

# VALUTAZIONE DELLO STATO DELLA COPERTURA VEGETALE IN AFRICA: LA PROSPETTIVA DEL PROGETTO EUROPEO GEOLAND

Pietro A. BRIVIO<sup>(\*)</sup>, Gloria BORDOGNA<sup>(\*\*)</sup>, Mirco BOSCHETTI<sup>(\*)</sup>, Paola CARRARA<sup>(\*)</sup>,  
Daniela STROPPIANA<sup>(\*)</sup>

<sup>(\*)</sup>IREA-CNR, Via Bassini, 15, 20133 Milano, Tel: 02 23699395, Fax: 02 23699300, Email: brivio.pa@irea.cnr.it  
<sup>(\*\*)</sup>IDPA-CNR, Via Pasubio 5, 24044 Dalmine (BG)

## Abstract

The importance and role of the phenomena occurring on Earth surface, such as the transformation of land cover, is more and more recognised by the scientific community involved in the researches on climatic change at global scale. One outstanding example is represented by the international Project Land-Use and Land-Cover Change (LUCC).

To understand and quantify the nature and extent of changes and of their impact on the environment, a huge amount of heterogeneous data is required. Besides including a wide spectrum of information typologies (natural and anthropic factors) as well as a sufficient temporal range, they should allow an integrated analysis of such data on the basis of complex models.

The analysis of the status and behaviour of vegetation cover, exploited through images at regional and continental scales reliably delivered by Earth Observation satellites, could be a valuable strategy to detect ongoing variations.

This is one of the objectives of the Observatory for Land cover and Forest changes (OLF) of the GeoLand, an Integrated Project funded in the 6<sup>th</sup> Framework Programme of the European Commission and contributing to the GMES European Initiative.

This contribution finds its roots in the work done for GeoLand and presents a methodology based on soft computing techniques to analyse in an integrated way relevant time series of remote sensing data; the aim is to identify anomalies in the behaviour and status of vegetation cover at continental scale in Africa. The approach is based on approximate reasoning methodologies formalized within Fuzzy Set theory to deal with the uncertainty and incompleteness which undoubtedly affect wide scale phenomena. The method has been applied to Africa to estimate degrees of an environmental anomaly indicator designed to reinforce the evidence carried from different factors. The spatial and temporal distribution of the results are shown and briefly commented.

## Riassunto

L'importanza e il ruolo svolto dai fenomeni che avvengono sulla superficie terrestre, quali le modificazioni della copertura, sono sempre più riconosciuti dalla comunità degli studiosi che si interessano dei problemi dei cambiamenti ambientali a scala globale. Il progetto internazionale *Land-Use and Land-Cover Change* (LUCC) può essere assunto come esempio rappresentativo.

La comprensione e la quantificazione della natura e dell'entità dei cambiamenti e del loro impatto sull'ambiente richiedono la disponibilità di una grande quantità di dati di tipo anche molto diverso fra loro (variabili naturali e fattori antropici) e con una prospettiva temporale significativa, oltre alla capacità di una analisi integrata all'interno di modelli complessi.

L'analisi dello stato e del comportamento della copertura vegetale, basata sull'uso delle immagini fornite in maniera consistente su scala regionale e continentale dai satelliti per l'osservazione della Terra, può essere un possibile mezzo per identificare quali variazioni possono essere eventualmente in atto.

Questo è uno degli obiettivi dell'*Osservatorio Land cover and Forest changes* (OLF) sviluppato all'interno di *GeoLand*, un Progetto Integrato del 6° Programma Quadro della Commissione Europea, quale contributo all'iniziativa europea GMES.

Questo lavoro si basa sull'esperienza condotta in *GeoLand* e intende presentare una metodologia basata sulle tecniche di *soft computing* che permettono di analizzare in modo integrato lunghe serie temporali di dati ottenuti dai satelliti con l'obiettivo di identificare situazioni di anomalia nel comportamento e nello stato della copertura vegetale alla scala continentale in Africa. L'analisi utilizza gli strumenti della ragionamento approssimato e della teoria degli insiemi *Fuzzy* che permettono di trattare l'incertezza insita in fenomeni a così grande scala e l'incompletezza delle informazioni. Vengono infine presentati ed analizzati i primi risultati ottenuti nell'applicazione della metodologia proposta per la valutazione di anomalie della copertura vegetale in Africa.

