

Valutazione della Trasformazione Radiometrica MAD (Multivariate Alteration Detection) applicata a dati ASTER 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

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".

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

In questo studio saranno confrontate due tecniche di calibrazione relativa *scene-to-scene*, applicate su dati ASTER, riferite ad acquisizioni comprese nell'arco temporale 2003-2004 e relative ad un'area test della Puglia centrale. Con la prima tecnica (ELC - *Empirical Line Calibration*) i *target* pseudo-invarianti sono stati selezionati manualmente, mentre con il secondo metodo questi saranno individuati con l'ausilio della trasformazione MAD (Multivariate Alteration Detection).

Abstract

In literature there are many techniques for multitemporal analysis and *Image differencing* is the most direct method. The simple difference among two co-registered satellite data, acquired in different times, offers a quantitative assessment of change percentage "point to point".

The limits of this technique are connected to the difficulty to achieve absolute accuracy, to the temporal stability of sensor calibration, to the level of correlation of bands, to the atmospheric conditions and, finally, to the geometry of sun-earth-sensor. Such elements doesn't enable an effective comparison among images, because such data have not a common radiometric reference.

The radiometric normalization makes this technique particularly advantageous. In such cases is fundamental to correct radiometrically images, in order that information contained in a single *DN* (Digital Number) is lightly influenced by noise.

These data were referred to acquisitions times comprised in 2003-2004 years on a test area of central Puglia – Italy. With the ELC technique Pseudo-Invariant Features were manually selected, whereas the same Features were automatically identified with the aid of a normalization algorithm based on MAD transformation.

Metodi e dati

Il telerilevamento è una consolidata metodologia d'indagine, ad alto contenuto tecnologico, applicabile trasversalmente a molteplici discipline scientifiche, con cui è possibile ottenere informazioni, a copertura areale (da chilometri a metri) (dirette e/o indirette), su fenomeni e caratteristiche della superficie terrestre.

Pur non sostituendo le misure analitiche tradizionali, nei contesti di ricerca a carattere multidisciplinare, l'elaborazione delle immagini telerilevate può fornire un quadro conoscitivo costantemente aggiornato sui fenomeni di impatto ambientale in atto o su situazioni territoriali che si modificano con dinamica molto attiva e quindi frequentemente fuori da ogni controllo, rispetto ad una normale scala spazio-temporale di intervento. Inoltre, tali tecnologie diventano uno strumento indispensabile in quei territori dove c'è carenza di dati di base per il monitoraggio ambientale o che risultano inaccessibili e difficilmente conosciuti.

Permangono, tuttavia, problematiche di trattamento preliminare dei dati satellitari multitemporali 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.

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*. Tale tecnica risulta essere di limitata efficacia quando si è in presenza di dati con un elevato tasso di cambiamento temporale e intrinseco (Caprioli et al., 2005; Caprioli et al., 2006), 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:

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

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

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

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.

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

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

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

dove $\sigma^2_{\mathbf{MAD}_i} = 2(1 - \rho_i)$ 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.

Il presente studio è stato realizzato utilizzando due immagini ASTER, acquisite rispettivamente il 24 giugno 2003 e il 14 settembre 2004 e relative ad un'area test della Puglia centrale (Figure 1A-1B).

Time of Day	09:58:32	09:57:51
Calendar Date	06-24-2003	09-14-2004
Solar elevation Angle	68.295	50.074
		
	Figura 1A	Figura 1B

Nella fase preliminare delle elaborazioni, è stata eseguita la procedura *image to image* (ENVI) considerando il dato del 2003 come immagine di riferimento. A tal fine i dati sono stati georeferenziati utilizzando 28 GCP con scelta della funzione polinomiale del terzo ordine (RMS inferiore al pixel) e ricampionamento *lineare* a 15 m di risoluzione geometrica.

Per la tecnica ELC (*Empirical Line Calibration*) sono stati ricercati manualmente i pixel necessari per calcolare i “parametri di calibrazione” (*gains* ed *offsets*), selezionando alcuni *targets* o regioni ritenuti invarianti dall'operatore dal punto di vista posizionale e con caratteristiche radiometriche simili.

In un secondo momento, 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 il confronto tra i valori dei *gains* e degli *offsets* di entrambe le procedure (Tabella 1). 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.

