

## Accuratezza nella mappatura delle aree bruciate da immagini TM in funzione della correzione atmosferica

Daniela Stroppiana (\*), Mariano Bresciani (\*), Ramin Azar (\*\*),  
Mirco Boschetti (\*), Pietro A. Brivio (\*)

(\*) Istituto per il Rilevamento Elettromagnetico dell'Ambiente, Consiglio Nazionale delle Ricerche, Via Bassini 15, 20133 Milano, Italy, +39 (0) 02 23699 297, +39 (0) 02 23699 300, stroppiana.d@irea.cnr.it, bresciani.m@irea.cnr.it, boschetti.m@irea.cnr.it, brivio.pa@irea.cnr.it

(\*\*) Politecnico di Milano, Department of Environmental and Infrastructure Engineering (DIAAR), Piazza L. da Vinci, 32, Milano, Italy, ramin.azar@yahoo.com

### Riassunto

Ogni anno durante il periodo estivo le aree forestate (e non) dell'Europa Mediterranea sono colpite da incendi che rappresentano una minaccia sia per l'ambiente che per l'uomo. La prevenzione e la lotta agli incendi boschivi è una priorità e le immagini satellitari costituiscono una fonte di informazioni preziosa. Abbiamo sviluppato e presentato un algoritmo per la mappatura automatica delle aree bruciate da immagini satellitari NASA Landsat TM/ETM+ (*Thematic Mapper/Enhanced Thematic Mapper Plus*) che ha prodotto risultati soddisfacenti per le regioni Mediterranee. Dal momento che la correzione atmosferica è un passaggio importante a monte dell'applicazione dell'algoritmo di mappatura delle aree bruciate, in questo lavoro ci proponiamo di stimare l'effetto della parametrizzazione delle condizioni atmosferiche sull'accuratezza delle mappe. In particolare, abbiamo processato una scena Landsat TM acquisita sul Portogallo centrale il 12/08/2003 con il codice 6S (*Second Simulation of a Satellite Signal in the Solar Spectrum*) parametrizzato con diversi valori di spessore degli aerosol in atmosfera (AOT-Aerosol Optical Thickness) e due differenti tipi di aerosol (marittimo e continentale). Abbiamo inoltre considerato la mappa delle aree bruciate ottenuta dall'immagine TM non corretta (TOA-Top Of Atmosphere). Le immagini sono state processate con l'algoritmo *fuzzy* per la mappatura delle aree bruciate e l'accuratezza è stata valutata tramite confronto con i perimetri di riferimento. I risultati hanno evidenziato innanzitutto che la correzione atmosferica è necessaria in quanto la mappa derivata dall'immagine non corretta ha un errore di omissione superiore al 90%. Inoltre i risultati evidenziano che l'accuratezza può variare nell'intervallo 4.2-12.6% per l'errore di omissione e 11.9-25.8% per l'errore di commissione se l'immagine è corretta con diversi valori di AOT e diversi modelli di aerosol.

### Abstract

Every year during the dry and hot summer months in southern Europe Mediterranean forests are affected by wildfires which can be a threat for both the environment and human beings. Wildfire prevention and fighting is a priority and satellite images can provide key information for monitoring activities. In this context, we developed and proposed an automated algorithm for mapping burned areas from NASA Landsat TM/ETM+ images (*Thematic Mapper/Enhanced Thematic Mapper Plus*). After acquisition, satellite images require to be processed for radiometric and atmospheric corrections and here we aim to evaluate the effect of atmospheric correction on the output of the burned area mapping algorithm. We acquired one Landsat TM image over Portugal on August 12<sup>th</sup>, 2003 and processed it with the 6S code (*Second Simulation of a Satellite Signal in the Solar Spectrum*) with different AOT (Aerosol Optical Thickness) levels and two aerosol models (maritime and continental). After the atmospheric correction, the images have been processed with the automated algorithm and the accuracy of the output burned area maps has been assessed by

comparison with reference burned perimeters. Also the non corrected image has been processed to derive burned areas and compared to the reference perimeters. The results showed that atmospheric correction is necessary since the non corrected image provided burned area maps with an omission error greater than 90%. Moreover, when images are corrected for the atmosphere and processed with the fuzzy algorithm, omission error is in the range 4.6-6.5% and commission error in the range 11.9-22.2% as a function of the parameterization of the aerosol condition.