### **Il Progetto Europeo *GeoLand***

*GeoLand* è un Progetto Integrato del 6° Programma Quadro della Commissione Europea iniziato nel 2004 e di durata triennale. Il suo scopo è di fornire prodotti e servizi che supportino l'implementazione delle direttive e delle politiche europee così come le convenzioni internazionali in campo ambientale (es. Natura 2000, UN *Forum on Forest and Convention to Combat Desertification*, il protocollo di Kyoto). Il Progetto, coordinato da Infoterra GmbH (Germania) e formato da 56 partner, ambisce a fornire una risposta globale relativa ai problemi di copertura terrestre e vegetale di GMES, tra cui il monitoraggio della vegetazione a livello globale. Esso si prefigge di sviluppare e dimostrare servizi pre-operativi per il monitoraggio di aree europee ed extraeuropee e di progettare un'infrastruttura operativa di servizi (Leroy et al., 2004).

Le attività di monitoraggio in *GeoLand* sono strutturate a più livelli: al primo livello i dati da satellite forniti dalle agenzie spaziali sono ricevuti dai *Core Services* che li elaborano, fornendo prodotti a valore aggiunto (cosiddetti intermedi e raccolti in un *Portfolio* di servizi) al livello dei cosiddetti *Osservatori* che operano opportuni adattamenti interfacciandosi direttamente con gli utenti finali. Questa architettura permette di offrire agli utenti dati sempre più ricchi di informazioni rilevanti ed adattati alle esigenze specifiche e nello stesso tempo riduce di livello in livello il volume dei dati trattati. Tra i prodotti finali, che sono una trentina, si trovano anche complesse stime ambientali.

*GeoLand* raccoglie un gran numero di utenti a livello regionale, nazionale, continentale ed internazionale che ne guidano lo sviluppo attraverso frequenti incontri con i gestori e i realizzatori del progetto.

Il lavoro qui presentato si situa nell'ambito della definizione e costruzione dell'*Osservatorio Land cover and Forest changes* (OLF) che si occuperà di due aree geografiche, Eurasia boreale e l'Africa, come indicato nell'annesso al piano strategico di GMES/EC.

### **Un indicatore di anomalia per lo stato della vegetazione**

La determinazione dello stato dell'ambiente è un'attività molto generale che è stata affrontata con svariati approcci in dipendenza di vari fattori come il contesto applicativo, il tipo di informazione da fornire e le esigenze degli utenti e del progetto. Nel contesto di OLF, il termine ambiente va inteso in riferimento alla vegetazione e stato si riferisce alle condizioni della copertura vegetale e alle loro modifiche. Anche in quest'ambito ristretto le metodologie proposte ed in uso sono svariate. Esse includono gli approcci fisici che descrivono specifiche caratteristiche di ecosistemi, come *Net Primary Production* (NPP) attraverso i modelli *Light Use Efficiency* (LUE) (Seaquist et al., 2003), i modelli concettuali che usano reti neurali per analizzare processi particolari come la deforestazione (Mas et al., 2004), e i modelli multivariati regressivi applicati alle interazioni umane e naturali (Maertens, Lambin, 1997). Si tratta di modelli con capacità predittive che tuttavia richiedono una base di conoscenza a priori dei fenomeni in modo da permettere la fase di apprendimento nei modelli neurali e la fase di classificazione supervisionata nei modelli multivariati. Per questo la loro validità è influenzata dalla fase di "taratura" che dipende dai dati

disponibili che sono spesso locali e regionali, in corrispondenza delle scale in cui gli ecosistemi e il loro comportamento sono osservati. A livello globale e continentale l'applicazione di questi modelli risulta più difficoltosa per la mancanza di conoscenze globali e di serie cospicue e continue di osservazioni.

Gli indicatori ambientali, che forniscono una rappresentazione sintetica del fenomeno analizzato, possono essere una buona soluzione. Essi sono definibili come un mezzo per sintetizzare una grande quantità di dati in una forma semplificata, pur conservando il significato essenziale delle questioni su cui ci si interroga e fornendo un'informazione semplice su sistemi complessi o criteri non facilmente misurabili (Ott, 1978).

Per quanto riguarda la raccolta dei dati, le osservazioni da satellite risolvono parzialmente il problema della loro disponibilità in termini spaziali e temporali. Tuttavia essi vanno interpretati ed integrati per descrivere in modo sintetico le condizioni dell'ambiente.

