Sviluppo di un algoritmo di classificazione automatico per la generazione di mappe di land cover finalizzate al monitoraggio della desertificazione

Gaetano PACE (*), Claudio ZUCCA (**), Weicheng WU (**)

(*) Advanced Computer Sistems S.p.A, Via della Bufalotta, 378, Roma, tel. +39-06-87090920, e-mail: g.pace@acsys.it

(**) Nucleo di Ricerca sulla Desertificazione, Università di Sassari, Viale Italia, 57, Sassari, tel. +39-079-2111016, e-mail: nrd@uniss.it

Sommario

Il rischio di Desertificazione nei paesi della sponda nord del Mediterraneo è un fenomeno sotto l'attenzione della comunità internazionale, come evidenziato dallo sviluppo di numerosi progetti nazionali ed Europei. In molti di questi, quali LADAMER, GeoRange, DeSurvey, MODULUS, DesertLinks, RIADE, il dato satellitare gioca un ruolo fondamentale per la valutazione di una serie di indicatori ambientali per il monitoraggio della desertificazione.

Il progetto DesertWatch, commissionato dall' European Space Agency (ESA) mira a sviluppare un sistema informativo orientato agli utenti finali attraverso una ricaduta tecnologica di metodi, modelli e algoritmi sviluppati in precedenti progetti di ricerca. Il sistema DesertWatch ha quindi l'obiettivo di sviluppare un software, facile da utilizzare da parte di personale non tecnico, che sfrutti il telerilevamento per il monitoraggio della desertificazione. I requisiti del sistema richiedono la capacità di generare in maniera quanto più possibile automatica ed accurata i parametri di interesse.

Il progetto, attualmente in fase di completamento, prevede la realizzazione di 11 parametri che comprendono indicatori semplici (quantificazione di aree artificiali, aree irrigate, incendi boschivi, abbondanza di vegetazione, erosione dei suoli, ecc.) indicatori dinamici (de-forestazione, frammentazione delle foreste, aree ri-naturalizzate, ecc.) modelli complessi e mappe di rischio. Tali parametri saranno rilevati in vaste regioni di Italia, Portogallo, Turchia e Grecia.

E' stato pertanto sviluppato un algoritmo che combina i punti di forza dei più sofisticati metodi di classificazione, per la generazione di un tool automatico. Tale metodo, basato essenzialmente su un classificatore supervised, combina un modulo di estrazione automatica del training set basato su fuzzy logic, con tecniche di segmentazione multispettrale multiscala e data fusion.

I risultati ottenuti durante la fase di prototipazione nella regione Sardegna, indicano accuratezze di classificazione superiori al 93% in tutti i casi. I dati di validazione sono stati ottenuti attraverso fotointerpretazione su circa il 15% dell'area di test.

Abstract

The desertification risk in the North Mediterranean countries is receiving growing attention from the international community, as indicated by the development of numerous European projects. In many of these, such as LADAMER, GeoRange, DeSurvey, MODULUS, DesertLinks, RIADE, the satellite data play a fundamental role for assessing monitoring indicators.

The DesertWatch project, commissioned by the European Space Agency (ESA) aims at developing an user tailored information system, via a technological transfer of methods, models and algorithms developed in the previous research projects. It has the objective of developing an user-friendly and automated software, based on remote sensing for monitoring desertification. The project, which is currently under finalisation, has the objective of computing 11 physical environmental parameters, which include simple indicators (urban area quantification irrigated areas, forest fires, vegetation abundance, soil erosion, etc.) dynamic indicators (de-forestation, forest fragmentation, ri-naturalisation, etc.) complex models and desertification risk maps. These parameters are produced in large areas of Italy, Portugal, Turkey and Greece.

The method is mainly based on the generation of a land cover map with 12 classes, which, appropriately post-processed via GIS analysis, enables to obtain the necessary indicators. An automated algorithm has been developed for this purpose, which combines the strengths of the most sophisticated image processing and classification methods. It is essentially based on a supervised classification, and combines automatic training set extraction based on fuzzy logic, with multispectral/multi-scale segmentation and data fusion techniques. The results obtained during the prototyping phase indicate classification accuracies above 93% in all cases. The validation data have been obtained through photointerpretation on about 15% of the test area.

Introduzione

Il monitoraggio della desertificazione e del degrado delle terre richiede il rilevamento di indicatori ed indici complessi di carattere ambientale, climatico e socio-economico. Molti di questi possono essere ottenuti tramite telerilevamento satellitare in maniera indipendente o in combinazione con altre informazioni.

