38	16	244	73,77	23,40	18	255	85,63	21,94
5	6	220	51,46	21,48	15	255	78,39	29,68	12	255	73,77	23,54
6	96	125	110,68	3,32	85	121	104,71	4,54	118	155	136,43	4,11
7	4	255	34,48	14,67	11	255	50,76	23,54	8	255	46,11	17,00

Tabella 1 – Statistica delle immagini

Il presente studio è stato realizzato utilizzando tre immagini Landsat ETM+, acquisite rispettivamente il 24 settembre 1999, il 6 aprile 2001 e il 2 febbraio 2002. L'area interessata è situata nell'Italia centro-meridionale e riguarda i monti Lepini con annesso il territorio che si affaccia sul golfo di Gaeta (Figure 1A-1B-1C). Il gruppo dei monti Lepini è formato da due catene

principali, con andamento nord-ovest, sud-est divise dalla linea: Montelanico - Carpineto - Maenza. Questa conformazione, unita alla esigua distanza che li separa dal mare, creano in questo massiccio montuoso una discreta varietà di microclimi che danno luogo ad un altrettanto vario complesso vegetazionale. Sono così presenti grandi foreste, che variano dalle essenze mediterranee ai boschi di faggio, in un susseguirsi di habitat, tanto diversi quanto insolitamente vicini. Separate da valli e bacini chiusi, le due catene rappresentano l'espressione unica di un paesaggio carsico ormai maturo. Il suddetto territorio è stato scelto perché presenta una morfologia variegata con dinamiche antropiche molto attive e consente, quindi, di testare l'efficacia degli algoritmi di normalizzazione, sia quelli consolidati (ELC) che quelli innovativi (MAD), anche in situazioni climatiche e territoriali non favorevoli. A tal fine, sono stati utilizzati dati satellitari acquisiti in periodi differenti dell'anno, quindi con condizioni atmosferiche e di illuminazione molto varie.

	n° pixel	Band 1	Band 2	Band 3	Band 4	Band 5	Band 6	Band 7	
Sabbia	25	105,88	92,24	102,92	85,76	93,72	138,08	76,44	SETTEMBRE 1999
Edifici	19	110,79	90,95	102,74	84,68	95,26	140,89	82,58	
Acqua mare	112	75,87	46,75	34,28	20,29	14,86	130,60	12,78	
Cava inattiva	38	125,71	121,71	161,82	146,39	205,89	142,68	157,13	
Roccia 1	65	90,42	75,49	78,52	112,92	120,15	135,12	75,28	
Roccia 2	32	77,94	60,59	58,34	95,97	95,84	131,25	58,69	
Ombra pendio	50	63,64	45,22	36,18	90,48	53,50	129,80	26,56	
Terreno nudo 1	30	74,73	58,67	66,97	59,43	68,17	144,33	51,90	
Terreno nudo 2	20	85,40	72,30	84,85	76,80	98,20	146,40	80,90	
Asfalto parcheggio	12	96,25	74,50	78,75	70,75	69,58	143,92	54,17	
Sabbia	25	114,28	99,40	110,60	69,12	101,24	108,32	79,36	APRILE 2001
Edifici	19	129,21	111,32	127,53	73,00	113,89	114,42	102,42	
Acqua mare	112	87,51	56,58	42,40	19,02	19,53	101,88	16,46	
Cava inattiva	38	121,58	114,89	146,18	95,39	177,26	107,76	129,11	
Roccia 1	65	103,66	87,20	89,37	81,78	125,88	100,08	84,89	
Roccia 2	32	92,41	75,22	73,16	73,78	110,44	99,84	73,59	
Ombra pendio	50	76,32	53,80	47,38	36,76	41,80	94,58	29,84	
Terreno nudo 1	30	79,07	62,13	64,40	57,97	65,63	112,03	42,83	
Terreno nudo 2	20	92,80	78,40	87,05	55,30	90,40	112,00	75,05	
Asfalto parcheggio	12	107,08	85,42	86,83	61,58	80,08	108,50	62,33	
Sabbia	25	75,16	61,04	66,20	56,28	63,32	108,72	52,32	FEBBRAIO 2002
Edifici	19	83,05	67,84	78,89	64,11	72,53	112,16	66,79	
Acqua mare	112	58,20	36,61	27,33	15,44	9,59	108,24	8,73	
Cava inattiva	38	86,82	84,92	117,18	110,92	171,47	113,16	126,87	
Roccia 1	65	69,98	58,09	64,89	78,43	102,91	111,78	69,75	
Roccia 2	32	60,59	45,84	48,72	57,31	75,59	108,19	52,13	
Ombra pendio	50	49,36	31,22	26,72	26,18	24,14	105,52	17,20	
Terreno nudo 1	30	58,07	42,57	45,47	42,37	48,20	111,40	37,20	
Terreno nudo 2	20	66,90	54,30	62,75	52,95	68,60	112,45	57,90	
Asfalto parcheggio	12	70,33	53,25	54,50	48,75	46,25	113,67	37,42	