### **Introduzione**

La dispersione e l'assorbimento da parte dei composti presenti in atmosfera può influenzare significativamente il segnale misurato dai sensori satellitari aggiungendo incertezza nell'analisi e nella stima delle proprietà delle superfici (Nagol et al., 2008). Nell'analisi di data set multi-temporali per lo studio della vegetazione le variazioni di riflettanza misurate dal sensore dovrebbero rispecchiare cambiamenti di stato (e.g. copertura vegetale) e/o di condizione (e.g. fenologia) della superficie e non essere influenzate dalle condizioni atmosferiche.

La mappatura delle aree bruciate si basa sul rilevamento di variazioni della riflettanza dovute all'effetto del passaggio del fuoco sulle superfici vegetate. Il fuoco determina infatti un rapido cambiamento delle caratteristiche e dello stato della vegetazione e quindi della riflettanza misurata dal sensore. L'utilizzo di indici di vegetazione (*Vegetation Indices*, VIs) derivati dalla misura di riflettanza nel visibile, infrarosso vicino e medio, è molto diffuso per la mappatura delle aree bruciate (Patterson et al., 1998; Bastarrika et al., 2011; Stroppiana et al., 2012) sebbene essi possano essere influenzati dalle condizioni atmosferiche e quindi diminuire l'accuratezza nella mappatura (Slater et al., 1982). In questo lavoro ci proponiamo di valutare l'effetto della parametrizzazione delle condizioni degli aerosol nella correzione atmosferica di immagini satellitari Landsat TM/ETM+ sull'accuratezza della mappatura delle aree bruciate. Una scena Landsat TM acquisita sul Portogallo centrale (12/08/2003) è stata corretta con il codice 6S (*Second Simulation of a Satellite Signal in the Solar Spectrum*) (Vermote et al., 2002) per diversi valori di spessore degli aerosol (AOT- Aerosol Optical Thickness) e di tipo di aerosol (continentale e marittimo) ed utilizzata come input all'algoritmo fuzzy Stroppiana et al. (2012) per derivare le mappe delle aree bruciate. L'accuratezza del prodotto è stata valutata, in termini di errori di omissione e commissione, per confronto con i perimetri di riferimento forniti dall'Università tecnica di Lisbona (Oliveira et al., 2011); i risultati sono stati anche confrontati con la mappa delle aree bruciate derivata dall'immagine non corretta.

### **Dati e metodi**

La scena Landsat TM è stata acquisita dall'archivio Glovis di US Geological Survey (USGS) (<http://glovis.usgs.gov/>) per l'anno 2003 (12/08, path/row 204/032). Nel 2003, tutti i paesi dell'Europa Mediterranea sono stati seriamente colpiti dagli incendi boschivi che hanno causato notevoli danni all'ambiente e perdita di vite umane. In Portogallo, in particolare, l'estate 2003 è stato l'anno peggiore degli ultimi 25 anni per quanto riguarda la severità degli incendi boschivi con quasi 430 000 ettari di bosco e macchia mediterranea bruciati (DGRF 2006).

La figura 1 presenta l'area di studio in Portogallo e l'immagine TM acquisita per questo lavoro. Nella figura la composizione in falsi colori (RGB 543) evidenzia le aree bruciate in rosso scuro, la vegetazione densa di foresta in verde e le aree coperte da vegetazione sparsa o suolo in toni di rosa.

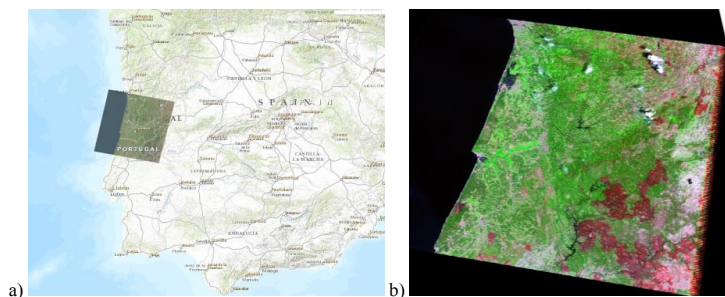


Figura 1 a. La posizione dell'area di studio in Portogallo b) l'immagine Landsat TM acquisita per il Portogallo (path/row 204/032) il 12/08/2003 in falsi colori (RGB 543).

