CLASSIFICAZIONE DI IMMAGINI MULTISPETTRALI VERSO LA REALIZZAZIONE DI UNA CARTA DELLA VEGETAZIONE PER LA RISERVA DI NADUNG'ORO (TANZANIA)

Gabriele VITELLI (*), Giovanna PEZZI (**,***), Ivano PINO (*), Giulia SALVINI (****)

(*) DISTART - Università di Bologna (gabriele.bitelli, ivano.pino)@mail.ing.unibo.it

(**) CIRSA - Università di Bologna, Ravenna

(***) BES - Dipartimento di Biologia Evoluzionistica Sperimentale - Università di Bologna giovanna.pezzi2@unibo.it (***) Institute for Environmental Studies, Vrije Universiteit, Amsterdam, The Netherlands giulia_salvini@yahoo.it

Riassunto

La riserva naturale di Nadung'oro (Tanzania, Africa), posta sulle pendici occidentali del Monte Meru (4562 m), presenta un ambito altitudinale compreso tra i 1500 e i 2400 m. Al fine di valutare la distribuzione dei tipi di vegetazione a maggiore valore conservazionistico e per ripartire il territorio in ambiti a differente gestione e tutela è necessario disporre di una carta della vegetazione, per la cui realizzazione è indispensabile ricorrere alla classificazione di immagini multispettrali. Nel caso in questione è stata utilizzata un'immagine ASTER (*Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer*) a moderata risoluzione (risoluzione a terra 15 m nella componente VNIR), sottoposta ad un processo preliminare di raddrizzamento differenziale (ortorettifica) per la cui esecuzione si è utilizzato il modello digitale globale di elevazione SRTM.

Una delle principali difficoltà del lavoro è stata legata alla localizzazione ed alla ridotta numerosità dei punti di controllo a terra disponibili, dovuta ai problemi logistici per la loro acquisizione. La classificazione si è basata su 11 classi/tipi di vegetazione individuati sulla base delle specie dominanti, ed è stata condotta secondo una metodologia ibrida "supervisionata/non supervisionata" in grado di usufruire dei benefici di entrambi gli approcci; dopo una prima classificazione non supervisionata con tecnica Isodata, per l'assegnazione delle classi/tipi di vegetazione sono stati utilizzati operatori di analisi spaziale (*buffer* ed *overlay*) in ambiente GIS, e si è infine proceduto ad una classificazione supervisionata (massima verosimiglianza) dell'immagine. La stima dell'accuratezza della classificazione ottenuta potrà essere meglio effettuata con la disponibilità di ulteriori punti di controllo a terra.

Abstract

The natural reserve of Nadung'oro (Tanzania, Africa), lying on the western slope of Mount Meru (4562 m), is characterized by an altitude ranging from 1500 to 2400 m. In order to evaluate the distribution of vegetation types and to share the territory of the reserve into areas characterized by different types of management and protection, it's necessary to provide a vegetation map, necessarily obtained by classification of multispectral satellite images. In our case an ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer) image at moderate resolution (VNIR 15 m) was used; it was pre-processed by a differential rectification (orthorectification) realized using the global digital elevation model SRTM. One of the main difficulties of the job has been related to the position and the small number of the ground control points, due to the logistic problems for their acquisition. The classification has been based on 11 classes of vegetation types chosen according to the dominant species, and was carried on using an hybrid "supervised/unsupervised" methodology, trying to use the benefits of both the approaches; after a first unsupervised classification using Isodata technique, for the class/vegetation type

assignment spatial analysis operators were used (buffer and overlay) in a GIS environment, and lastly a supervised image classification (maxlike) was carried on. Other ground sampling points are needed in order to assess the accuracy of the obtained classification.

Introduzione

La riserva naturale di Nadung'oro (Tanzania, Africa) ha un'estensione di 513 ha ed è localizzata sulle pendici occidentali del Monte Meru (4562 m), vulcano attivo posto a circa 70 km ad ovest del monte Kilimanjaro, con un ambito altitudinale compreso tra i 1500 e i 2400 m (fig. 1).