Tabella 2 - Medie dei Target pseudo-invarianti utilizzati nel metodo ELC (*Empirical Line Calibration*)

Nella Tabella 1 vengono mostrati i diversi *range* di DN per singola banda. I valori massimi e minimi per ogni banda sono molto diversi fra le immagini. Tali differenze sono dovute alla presenza di nuvole e neve nell'intera scena di acquisizione (non presenti nell'area test di Figura 1A). Prima di eseguire le procedure di correzione radiometrica, le immagini sono state co-registrate individuando 30 GCP (*Ground Control Point*) mediante la tecnica *Image-to-Image* presente nel

software ENVI 4.1 e utilizzando come immagine di riferimento il dato Landsat ETM+ del 1999. A tal fine, è stato scelto il modello matematico non parametrico basato su funzione polinomiale del 3° ordine ed è stato ottenuto un valore dell'errore residuo RMS medio inferiore a 0.5 pixel. In seguito, i dati del 2000 e 2002 sono stati ricampionati con il metodo *Nearest Neighbour* per non alterare significativamente il contenuto radiometrico delle immagini.

Risultati e Conclusioni

Nella prima fase dello studio, relativa all'elaborazione ELC (*Empirical Line Calibration*), i pixel necessari per calcolare i "parametri di calibrazione" (*gain ed offset*), sono stati ricercati manualmente, selezionando 10 *target* o regioni invarianti dal punto di vista posizionale e con caratteristiche radiometriche simili (Tabella 2).

Nella seconda fase, la tecnica MAD ha permesso di individuare automaticamente i pixel invarianti, mentre i parametri della calibrazione sono stati determinati mediante regressione ortogonale (Canty et al., 2004). La correttezza della procedura è stata valutata attraverso i valori dei *gains* e degli *offsets* (Tabella 3). Tali valori devono essere prossimi rispettivamente ad uno e zero (Du et al., 2002), affinché non vi sia una perdita di risoluzione radiometrica nei confronti dei dati di partenza. Per entrambe le procedure i valori dei *gains* e degli *offsets* relativi alla banda 6 sono risultati ampiamente superiori rispetto ai valori delle rimanenti bande. Questo è dovuto alla più bassa risoluzione geometrica (60m) e alle caratteristiche intrinseche delle bande che operano nel termico, e quindi con radiazione elettromagnetica emessa piuttosto che riflessa.

	ELC -Empirical Line Calibration				Radiometrical Calibration con MAD			
	A → C		B → C		A → C		B → C	
	Gain	Offset	Gain	Offset	Gain	Offset	Gain	Offset
Band 1	1,652	-21,412	1,137	-23,469	0,733	3,466	1,177	-1,935
Band 2	1,500	-6,535	1,137	-19,854	0,765	-0,899	1,062	7,869
Band 3	1,434	-4,463	1,163	-21,236	0,743	1,179	0,990	9,171
Band 4	1,412	6,280	1,769	-25,999	0,631	-1,011	0,857	0,820
Band 5	1,119	15,154	1,161	-16,013	0,800	-6,852	0,971	5,491
Band 6	2,757	-166,370	1,099	21,829	0,733	10,884	0,674	13,544
Band 7	1,209	3,989	1,236	-18,390	0,827	-2,974	0,963	4,715

Tabella 3: Risultati dei *gains* e degli *offsets* ottenuti mediante ELC e MAD.



Figura 2: Localizzazione aree test

MSE medio	A normalizzata su C			B normalizzata C		
	Green	Red	Blue	Green	Red	Blue
1	149,61	27,20	13,71	137,49	86,36	6,03
2	170,74	29,98	15,90	145,06	78,83	5,10
3	675,58	66,77	71,38	346,14	187,14	125,87
4	479,11	84,72	88,20	327,21	105,42	120,50
5	604,58	124,99	131,07	297,82	81,02	78,93
6	668,07	128,75	127,17	402,06	187,39	181,26
7	471,30	101,93	108,53	294,60	160,23	104,73
8	499,92	65,79	56,66	178,58	372,40	177,69
9	679,71	127,06	119,22	447,19	166,21	193,40
10	524,34	98,70	82,07	249,63	86,90	35,93