Dal sito AERONET (<http://aeronet.gsfc.nasa.gov/>) è stato scaricato il valore di riferimento di AOT per la stazione più vicina all'area di studio (Evora, 38° 34' 4.7994" N, -7° 54' 43.1994" E, Altitudine: 293 m s.z.i.). Il valore scaricato AOT livello 2.0 è pari a 0.422.

L'immagine TM è stata processata per la correzione radiometrica e atmosferica per derivare la riflettanza al suolo nelle sei bande TM e proiettata in coordinate UTM (Universal Transversal Mercator), WGS 84, zona 29 N. La correzione atmosferica è stata effettuata con il codice 6S (Vermote et al., 2002) per otto valori di AOT centrati sul valore di riferimento scaricato del sito della rete AERONET (0.20, 0.25, 0.30, 0.35, **0.422**, 0.45, 0.50, 0.55) e due diversi modelli di aerosol (continentale e marittimo). Le immagini corrette sono state processate con l'algoritmo proposto da Boschetti et al. (2010) e Stroppiana et al. (2012) che si basa sull'utilizzo di indici spettrali (tabella 1) e sulla teoria degli insiemi fuzzy per interpretare ed integrare i contributi degli indici 8evidenza di bruciato e non bruciato). Questo algoritmo è stato sviluppato per l'ambiente mediterraneo e la validazione condotta su un data-set indipendente ha dimostrato come possa produrre mappe di aree bruciate con un'accuratezza soddisfacente (Stroppiana et al., 2012). Anche l'immagine TM non corretta per l'effetto dell'atmosfera (riflettanza al sensore) è stata considerata nel data set e classificata con lo stesso algoritmo. In totale sono state classificate 17 immagini e le mappe ottenute sono state confrontate con i perimetri delle aree bruciate forniti dall'Università Tecnica di Lisbona (Oliveira et al., 2011) per derivare la matrice di confusione e stimare errori di omissione e commissione in funzione della parametrizzazione delle condizioni di aerosol in atmosfera.

Tabella 1. Indici spettrali utilizzati nell'algoritmo per la mappatura delle aree bruciate.

Nome	Formula	Riferimento
Normalized Difference Vegetation Index	$NDVI = \rho_4 - \rho_3 / \rho_4 + \rho_3$	Rouse et al., 1973
Normalized Burn Index	$NBR = \rho_4 - \rho_7 / \rho_4 + \rho_7$	Key and Benson, 1999
Normalized Burn Index 2	$NBR2 = \rho_5 - \rho_7 / \rho_5 + \rho_7$	Key and Benson, 1999
Char Soil Index	$CSI = \rho_4 / \rho_5$	Smith et al., 2005
Mid-Infrared Burn Index	$MIRBI = 10 * \rho_7 - 9.5 * \rho_5 + 2$	Trigg and Flasse, 2001
Soil Adjusted Vegetation Index	$SAVI = (\rho_4 - \rho_3)(1 + L) / (\rho_4 + \rho_3 + L)$	Huete, 1988
Enhanced Vegetation Index	$EVI = G * (\rho_4 - \rho_3) / (\rho_4 + C_1 * \rho_3 - C_2 * \rho_1 + 1)$	Huete, 2002
Two-band EVI	$EVI = G * (\rho_4 - \rho_3) / (\rho_4 + C_3 * \rho_3 + 1)$	Jiang et al., 2008

$\rho_i$  è la riflettanza nelle bande TM 1, 2, ... 7 e  $C1=6, C2=7.5, C3=2.4, G=2.5, L=0.5$