Risultati e Conclusioni

In entrambe le procedure (ELC e MAD) i valori dei *gains* e degli *offsets* relativi alle bande 11, 12, 13, 14 e 15 sono risultati simili al comportamento rilevato in studi precedenti per la banda 6 del sensore Landsat ETM+ (Caprioli et al., 2005; Caprioli et al. 2006). Infatti i valori ricavati per le suddette bande sono ampiamente differenti dai valori delle rimanenti bande. Questo è dovuto alla più bassa risoluzione geometrica e alle caratteristiche intrinseche delle bande che operano nel termico, e quindi con radiazione elettromagnetica emessa piuttosto che riflessa.

Nel complesso i risultati ottenuti dall'analisi dei dati ASTER rimangono, comunque, migliori rispetto a quelli riguardanti i dati Landsat ETM+. Infatti, rispetto a questi ultimi, i dati ASTER analizzati presentano, oltre all'aumento della risoluzione geometrica e spettrale, alcuni fattori, quali l'assenza di nuvole, l'inclinazione del sole e l'arco temporale considerabili simili alla data delle

acquisizioni (2003 e 2004), che hanno condotto a risultati complessivamente positivi e tali da permettere analisi multitemporali senza la perdita di risoluzione radiometrica nei confronti dei dati di partenza (Tabella 2).

	ELC			MAD	
	A → B			A → B	
	Gain	Offset		Gain	Offset
Band 1	1,13	15,87		1,39	1,66
Band 2	1,08	19,44		0,78	27,83
Band 3	0,99	21,77		1	21,42
Band 4	1,23	-4,82		1,2	-4,78
Band 5	1,05	4,36		0,99	4,69
Band 6	1,11	1,23		1,02	1,37
Band 7	1,1	1,16		1,02	1,27
Band 8	1,06	1,21		0,96	1,31
Band 9	1,03	0,81		0,99	0,86
Band 10	1,31	0,39		1,11	0,47
Band 11	2,41	-9,87		2,06	-7,21
Band 12	2,11	-8,21		2	-7,35
Band 13	2,22	-9,66		1,98	-7,67
Band 14	2,46	-12,22		2,04	-8,51
Band 15	2,41	-11,47		2,09	-8,77

Tabella 1: Risultati dei *gains* e degli *offsets* ottenuti mediante ELC e MAD

Band	2003 Reference				2004 Target				2004 Normalized ELC				2004 Normalized MAD			
	Min	Max	Mean	Stdev	Min	Max	Mean	Stdev	Min	Max	Mean	Stdev	Min	Max	Mean	Stdev
1	44,9	234	79,5	17,6	41,3	178	61	12,2	62,5	217	84,8	13,8	59	248	86,4	16,9
2	24,7	220	62,5	18,8	17,4	158	44,8	14,3	38,3	191	68	15,5	41,4	152	62,9	11,2
3	17,5	250	74,7	19,8	8,75	122	52,5	16,8	30,4	142	73,7	16,6	30,2	143	73,9	16,8
4	11,7	248	79,8	27,5	12	154	70,1	21,6	9,93	184	81,3	26,6	9,58	179	79,1	25,9
5	3,88	54,3	15,3	3,85	1,14	25,9	10,6	3,53	5,56	31,6	15,5	3,71	5,82	30,3	15,2	3,49
6	0,33	17,9	4,23	0,94	0,48	6,77	2,81	0,8	1,77	8,75	4,35	0,89	1,86	8,26	4,23	0,82
7	0,35	16,4	3,99	1,02	0,47	7,18	2,64	0,86	1,69	9,09	4,08	0,94	1,76	8,64	3,98	0,88
8	0,29	16,4	3,36	0,87	0,17	6,26	2,12	0,75	1,4	7,88	3,47	0,8	1,48	7,32	3,35	0,72
9	0,31	11,3	2,19	0,59	0,15	4,43	1,33	0,48	0,97	5,39	2,19	0,49	1,01	5,28	2,19	0,47
10	0,23	8,59	1,33	0,32	0,12	2,15	0,77	0,24	0,55	3,22	1,41	0,31	0,6	2,86	1,33	0,27
11	7,75	12,3	9,68	0,7	7,16	9,38	8,19	0,36	7,44	12,8	9,91	0,87	7,59	12,2	9,7	0,75
12	8,31	13,1	10,6	0,85	7,77	10,4	8,99	0,44	8,23	13,7	10,8	0,94	8,17	13,4	10,6	0,89
13	8,73	13,5	11,2	0,91	8,22	10,8	9,55	0,48	8,57	14,3	11,5	1,07	8,58	13,7	11,2	0,96
14	8,91	12,5	11	0,76	8,48	10,4	9,54	0,39	8,68	13,5	11,3	0,97	8,84	12,9	11	0,8
15	8,74	11,8	10,5	0,66	8,31	10	9,22	0,33	8,54	12,6	10,7	0,79	8,65	12,2	10,6	0,69