Una prima carta della vegetazione della riserva, realizzata per valutare la distribuzione dei tipi di vegetazione a maggiore valore conservazionistico e per ripartire il territorio in ambiti a differente tutela e modalità di gestione, è stata generata dall'analisi di un'immagine satellitare (fig. 2, immagine a sinistra) del sensore multispettrale ASTER (*Advanced*



Figura 1 – Mt. Meru, shaded relief

Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer) acquisita nel mese di febbraio 2003, che corrisponde localmente al massimo del periodo vegetativo.

E' stata utilizzata l'immagine nadirale della banda NIR per l'individuazione visiva di strutture nella fase di correzione geometrica dell'immagine, mentre per la classificazione spettrale sono state impiegate tutte le bande ad eccezione di quelle dell'infrarosso termico (TIR).

L'informazione a terra è stata acquisita con georeferenziazione diretta mediante GPS di punti posti nei tipi di vegetazione ritenuti significativi per lo studio in corso; tale operazione, condotta in affiancamento alle attività svolte dall'ong OIKOS di Milano, è stata caratterizzata da problemi logistici che hanno limitato significativamente il numero di punti di controllo acquisiti e la loro disposizione spaziale, rendendo quindi più difficoltosa la fase di elaborazione del dato telerilevato.



Figura 2: La georeferenziazione dell'immagine ASTER (sinistra), con riferimento al mosaico della cartografia OSD convertita in forma raster (destra)

Materiali e metodi

La carta della vegetazione è stata realizzata a partire da un'immagine ASTER. Il sensore ASTER orbita a bordo di TERRA, un satellite lanciato nel Dicembre 1999 come parte del NASA *Earth*

Observing System (EOS); una scena ASTER copre 61.5 x 63 km e contiene dati di 14 bande spettrali acquisite da tre sottosistemi strumentali con differenti risoluzioni a terra. Sono presenti tre bande nella porzione del visibile e dell'infrarosso vicino (VNIR, 0.52-0.86 μ m, 15 m di risoluzione), sei bande nell'infrarosso medio (SWIR, 1.60-2.43 μ m, 30 m di risoluzione) e cinque bande nell'infrarosso termico (TIR, 8.12-11.65 μ m, 90 m di risoluzione). Il sottosistema VNIR nella banda NIR (vicino infrarosso) consente inoltre l'acquisizione di coppie stereoscopiche utilizzate per la realizzazione di modelli digitali di elevazione.

L'immagine ASTER è stata orto-rettificata utilizzando il modello digitale di elevazione (DEM) globale SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*, 90 m di risoluzione a terra), al quale viene associata un'accuratezza verticale pari a \pm 16 m (LE90) e un'accuratezza posizionale di circa \pm 20 m (CE90) (Rabus et al., 2003). Il DEM ricavato dalla coppia stereoscopica di immagini ASTER nel vicino infrarosso non è risultato infatti di qualità soddisfacente per l'area di studio, sia per l'elevata escursione nella quota che per problemi legati alla luminosità della scena.

In assenza di dati di migliore qualità, l'ortoimmagine è stata georeferenziata utilizzando 12 punti di controllo a terra (*Ground Control Points*, GCPs) per l'intera immagine ASTER e 7 localmente per l'area di interesse. I GCPs sono stati dedotti da una cartografia 1:50.000 prodotta nel 1990 dall'*Overseas Surveys Directorate (OSD)* in proiezione UTM, sferoide *Clarke 1880*, *Datum New1960 Arc*, opportunamente convertita in forma raster (Figura 1, immagine a destra).

Ai fini della classificazione della vegetazione, è stata effettuata una ricognizione a terra mediante ricevitore GPS palmare con il campionamento di 51 punti, per i quali è stata stabilita l'appartenenza a tipi di vegetazione definiti in base alle specie dominanti (Tabella 1). Purtroppo non è stato possibile ad oggi pervenire ad un numero superiore di punti in considerazione dei notevoli problemi logistici, ed evidentemente una disponibilità molto maggiore di punti noti a terra potrà nel futuro consentire un affinamento nella elaborazione effettuata.