## Risultati e discussione

La figura 2 presenta gli istogrammi di frequenza per gli indici di tabella 1 per 15000 pixel campione estratti dai perimetri delle aree bruciate sovrapposte alle immagini processate con diversi livelli di AOT ed il modello continentale di aerosol. L'analisi degli istogrammi è fondamentale poiché l'algoritmo delle aree bruciate si basa su funzioni *fuzzy* per l'interpretazione del contributo di ciascun indice quantificato dal grado *fuzzy* di appartenenza (*fuzzy membership degree*) (Stroppiana et al., 2012; Boschetti et al., 2010). Dal momento che le funzioni *fuzzy* vengono mantenute invariate per poter applicare l'algoritmo in modo automatico alle immagini, l'analisi delle loro variazioni in funzione di fattori "esterni" è fondamentale per l'interpretazione dell'accuratezza delle mappe delle aree bruciate ottenute. Gli istogrammi mostrano come ciascun indice vari in funzione delle condizioni atmosferiche e come alcuni siano più sensibili di altri a tali variazioni. In particolare, NBR, NBR2 ed NDVI mostrano le variazioni maggiori in funzione del livello di aerosol in atmosfera. EVI, che è stato sviluppato a partire dall'NDVI per essere più sensibile in condizioni di alta biomassa e più resistente alle variazioni delle condizioni atmosferiche conferma la sua robustezza dovuta principalmente all'utilizzo della banda TM nelle lunghezze d'onda del blu; infatti EVI2 che non utilizza questa banda è sicuramente più rumoroso. Dal momento che l'algoritmo *fuzzy* si basa anche sull'utilizzo di soglie, queste variazioni degli indici non dovute a cambiamenti delle condizioni della superficie devono essere tenute in considerazione. Tuttavia, l'utilizzo di più indici per la convergenza dell'evidenza di bruciato e della teoria *fuzzy* per l'interpretazione e l'integrazione degli indici, dovrebbe limitare l'influenza di fattori "esterni" sull'accuratezza finale; l'algoritmo dovrebbe quindi dimostrarsi robusto rispetto a variazioni delle condizioni atmosferiche.

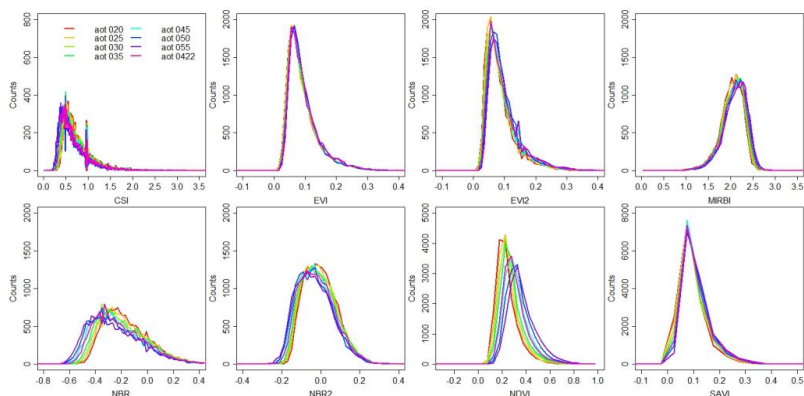


Figura 2. Istogrammi di frequenza degli indici spettrali derivati dalle immagini corrette con diversi valori di AOT ed il modello continentale per 15000 pixel campioni estratti in modo casuale sulla base dei perimetri delle aree bruciate.

Globalmente le mappe delle aree bruciate ottenute per i diversi valori di AOT considerati hanno l'accuratezza riassunta in tabella 2. Nella tabella, i valori di variazione dell'accuratezza ( $\Delta_{OE}$  e  $\Delta_{CE}$ ) sono calcolati tenendo come riferimento il valore AOT=0.422 scaricato dal sito AERONET per la stazione di Evora e la data di acquisizione dell'immagine TM. L'errore di omissione (area erroneamente classificata come non bruciata) varia nell'intervallo 5.6-6.5% e 4.2-12.6% per il modello continentale e marittimo, rispettivamente. L'errore di commissione (area erroneamente classificata come bruciata) varia nell'intervallo 11.9-13.6% e 17.7-25.8% per il modello continentale e marittimo, rispettivamente. In generale, l'errore di commissione è superiore a quello di omissione. L'utilizzo del modello marittimo di aerosol porta ad errori più elevati rispetto al modello continentale e a variazioni più alte (>15%) rispetto all'accuratezza ottenuta nel caso di AOT=0.422. In generale, gli errori tendono ad aumentare per valori di AOT estremi rispetto al valore di riferimento AERONET. Infine, la mappa delle aree bruciate derivata dall'immagine non corretta atmosfericamente (TOA - *Top of Atmosphere*) è caratterizzata da un errore di omissione superiore al 90% ed un errore di commissione pari a 8%. Quest'ultimo risultato conferma che la correzione atmosferica è necessaria.

Tabella 2. Errori di omissione (OE), commissione (CE) ed accuratezza globale (OA) e variazioni dell'errore ( $\Delta_{OE}$  e  $\Delta_{CE}$ ) rispetto all'errore ottenuto dalla mappa derivata dall'immagine corretta con il valore di riferimento AERONET (0.422).