L'approccio proposto per *GeoLand-OLF* consiste nell'identificare le anomalie a scala continentale usando una integrazione *multi-criteria* ove i fattori individuali contribuiscono all'indicatore sintetico sulla base del rafforzamento dell'evidenza apportata dal fattore stesso in termini di scostamento (anomalia) da un insieme di valori di riferimento (Brivio et al., 2005).

L'approccio si può riassumere nella seguente espressione:

$$AI = F(p_1, \dots, p_n, I_1, \dots, I_n) \quad [1]$$

ove

- $AI$  è l'indicatore di anomalia, inteso come un *proxy* dei fenomeni studiati. L'integrazione dei fattori contribuenti, cioè i parametri disponibili che interagiscono nel processo, si attua attraverso il concetto di rafforzamento dell'evidenza
- $F$  è l'operatore che realizza l'integrazione pesata dei contributi dei diversi fattori e, nella proposta presentata, è definito da un operatore OWA (*Ordered Weighted Averaging aggregation*) con importanze che permette di realizzare una compensazione flessibile dei contributi e di implementare forme di quantificazione linguistica del tipo "la maggior parte", "quasi tutti", "tutti i fattori importanti", ecc. (Yager, 1988). Per la formalizzazione si veda la Figura 1.
- $p_j$  è il grado di soddisfacimento di un fattore contribuente, vale a dire un fattore giudicato rilevante ai fini della determinazione di  $AI$ . Tale grado associato ad ogni unità spaziale elementare (in genere un *pixel*) dell'area investigata prende valori in  $[0,1]$  e viene calcolato attraverso una funzione di *appartenenza* ad un insieme *Fuzzy* che rappresenta una valutazione qualitativa del contributo del fattore in termini di anomalia (Zadeh, 1965; Zadeh, 1975).
- $I_j$  è l'importanza relativa attribuita al  $j$ -esimo fattore contribuente.

L'operatore di aggregazione  $F : [0,1]^N \times [0,1]^N \rightarrow [0,1]$

ha associato un vettore di pesi  $W = [w_1, \dots, w_N]$  tale che

$$\sum_{i=1, N} w_i = 1 \quad \text{e} \quad w_i = PQ\left(\frac{1}{e} \sum_{j=1}^i e_j\right) - PQ\left(\frac{1}{e} \sum_{j=1}^{i-1} e_j\right) \quad \text{con} \quad e = \sum_{i=1}^N I_i = \sum_{i=1}^N e_i$$

PQ è un insieme fuzzy che definisce la semantica del quantificatore linguistico utilizzato

$$F(p_1, \dots, p_N, I_1, \dots, I_N) = \sum_{j=1, N} w_j \sup_j(p_1, \dots, p_N)$$

dove  $\sup_j$  è una funzione che seleziona il  $j$ -esimo elemento più grande tra i  $p_1, \dots, p_N$

Figura 1 – Definizione formale dell'operatore di aggregazione

I principali passi della metodologia sono illustrati nello schema di Figura 2. L'uso della teoria degli insiemi *Fuzzy* e degli operatori OWA è suggerito dalla loro capacità di modellare sistemi complessi, soprattutto quando, come in questo caso, i modelli che richiedono una base di conoscenza per la taratura non possono essere applicati per carenza di dati, i criteri che influenzano il fenomeno sono incerti e vaghi e i valori possono essere lacunosi. Dall'esperienza passata si ricava che al crescere della complessità del problema gli approcci *Fuzzy* risultano superiori (Klir, Yuan, 1995).

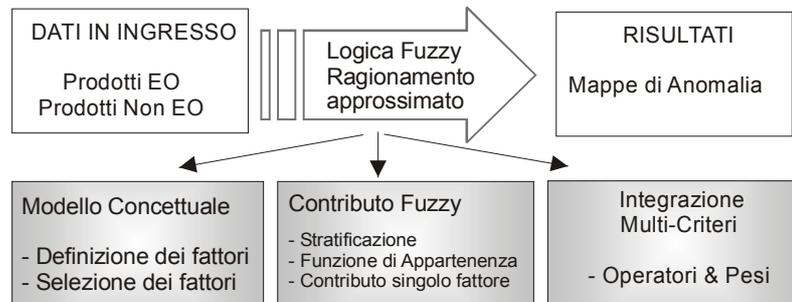


Figura 2 – Presentazione schematica dell'approccio per ottenere l'indicatore di anomalia

### Applicazione al continente Africano

Il metodo proposto è stato applicato per ottenere i valori dell'indicatore di anomalia in Africa. I dati utilizzati in *input* sono, naturalmente, quelli resi disponibili all'interno di *GeoLand-OLF*, a cui si sommano informazioni esterne. Si integrano quindi fattori contribuenti che riguardano anomalie nella fenologia della vegetazione (data d'inizio, di picco e durata della stagione vegetativa derivate dall'analisi dei profili temporali AVHRR-GAC NDVI) e nell'ammontare delle piogge nel corso della stagione.