Il progetto dell'European Space Agency (ESA) DesertWatch ha l'obiettivo di creare un sistema informativo orientato agli utenti finali, basato sul telerilevamento, capace di realizzare in maniera automatica, accurata, ripetitiva ed economicamente sostenibile i parametri ambientali di interesse. Tali indicatori sono stati definiti attraverso un processo partecipativo basato sulla fattibilità tecnico-scientifica e sulle necessità degli utenti. Essi comprendono indicatori semplici (quantificazione di aree artificiali, aree irrigate, incendi boschivi, abbondanza di vegetazione, erosione dei suoli, ecc.) indicatori dinamici (de-forestazione, frammentazione delle foreste, aree ri-naturalizzate, ecc.) modelli complessi e mappe di rischio.

Il progetto ha coinvolto istituzioni di vari paesi del Mediterraneo, quali Italia, Grecia, Turchia e Portogallo, e le aree di studio coprono vaste regioni di questi paesi. Si prevede di generare gli indicatori di interesse per 3 date, corrispondenti al 1984, 1994 e 2004, allo scopo di effettuare analisi dinamiche dei fenomeni osservati.

Uno dei pilastri fondamentali del sistema informativo DesertWatch è l'algoritmo per la produzione di mappe di *land cover* da cui estrarre, con analisi GIS, gli indicatori richiesti. Tale algoritmo deve soddisfare i seguenti requisiti: i) generare classi di land cover adeguate per l'estrazione degli indicatori richiesti; ii) essere il più possibile automatico; iii) ottenere livelli di accuratezza tematica > 80%; iv) minimizzare la quantità di dati satellitari necessari. Questo articolo descrive in dettaglio l'algoritmo di classificazione realizzato ad-hoc e integrato nel sistema informativo DesertWatch.

Metodologia

Per prima cosa è stata definita una legenda per la mappa di land cover (vedi *Tabella* 3) tale da rappresentare molti degli indicatori di interesse, quali ad esempio estensione e dinamica di aree forestali, aree artificiali, aree agricole irrigate e non, ecc.. Questa legenda consente inoltre di ricavare il *Vegetation Quality Index*, utilizzato nella metodologia per la costruzione di mappe di sensibilità alla desertificazione (Kosmas et al., 1999).

I dati di *training*, necessari per la funzione di classificazione supervised, vengono ricavati con una procedura automatica basata su *fuzzy logic* (Arcuri et al. 2001) che, a partire da una antecedente mappa di land cover (es. CORINE land cover), individua una training set robusto e stabile.

L'algoritmo di classificazione utilizza per ciascun area di studio e per ogni anno di riferimento 2 immagini Landsat, scelte rispettivamente in primavera-estate ed in autunno. Il sensore è stato selezionato sulla base della risoluzione spaziale appropriata, e della disponibilità di lunghe serie temporali. L'utilizzo di 2 date per anno consente di catturare informazioni legate alla stagionalità (esempio cicli fenologici, colture estive e invernali, ecc.).

La classificazione segue un approccio *object oriented*, in cui le unità elementari da classificare sono oggetti dell'immagine piuttosto che pixel individuali (Baatz e Schäpe 1999). A tale scopo si utilizza un segmentatore sviluppato ad-hoc per immagini multispettrali, basato su un metodo di aggregazione pesato multiscala (Galli e De Candia, 2005). L'immagine è rappresentata da un grafo di pixel 4/8-connessi, dove il *coupling* associato a ciascun arco rappresenta la verosimiglianza che i pixel corrispondenti siano separati da un bordo. I segmenti vengono definiti individuando i *tagli* che minimizzano la funzione obiettivo globale di *taglio-normalizzato*. La particolarità di questo algoritmo è la possibilità di modificare il coupling associato agli archi del grafo in funzione della statistica dei pixels aggregati nei vari segmenti, il che permette di costruire un algoritmo di segmentazione al tempo stesso edge-based e region-based. Tale metodologia si presta particolarmente per analisi di immagini telerilevate complesse in cui gli oggetti rappresentati hanno proprietà multiscala eterogenee.

La procedura di segmentazione produce 6 layer per ciascuna immagine Landsat (la banda del termico viene esclusa). La dimensionalità dei dati viene ridotta utilizzando una PCA che conservi > 99% dell'informazione originaria. Alle bande risultanti dalla PCA vengono aggiunti i layer di altezza, pendenza e esposizione, ottenuti dal DEM. Attraverso tale elaborazione, vengono prodotti 3 data set indipendenti, costituiti dall'elaborazione dell'immagine primaverile, di quella autunnale e dall'analisi congiunta delle due. Questi 3 dataset pre-elaborati vengono quindi utilizzati in un classificatore basato su *Maximum Likelihood* per ottenere 3 differenti mappe di copertura del suolo. Le 3 mappe così ottenute rappresentano diverse "fotografie" dell'area di studio. Infatti alcune classi, es. colture stagionali, possono essere meglio localizzate utilizzando immagini di una sola data, mentre l'individuazione di classi non stagionali, es. aree artificiali può beneficiare dell'utilizzo di un numero maggiore di dati, e quindi dell'utilizzo simultaneo delle due immagini. La mappa di land cover finale è stata quindi ottenuta combinando le 3 mappe indicate sopra, attraverso analisi di maggioranza pesata.