Considerando l'errore sul posizionamento assoluto del GPS (sono state realizzate comunque acquisizioni di lunga durata mediando la posizione finale), gli errori associati alla carta di base ed alla coregistrazione, l'accuratezza sui punti campionati può essere valutata intorno ai 25 m.

Per la classificazione sono state sperimentate due diverse metodologie, la classica tecnica supervisionata a massima verosimiglianza ed un metodo di classificazione ibrida "supervisionata/non supervisionata" (Fleming et al., 1975; Richards, 1993; Messina et al., 2000), in grado di sfruttare i benefici portati da entrambi gli approcci; quest'ultimo verrà descritto nel seguito. Va ricordato che in una classificazione supervisionata l'operatore è responsabile della definizione delle aree di addestramento, compito difficile nel caso in esame considerando la variabilità spaziale dei tipi di copertura, la scarsa interpretabilità del dato a 15 m di risoluzione e l'incertezza di circa 2 *pixel* (VNIR) sulla co-registrazione dei punti campionati.

Si è dunque proceduto secondo le seguenti fasi:

- 1. Classificazione non supervisionata per determinare statisticamente le classi spettrali in cui l'immagine è suddivisa;
- 2. Test di separabilità per la selezione e l'unione delle classi spettrali;
- 3. Assegnazione delle classi di campionamento alle classi statistiche ricavate dal test di separabilità;
- 4. Classificazione supervisionata di massima verosimiglianza addestrando l'algoritmo con il set delle classi statistiche campionate.

Per la classificazione non supervisionata è stato adoperato un algoritmo Isodata (20 iterazioni, 255 classi, convergenza 0.98) su 9 bande dell'immagine (VNIR-SWIR); le elaborazioni sono state condotte utilizzando la versione 9.1 del software ERDAS Imagine. Nella successiva fase sono stati calcolati i valori di "divergenza trasformata" (TD, *Transformed Divergence*) per tutte le possibili coppie di classi spettrali. Si è dunque ottenuto statisticamente un valore della TD di soglia al di sopra del quale due classi sono state considerate separabili; se una stessa classe accoppiata con diverse altre classi restituisce un valore basso di TD, è probabile che essa sia poco significativa e quindi eliminabile. Il test di separabilità ha definito 22 classi statistiche distinte.

Tipo di vegetazione	Sigla
Nuxia-Hagenia Montane Forest	Nhf
Cordia-Albizia Dry Forest	Caf
Acacia Treeland	At
Dodonea Treeland	Dt
Eucalyptus Treeland	Et
Dodonea Shrubland	Ds
Vernonia Shrubland	Vs
Cynodon Grassland	Cg
<i>Psiadia</i> Shrubland	Ps
Pine Plantation	Рр
Cultivation	Mc
Suolo privo di vegetazione per cause antropiche	Bs

Tabella 1: Tipi di vegetazione cartografati nella riserva di Nadung'oro

Per l'assegnazione ai tipi di vegetazione le problematiche insorte sono state principalmente due:

- 1. alcune aree campionate avevano un'estensione ridotta (1000 m²) rispetto alla precisione nel rilevamento dei punti campionati (\pm 25 m);
- 2. per questioni di copertura del segnale GPS i punti di campionamento relativi ad aree forestate compatte non erano stati rilevati all'interno delle stesse, ma in zone periferiche esterne ad esse adiacenti.

Si è dunque reputata opportuna la creazione, in ambiente GIS, di aree *buffer* generate intorno ai punti rilevati in situ (figura 3). In relazione alle caratteristiche fisionomico-strutturali dei tipi di vegetazione, ovvero alla inaccessibilità/accessibilità dei siti con il ricevitore GPS, le aree buffer sono state realizzate di forma circolare (75 m di raggio) o ad anello (15 m il raggio interno e 90 m quello esterno). É stato dunque sviluppato un algoritmo in ambiente Matlab per l'analisi delle aree di *overlay* tra l'immagine classificata (opportunamente vettorializzata) ed i buffer di campionamento; tale analisi è stata quindi finalizzata all'assegnazione dell'habitat più probabile alla classe spettrale corrispondente.