Le variabili fenologiche si riferiscono all'ultima osservazione precedente il periodo rispetto al quale l'indicatore è computato, in questo caso l'anno. Le piogge sono ricavate sulla base dei dati decadali del *Meteosat Rainfall Estimation (RFE) Famine Early Warning System Network (FEWS-NET)* e sono cumulate rispetto ai 12 mesi precedenti.

Il grado di anomalia di ogni fattore si ottiene dalle funzioni di appartenenza fuzzy, costruite per aree omogenee, come differenza tra i valori correnti e la media a lungo termine che è ricavata dalle serie storiche 1991-2002 per la fenologia e 1996-2002 per le piogge. Le aree omogenee usate per la stratificazione del continente Africano sono derivate sulla base della mappa di copertura GLC2000 (Bartholomé, Belward, 2005).

Come primo esperimento l'indicatore sintetico di anomalia è stato calcolato per le decadi di ogni anno dal 1996 al 2002.

In questa prima fase di verifica dell'operatività del metodo, si è utilizzato come operatore *F* di aggregazione la media aritmetica:

$$AI = \frac{1}{n} \sum_{i=1,n} p_i = \frac{(f_{start} + f_{rain} + f_{date} + f_{length})}{n} \quad [2]$$

dove  $n = 4$ , poiché solo quattro fattori sono resi disponibili e  $I_i=1$  ( $i=1, \dots, n$ ) dal momento che i fattori sono considerati ugualmente importanti.

La media aritmetica può essere espressa dal quantificatore linguistico PQ= "mediamente tutti" e si può ottenere come caso particolare dell'operatore OWA assegnando i valori di importanza tutti uguali a 1 ( $I_i = 1, i=1, \dots, n$ ) e definendo il quantificatore linguistico PQ="mediamente tutti" che identifica la semantica dell'OWA tramite la funzione identità  $PQ(x)=x$ .

La figura 3 mostra l'*AI* derivato per l'ultima decade dell'anno 1999. Le aree più scure evidenziano le regioni più anomale ove potrebbero verificarsi cambiamenti di stato. L'oceano, i bacini interni e i deserti sono stati mascherati e risultano neri.

La mappa del AI per il 1999 in figura mostra una variabilità spaziale propria risultato del prodotto dell'integrazione dei singoli fattori. L'analisi per i vari anni (1996-2002) testimonia un'alta variabilità inter annuale sebbene certe costanti siano visibili. Il Corno d'Africa, l'Africa del Sud e la regione del Sahel a sud del Ciad sono caratterizzate da un comportamento fortemente anomalo nel periodo considerato.

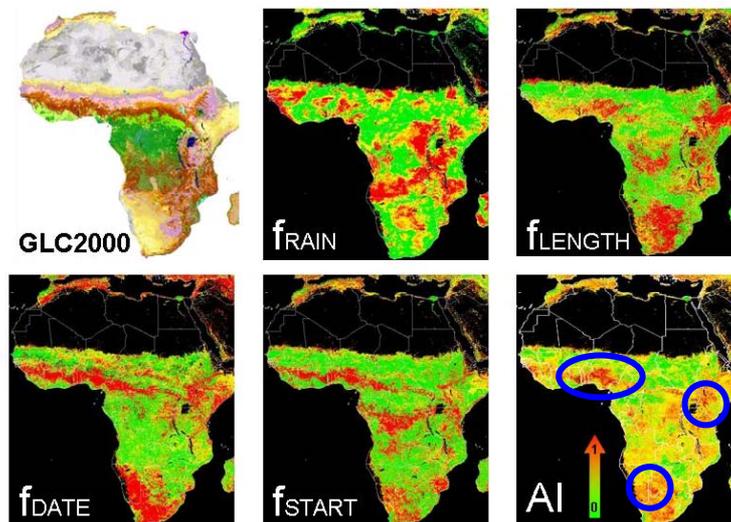


Figura 3 – Mappa dell'Indicatore di Anomalia (AI) per l'Africa per l'anno 1999, dove le zone maggiormente anomale sono evidenziate con dei cerchi (in basso a destra); la figura contiene anche la mappa GLC2000 usata per la stratificazione in aree omogenee (in alto a sinistra) e le mappe di anomalia dei singoli fattori di input ( $f_{RAIN}$ ,  $f_{LENGTH}$ ,  $f_{DATE}$ ,  $f_{START}$ ).