Area di Studio e Dati Utilizzati

La descrizione dell'applicazione del metodo DesertWatch è focalizzata sulla regione Sardegna, in Italia. Il paesaggio dell'area di studio varia da montano a pianeggiante e da plateaus a bacini. L'altitudine è compresa principalmente entro i 1000 metri, anche se il punto più alto raggiunge i 1834 metri (Monte La Marmora). Il clima varia da semi-arido e semi-umido con precipitazione annuale compresa tra 600-990 mm. La vegetazione consiste principalmente in macchia mediterranea, praterie miste ad arbusti di cisto, lentischio, mirto, aree agro-forestali, conifera artificiale e comprende la maggior parte della campagna non coltivata.

L'agricoltura e il turismo sono i rami principali dell'economia. Esistono ampie aree di pascolo naturali non gestite. A causa della intensa attività antropica, l'uso del suolo si è allargato e intensificato comportando degrado delle terre, che include anche incendi boschivi (D'Angelo et al., 2001). Per queste ragioni la Sardegna è stata selezionata come uno dei siti di studio del progetto DesertWatch.

Lo studio ha coperto l'intera regione in tre anni, corrispondenti al 1984, 1994 e 2004. Sono state utilizzate immagini multi-temporali Landsat TM e ETM+, come indicato nella *Tabella* 1. Le immagini sono state ortorettificate e corrette radiometricamente.

Path-Row	Data	Path-Row	Data	Path-Row	Data
192-32/ 192-33	1984-07-18	193-33	1985-07-28	193-33	1984-05-06
			1985-09-30		1984-09-11
	1992-04-19		1994-03-31		1994-03-31
			1994-08-06		1994-08-06
	2004-07-09		2004-06-30		2004-06-30
			2004-10-04		2004-08-17

Tabella 1 Lista delle immagini Landsat utilizzate. I frames selezionati sono indicati secondo la numerazione Landsat, indicando cioè path e row.

Sono stati inoltre utilizzati i seguenti dati ausiliari: i) DEM con risoluzione spaziale di 30m; ii) CORINE Land Cover Maps datate 1990 a 2000; iii) Dati socio-economici a livello comunale; iv) Foto aeree del 1997, 2000 e 2003, con 1 metro di risoluzione.

Risultati

Mappe di land cover sono state prodotte per l'intera regione nei 3 anni di riferimento (Figura 1). Non essendo disponibili dati di validazione di campo (tali campagne sono attualmente in fase di svolgimento), la verifica e la validazione sono state effettuate utilizzando foto aeree digitali. La procedura prevede l'individuazione di aree di validazione basata su fotointerpretazione con copertura del 15% del territorio. L'accuratezza è stata misurata creando matrici di confusione, in cui si confronta la mappa di land cover con i dati di validazione. I risultati, riportati in Tabella 2, mostrano livelli di accuratezza molto elevati, superiori in ogni caso al 93%, e coefficienti K sempre superiori al 0.93.

Le mappe di land cover riferite ai vari anni consentono di effettuare analisi di dinamiche (*Tabella* 3). Si può notare, ad esempio che le foreste di conifere e le aree artificiali mostrano un chiaro aumento dal 1984 al 2004, mentre colture arboree permanenti e aree agricole sono diminuite. Un'ulteriore analisi potrà confermare se questi trend sono congruenti con i dati socio-economici.

Anno di riferimento	Rispetto alle foto aeree (1997, 2000 and 2003)	
	Accuratezza	K Coef.
1984	94.86%	0.94
1994	93.90%	0.93
2004	96.87%	0.96