Tabella 2 – Statistica delle immagini originarie e normalizzate con i metodi ELC e MAD.

Una ulteriore analisi è stata condotta verificando la possibilità di utilizzare la procedura automatica MAD per scegliere le bande e le aree test a comportamento ottimale all'interno di un'immagine, sia per quanto riguarda il *gain* che l'*offset*. A tal fine sono state scelte 5 aree campione di dimensione 400 x 400 pixel ed è stata verificata la adeguatezza del metodo per ogni singola classe tematica prescelta. La Tabella 3 mostra il comportamento relativo ai *gains* e agli *offsets* per singola banda spettrale.

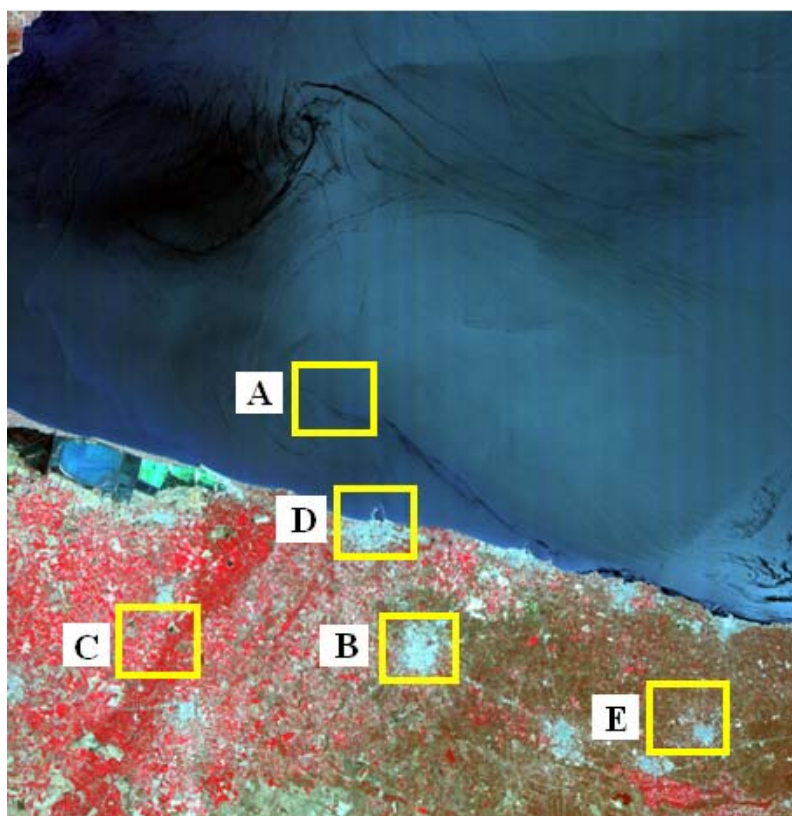


Figura 2: Localizzazione delle aree test

(A = mare; B = densamente urbanizzato; C = suolo; D = mare - urbanizzato-suolo; E = scarsamente urbanizzato)