### Conclusioni

In questo lavoro si propone un approccio per la definizione di un indicatore di anomalia su scala globale e continentale che si basa su metodi di ragionamento approssimato e sul formalismo degli insiemi Fuzzy. Il metodo proposto permette di soddisfare le specifiche dell'*Observatory for Land cover and Forest change* da realizzare nel progetto europeo *GeoLand*. In particolare si è trattato di creare uno strumento robusto che sia in grado di offrire risultati anche a scale di continente, in cui la mancanza di conoscenze globali e di serie cospicue e continue di osservazioni per quelle scale rende di difficile applicazione gli altri modelli. Il metodo ben si adatta in circostanze dove i modelli che descrivono i processi degli ecosistemi, che richiedono una base di conoscenza per la taratura, non possono essere applicati per carenza di dati; inoltre lo strumento può essere applicato quando i criteri che influenzano il fenomeno sono incerti e vaghi e i valori possono essere lacunosi.

Il metodo, in corso di sperimentazione e verifica nel caso del continente Africano, si dimostra inoltre utile in applicazioni che richiedono l'integrazione con dati provenienti da altre fonti. Un esempio è il processo di desertificazione in cui l'indice può essere costruito tenendo in conto non solo l'anomalia dello stato della vegetazione e dell'andamento delle precipitazioni (che evidenziano condizioni di siccità), ma anche altri dati di natura socio-economica che giocano un ruolo non trascurabile in tali processi ambientali.

### Riconoscimenti

Questo lavoro è stato condotto nell'ambito delle attività dell'*Observatory for Land cover and Forest change* (OLF) di *GeoLand*, un Progetto Integrato del 6° Programma Quadro della Commissione Europea.

## **Bibliografia**

- Bartholomé E. e Belward A.S. (2005), "GLC2000: a new approach to global land cover mapping from Earth observation data", *Int. J. Remote Sensing*, 26 (9): 1959-1977.
- Brivio P.A., Boschetti M., Carrara P., Stroppiana D. e Bordogna G., (2005). A fuzzy anomaly indicator for environmental status assessment based on EO data: preliminary results for Africa. RGLDD 2005, Trier (Germany), 7-9 September 2005, (in press).
- Klir G. J. e Yuan B. (1995), *Fuzzy Sets and Fuzzy Logic: Theory and Applications*. Prentice-Hall, Upper Saddle River, NJ.
- Leroy M., Lacaze R., Lindau R., Olesen F., Pessanha L., Piccard I., Rosema A., Roujean J.L., Rubel F., Wagner W. e Weiss M. (2004), "Towards a European service center for monitoring land surfaces at global and regional scales: The GeoLand/CSP Project", XXth ISPRS Congress, Commission IV, 12-23 July 2004, Istanbul, Turkey, Vol. XXXV-B4, pp. 783-790.
- Maertens B. e Lambin E.F. (1997), "Spatial modelling of deforestation in southern Cameroon; spatial disaggregation of diverse deforestation processes", *Applied Geography*, 17(2): 143-162.
- Mas J.F., Puig H., Palacio J.L. e Sosa-Lopez A. (2004), "Modelling deforestation using GIS and artificial neural networks", *Environmental Modelling & Software*, 19: 461-471.
- Ott W.R. (1978), *Environmental indices: theory and practice*. Ann Arbor (MI).
- Seaquist J.W., Olsson L. e Ardoe J. (2003), "A remote sensing-based primary production model for grassland biomes", *Ecological Modelling*, 169: 131-155.
- Yager R.R. (1988), "On ordered weighted averaging aggregation operators in multi-criteria decision making", *IEEE Trans. Systems, Man and Cybernetics*, 18: 183-190.
- Zadeh L.A. (1965), "Fuzzy sets", *Information and Control*, 8: 338-353.
- Zadeh L.A. (1975), "The concept of a linguistic variable and its application to approximate reasoning", parts I, II. *Information Science*, 8: 199-249, 301-357.