Il tipo "suolo privo di vegetazione per cause antropiche" (*bare soil*) è stato assegnato per interpretazione visiva dell'immagine; sono state rimosse le classi Cultivation e Pteridium Fernland per problemi rispettivamente di non coerenza temporale con l'immagine o di indeterminatezza dovuta ad aree ridotte. Una volta individuate le corrispondenze, le firme spettrali dei tipi di vegetazione sono state processate per la classificazione supervisionata dell'immagine.

È stato utilizzato un algoritmo di classificazione a massima verosimiglianza (*maxlike*) con soglie di tolleranza pesate in base al numero di punti campionati per ciascun tipo di vegetazione. Per rimuovere i pixel *random* osservati nelle classi principali, si è applicato un algoritmo di raggruppamento con unità minima di mappa (MMU) pari a 0.36 ha (4x4 pixel). L'immagine classificata è stata infine esportata nel formato ESRI *shapefile* (figura 4).

Purtroppo, per quanto sopra esposto, non è stato ancora possibile effettuare una effettiva validazione dei risultati ottenuti, che potrà essere compiuta disponendo di un numero superiore di punti noti a terra.



Figura 3: Visualizzazione in ambiente GIS delle aree di buffer e della classificazione secondo le classi spettrali risultanti dal test di separabilità. Per il significato delle sigle si veda Tabella 1.



Figura 4: Stralcio della Carta della vegetazione della riserva di Nadung'oro

Considerazioni e sviluppi futuri

L'analisi delle immagini ASTER per la realizzazione della carta della riserva di Nadung'oro ha dovuto confrontarsi con la tipologia delle coperture vegetali, informazione che era inesistente per l'area considerata. Si è adottata una descrizione spaziale dell'eterogeneità della vegetazione relativamente semplice e legata all'esistenza di specie di facile riconoscimento, che caratterizzano i sistemi ambientali.

La procedura *pixel-based* di classificazione ibrida è risultata altamente automatizzata, minimizzando l'intervento dell'operatore e affidandosi quanto più all'analisi statistica di banda e alle applicazioni GIS. Pur in presenza di una forte carenza di informazioni di base, si è operato cercando di applicare le tecniche digitali in maniera sistematica, consistente e trasparente, con

l'obiettivo di ridurre per quanto possibile l'inconsistenza risultante dall'interpretazione visiva (Wulder et al. 2004).

L'obiettivo futuro è di considerare altri strati informativi territoriali a supporto dell'uso dei dati satellitari e della mappa di vegetazione determinata, e soprattutto di rilevare altri punti di campionamento *in situ* per la stima dell'accuratezza della classificazione utilizzata e della sua completezza ed esaustività. La carta potrà essere uno strumento di lavoro utile per delimitare vegetazioni di cui si vorrà studiare in dettaglio la composizione specifica e le variazioni nel tempo.

Ringraziamenti

L'immagine ASTER è stata fornita nell'ambito di *grant* NASA. La ricerca sulla riserva di Nadung'oro è stata effettuata in affiancamento di attività condotte dall'Istituto OIKOS ong (Milano).

Bibliografia

Fleming M. D., Berkebile J. S., Hoffer R. M. (1975), "Computer aided analysis of Landsat-1 MSS data: a comparison of three approaches including a modified clustering approach", Laboratory for Application Remote Sensing, West Lafayette, Information Note 072475

Messina J.P., Crews-Meyer K.A., Walsh S.J. (2000), "Scale Dependent Pattern Metrics and Panel Data Analysis as Applied in a Multiphase Hybrid Land Cover Classification Scheme", *Proceedings of the American Society of Photogrammetry and Remote Sensing (ASPRS) Conference*, Miami, Florida, USA

Rabus B., Eineder M., Roth A., & Bamler R. (2003), "The Shuttle Radar Topography Mission - a new class of digital elevation models acquired by spaceborne radar", *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 57(4): 241–262

Richards J. A. (1993), Remote Sensing Digital Image Analysis: an Introduction.

Wulder, Michael A., Caren C. D. and Erickson B. (2004), Natural Resources Canada, Canadian Forest Service Pacific Forestry Centre, Victoria, British Columbia, <u>Information Report, BC-X-398.</u>