AOT	Modello continentale					Modello marittimo				
	OE	$\Delta_{OE}$	CE	$\Delta_{CE}$	OA	OE	$\Delta_{OE}$	CE	$\Delta_{CE}$	OA
0.20	5.6%	-8.6%	12.9%	0.6%	98.4%	4.7%	14.0%	17.7%	-17.8%	97.9%
0.25	5.7%	-6.8%	12.7%	-1.2%	98.4%	4.6%	11.3%	18.3%	-15.0%	97.9%
0.30	5.8%	-5.6%	13.6%	5.7%	98.3%	4.5%	8.8%	18.9%	-12.3%	97.8%
0.35	6.0%	-2.5%	13.0%	1.6%	98.3%	4.3%	5.4%	19.7%	-8.2%	97.7%
<b>0.422</b>	<b>6.2%</b>	<b>0.0%</b>	<b>12.0%</b>	<b>0.0%</b>	<b>98.4%</b>	4.2%	<b>0.0%</b>	<b>21.5%</b>	<b>0.0%</b>	<b>97.5%</b>
0.45	6.2%	0.7%	12.6%	-1.7%	98.4%	12.6%	-2.9%	22.5%	4.7%	97.5%
0.50	6.4%	3.4%	12.3%	-4.0%	98.4%	12.3%	-7.4%	24.3%	13.0%	97.4%
0.55	6.5%	5.8%	11.9%	-7.0%	98.4%	11.9%	-11.8%	25.8%	20.2%	97.1%

La figura 3 presenta un esempio dell'accuratezza delle mappe delle aree bruciate derivate dall'applicazione dell'algoritmo *fuzzy* per tre livelli di AOT (0.20, 0.422, 0.55) tra cui quello di riferimento scaricato dal sito AERONET per la stazione di Evora e per il modello continentale. Questo esempio mostra chiaramente come, al variare dello spessore degli aerosol in atmosfera considerato nella correzione atmosferica delle immagini, possa variare significativamente l'errore di omissione e/o di commissione. Inoltre, la figura conferma visivamente come, nel caso del modello continentale, l'errore di omissione (aree blu) sia più influenzato dalla parametrizzazione atmosferica rispetto all'errore di commissione (aree in verde). Infatti, considerando l'intera immagine TM (tabella 2), l'errore di omissione può diminuire dell'8.6% rispetto all'accuratezza della classificazione ottenuta dall'immagine corretta con il valore AOT di riferimento. L'errore di commissione invece, sebbene sia più alto (12% per AOT=0.422), subisce variazioni percentuali inferiori (+5.7% per AOT=0.30). Nel caso del modello marittimo i due tipi di errori si comportano in modo opposto.

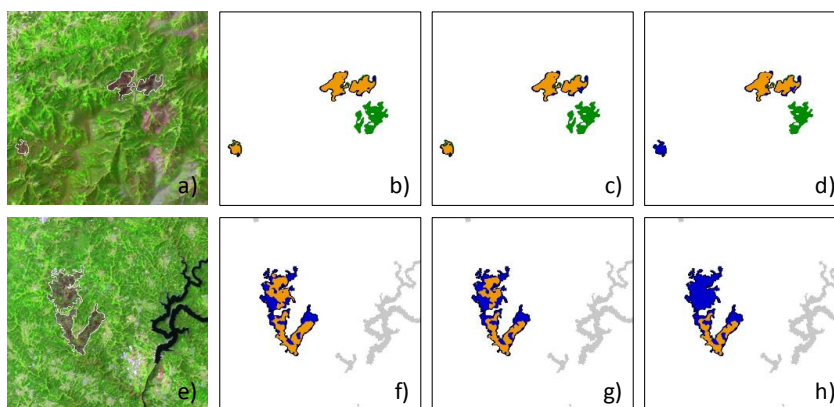


Figura 3. Mappe delle aree bruciate su due finestre estratte dall'immagine TM per AOT=0.20 (b, f), AOT=0.422 (c, g) ed AOT=0.55 (d, h). I pannelli a) ed e) mostrano l'immagine in falsi colori (RGB=543). I colori nelle mappe rappresentano le aree correttamente classificate (arancione), l'errore di omissione (blu) e di commissione (verde) e le aree mascherate come acqua e roccia (grigio).