Tabella 4: Valori degli MSE per ogni area test

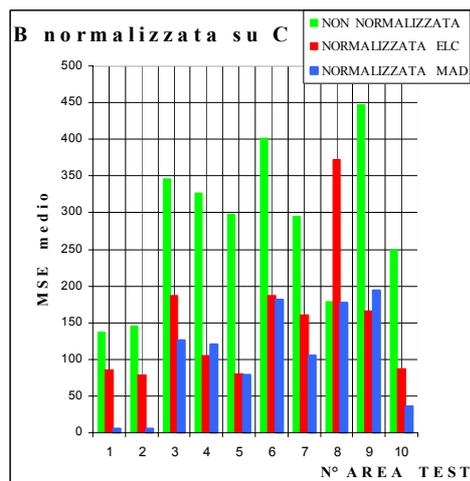
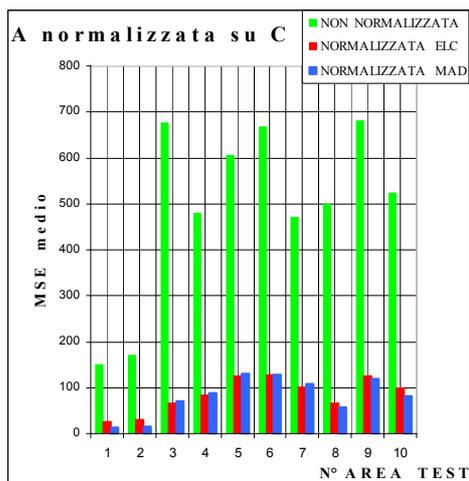


Figura 3a: Istogramma dei Valori degli MSE relativa alla normalizzazione dell'immagine A su C

Figura 3b: Istogramma dei Valori degli MSE relativa alla normalizzazione dell'immagine B su C

Un ulteriore controllo della validità delle procedure (Yuan et al., 1996) è stato condotto attraverso l'analisi del MSE (*Mean Square Error*) medio su 10 aree campione di 256 pixel ciascuna, distribuite uniformemente sull'immagine originaria (Figura 2) e sulle immagini normalizzate. L'analisi dei risultati (Tabella 4, Figura 3a e Figura 3b) dimostra la validità della tecnica innovativa MAD per la normalizzazione radiometrica di dati satellitari multitemporali anche nei casi di immagini con problematiche intrinseche radiometriche. Inoltre, il totale automatismo della procedura risulta comprovato dall'assenza di parametri di adeguamento esterno, come la definizione di soglie di decisione o l'individuazione di PIF (*Pseudo Invariant Features*) con criteri soggettivi, come nel caso di utilizzo della tecnica ELC. Infatti, con la trasformazione MAD i dati di base provengono interamente dall'immagine stessa, senza l'interferenza di situazioni climatiche sfavorevoli o di qualsiasi tipo disturbo/variazione in termini di riflettanza (Canty et al., 2004).

RINGRAZIAMENTI

Gli autori ringraziano il Prof. Antonio Leone dell'Università della Tuscia per aver gentilmente messo a disposizione i dati Landsat ETM+.

BIBLIOGRAFIA

- Canty M. J., Nielsen A. A., Schmidt M. (2004), Automatic radiometric normalization of multitemporal satellite imagery. *Remote Sensing of Environment*, 91, 4411-451.
- Canty M. J., CDSAT.ZIP - ENVI plug-ins for change detection in multispectral satellite imagery, http://www.fz-juelich.de/st/remote_sensing, maggio 2005.
- Casselles V., Garcia M. Y. L. (1989), An alternative simple approach to estimate atmospheric correction in multitemporal studies. *International Journal of remote sensing*, 10, 1127-1134.
- Du Y., Teillet P.M., Cihlar J. (2002), Radiometric normalization of multitemporal high-resolution images with quality control for land cover change detection. *Remote sensing of Environment*, 82, 123-134.
- Envi User's Guide, Version 4.1.
- Furby S. L., Campbell N. A. (2001), Calibrating images from different dates to 'like-value' digital counts. *Remote sensing of Environment*, 77, 186-196.
- Hall F. G., Strebel D. E., Nickeson J. E., Goetz S. J. (1991), Radiometric rectification: Toward a common radiometric response among multirate, multisensor images. *Remote sensing of Environment*, 35, 11-27.
- Moran M. S., Jackson R. D., Slater P. N., Teillet P. M. (1992), Evaluation of simplified procedures for retrieval of land surface reflectance factors from satellite sensor output. *Remote sensing of Environment*, 41, 160-184.
- Nielsen A. A., Conradsen K., Simpson J. J. (1998), Multivariate alteration detection (MAD) and MAF post-processing in multispectral bitemporal image data: New approaches to change detection studies. *Remote Sensing of Environment*, 64, 1-19.
- Scott J.R., Salvaggio C., Volchok W.J. (1988), Radiometric scene normalization using pseudo-invariant features. *Remote Sensing of Environment*, 26, 1-16.
- Yuan, D., Elvidge, C. D. (1996), Comparison of relative radiometric normalization techniques, *Photogrammetry & Remote Sensing*, 51, 117-126.