	A		B		C		D		E	
BAND	<i>gain</i>	<i>offset</i>	<i>gain</i>	<i>offset</i>	<i>gain</i>	<i>offset</i>	<i>gain</i>	<i>offset</i>	<i>gain</i>	<i>offset</i>
1	-2,72	178,12	1,55	-17,62	1,72	-28,11	0,94	32,08	1,48	-16,52
2	-8,96	204,27	1,48	-5,78	1,77	-18,77	0,77	30,83	1,41	-7,66
3	-6,94	95,55	1,54	-11,72	1,96	-36,45	0,96	22,52	1,42	-10,4
4	1,02	-1,19	1,39	-22,71	2,02	-70,51	1,17	-3,59	1,39	-24,82
5	-13,28	22,6	1,45	-0,53	1,75	-4,32	0,98	4,69	0,41	10,31
6	-2,39	3,2	1,49	-0,05	1,71	-0,74	1,01	1,38	0,35	3,09
7	0,179	1,96	1,5	-0,09	1,72	-0,69	1,02	1,28	0,46	2,58
8	8,36	1,02	1,54	-0,04	1,7	-0,48	0,96	1,33	0,41	2,38
9	-7,24	2,59	1,6	-0,04	1,78	-0,31	1	0,88	0,42	1,53
10	-2,12	1,04	1,81	-0,18	2,05	-0,36	1,16	0,47	0,31	1,08
11	-1,18	16,47	1,95	-6,14	2,54	-11,27	2,05	-7,15	1,74	-5,13
12	-1,09	16,98	1,75	-5	2,4	11,17	2	-7,36	1,17	-5,32
13	-0,56	13,54	1,68	-4,62	2,39	-11,78	1,97	-7,62	1,71	-5,68
14	-0,95	17,23	1,77	-5,71	2,38	-11,86	2,03	-8,45	1,71	-5,81
15	3,42	-19,9	1,82	-6,12	2,49	-12,52	2,08	-8,67	1,68	-5,4
σ	5,22	67,68	0,16	6,84	0,32	19,93	0,51	13,77	0,59	8,66

Tabella 3: Risultati dei *gains* e *offsets* della procedura MAD relativi alle aree test

Nella Tabella 4 sono state evidenziate le celle caratterizzate da valori giudicati positivi di *Gain* ($<0,75$) ed *Offset* ($<\sigma$) in valore assoluto, al fine di consentire una agevole selezione delle bande e dei campioni migliori per le successive analisi multitemporali.

Per ogni campione si è imposto che :

$Gain = 1$ se $abs(1 - BANDA \times (gain)) < 0.75$

$Offset = 1$ se $abs(BANDA \times (offset)) < \sigma$ con abs = valore assoluto

	A		B		C		D		E	
BAND	Gain	Offset	Gain	Offset	Gain	Offset	Gain	Offset	Gain	Offset
1	0	0	1	0	1	0	1	0	1	0
2	0	0	1	1	0	1	1	0	1	1
3	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0
4	1	1	1	0	0	0	1	1	1	0
5	0	1	1	1	0	1	1	1	1	0
6	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1
7	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1
8	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1
9	0	1	1	1	0	1	1	1	1	1
10	0	1	0	1	0	1	1	1	1	1
11	0	1	0	1	0	1	0	1	1	1
12	0	1	0	1	0	1	0	1	1	1
13	0	1	1	1	0	1	0	1	1	1
14	0	1	0	1	0	1	0	1	1	1
15	0	1	0	1	0	1	0	1	1	1
Totale	1		7		3		7		11	

Tabella 4: Individuazione tramite la procedura MAD delle bande e delle aree test a comportamento ottimale per il *Gain* e per l'*Offset*

Nel nostro caso il campione E è risultato il migliore ($Gain = 1$ e $Offset = 1$), avendo riscontrato risultati positivi in 11 bande spettrali, mentre il solo campione A, con un valore positivo di una sola banda, ha mostrato un comportamento anomalo. Tale metodo ha consentito, in assenza di parametri per effettuare la calibrazione radiometrica assoluta, di eseguire l'immagine differencing eseguendo la normalizzazione sulle bande con risultati migliori e con un riferimento radiometrico comune.

BIBLIOGRAFIA

- Caprioli M., Figorito B., Tarantino E. (2005), Calibrazione di Dati Landsat Etm+ per le Analisi Multitemporali, Atti 9° ASITA, Catania 15-18.11.2005, 585-590.
- Caprioli M., Figorito B., Tarantino E. (2006), Radiometric Normalization of Landsat Etm+ data for Multitemporal Analysis, Proceedings of ISPRS Commission VII Mid-Term Symposium on "Remote Sensing: From Pixels To Processes", Enschede, The Netherlands, 8-11 May 2006, (CD-ROM).
- 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 4.2.
- 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 multitemporal, multisensor images. Remote sensing of Environment, 35, 11-27.
- 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.