## Conclusioni

L'obiettivo di questo lavoro è la valutazione delle variazioni di accuratezza nella mappatura delle aree bruciate da immagini TM in funzione della parametrizzazione delle condizioni atmosferiche ed, in particolare, della parametrizzazione del tipo e dello spessore degli aerosol. Una scena TM sul Portogallo è stata acquisita per la data 12/08/2003 e corretta radiometricamente e per l'effetto dell'atmosfera con il codice 6S e 8 valori di AOT centrati sul valore di riferimento scaricato dal sito

AERONET (AOT: 0.20, 0.25, 0.30, 0.35, **0.422**, 0.45, 0.50, 0.55). Due modelli di aerosol sono stati inoltre considerati: continentale e marittimo. Queste immagini e l'immagine non corretta per l'atmosfera (TOA) sono state processate con l'algoritmo *fuzzy* delle aree bruciate e le mappe così ottenute sono state valutate per confronto con i perimetri di riferimento delle aree percorse da incendio. I risultati hanno evidenziato come la correzione atmosferica sia necessaria per contenere l'errore di omissione entro livelli accettabile e come le variazioni di accuratezza al variare di AOT siano significativamente inferiori nel caso del modello continentale rispetto a quello marittimo.

### Riferimenti bibliografici

- Bastarrika A, Chuvieco E, and Pilar Martín M (2011), "Mapping burned areas from Landsat TM/ETM + data with a two-phase algorithm: Balancing omission and commission errors" *Remote Sensing of Environment*, 115(4): 1003–1012
- Boschetti M, Stroppiana D, Brivio P.A (2010), "Mapping burned areas in a Mediterranean environmental using soft integration of spectral indices from high-resolution satellite images", *Earth Interactions*, 14(17): 1-20.
- DGRF (Forestry Resources General Directorate) (2006a) Incêndios Florestais – Relatório 2005. Divisão de Defesa da Floresta contra Incêndios, Direcção Geral dos Recursos Florestais. (Lisboa, Portugal)
- Huete, A. R., (1988). A soil-adjusted vegetation index (SAVI). *Remote Sensing of Environment* 25, 295–309.
- Huete, A., Didan, K., Miura, T., Rodriguez, E.P., Gao, X., Ferreira, L.G., (2002). Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. *Remote Sensing of Environment* 83, 195-213.
- Jiang, Z., Heute A., Didan, K., Miura, T., (2008). Development of a two-band enhanced vegetation index without a blue band. *Remote Sensing of Environment* 112, 3833-3845.
- Key, C.H., Benson, N.C., (1999). Measuring and remote sensing of burn severity. In: Neuenschwander, L.F., Ryan, K.C. (Eds.), *Proc. Joint Fire Science Conference and Workshop*, vol. II,
- Nagol J.R, Vermote E. F, Prince S. D (2008), "Effects of atmospheric variation on ANHRR NDVI data", *Remote Sensing of Environment*, 113: 392-397
- Patterson M. W and Yool S.R (1998), "Mapping fire-induced vegetation mortality using Landsat Thematic Mapper data: A comparison of linear transformation techniques", *Remote Sensing of Environment*, 65 (2): 132–142
- Rouse J.W, Haas R. H, Schell J. A, e Deering D. W (1973), "Monitoring vegetation systems the Great Plains with ERTS" *Proc. 3rd ERTS Symposium, NASA SP-351*, vol. 1, 309–317.
- Slater P. N, Jackson R.D (1982), "Atmospheric effect on radiation reflected from soil and vegetation as measured by orbiting sensors using various scanning directions", *Applied Optics*, 21: 3923– 3931
- Smith, A.M.S., Wooster, M.J., Drake, N.A., Dipotso, F.M., Falkowski, M.J., Hudak, A.T., (2005). Testing the potential of multi-spectral remote sensing for retrospectively estimating fire severity in African savanna environments. *Remote Sensing of Environment* 97, 92–115.
- Stroppiana D, Bordogna G, Carrara P, Boschetti M, Boschetti L, Brivio P.A (2012), "A method for extracting burned areas from Landsat TM/ETM+ images by soft aggregation of multiple Spectral Indices and a region growing algorithm", *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 69: 88–102
- Trigg, S., Flasse, S., (2001). An evaluation of different bi-spectral spaces for discriminating burned shrub savanna. *International Journal of Remote Sensing* 22, 2641-2647.
- Vermote E.F, Saleous N, Justice C.O, Kaufman Y.J, Privette J.L, Remer L, Roger J.C, Tanré, D (2002), "Atmospheric correction of visible to middle-infrared EOSMODIS data over land surfaces: Background, operational algorithm, and validation", *Journal of Geophysical Research*, 102 (D14): 17131–17141