Tabella 2 Accuratezze e coefficiente K delle mappe di Land Cover

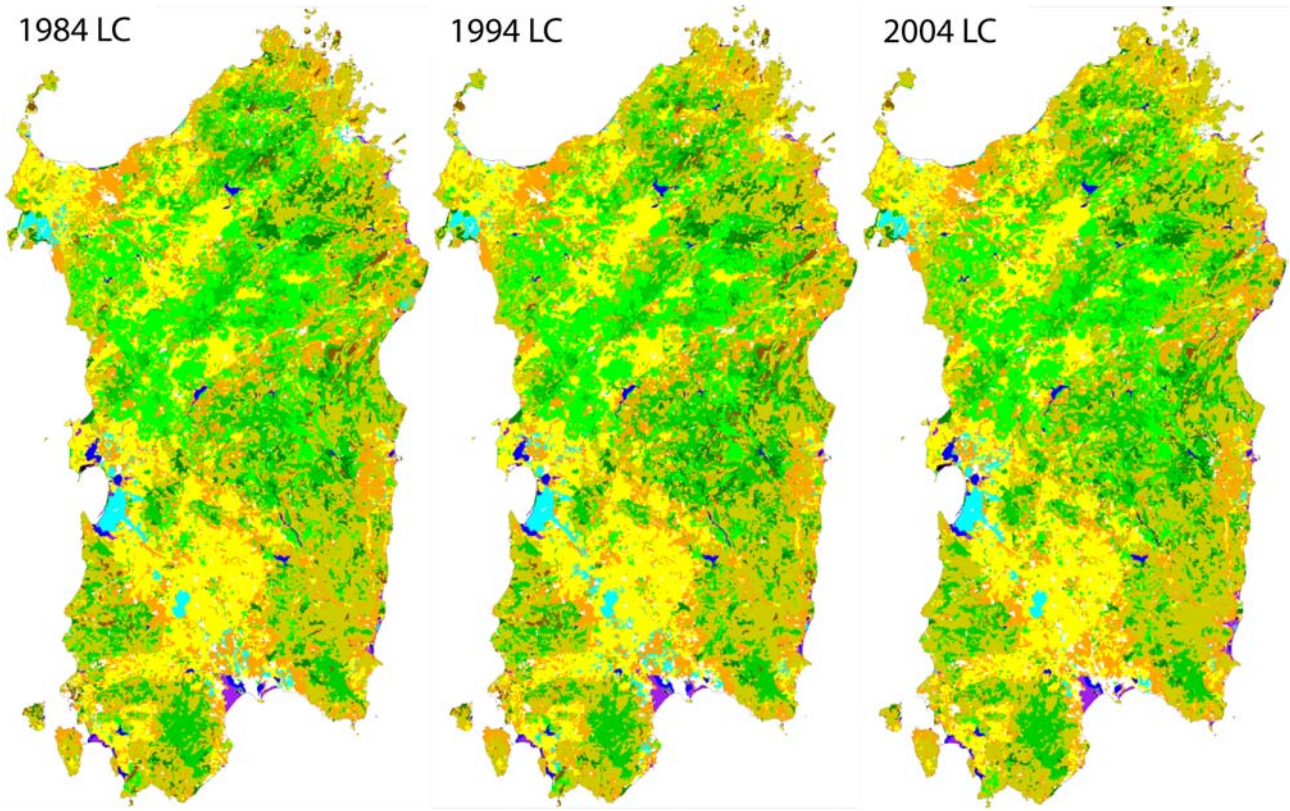

Figura 1 Mappe di Land Cover della regione Sardegna negli anni 1984-1994 e 2004

Classi di Land Cover	**Number in Hectares**		
	1984	**1994**	**2004**
Foresta di conifere	78703.74	77081.31	80877.78
Foresta deciduas	303075.4	315081.8	307341.5
Praterie	387124.9	351025	352207.2
Colture arboree permanenti ed aree agricole eterogenee	378340.7	373096.7	361398.5
Aree agricole non irrigate	506893.1	504578.6	477912.9
Aree agricole non irrigate	42034.68	46731.33	37358.64
Suolo nudo	34967.07	39054.6	14122.62
Aree artificiali	52435.26	50641.38	64003.14
Aree umide	12583.53	13019.22	15068.16
Corpi d'acqua	15035.76	15852.33	16442.46
Incendi boschivi	*	*	*
Macchia mediterranea mista e foreste miste	596315.9	620181.9	680736.3

Tabella 3 Dinamica di Land Cover negli anni di riferimento. La classe degli incendi boschivi, inclusa in questa tabella per completezza viene valutata utilizzando un algoritmo indipendente, sviluppato ad hoc

Conclusioni

Nell'ambito del progetto DesertWatch è stato sviluppato un algoritmo object-oriented di classificazione di dati satellitari. Mappe di land cover sono state realizzate utilizzando dati Landsat sull'intera regione Sardegna per gli anni 1984, 1994 e 2004 e validate utilizzando foto aeree con risoluzione di 1 metro. Le accuratezze sono in tutti i casi > 93%. I dati di validazione sul campo, la cui raccolta è in corso d'opera, consentiranno di effettuare ulteriori verifiche. Il principale aspetto innovativo consiste nella realizzazione di un sistema informativo integrato semi-automatico, che consentirà ad utenti non-esperti di elaborare immagini allo scopo di ottenere indicatori per il monitoraggio della desertificazione e del degrado dei suoli.

Riferimenti Bibliografici

Arcuri G., Chirici G., Romanelli G., Maselli F. (2001), "Procedura semiautomatica per l'aggiornamento di carte di uso del suolo tramite immagini telerilevate." *Rivista Italiana di Telerilevamento. 22:23-31.*

Baatz M. e Schäpe A., 1999. Object-Oriented and Multi-Scale Image Analysis in Semantic Networks. In: Proc. Of the 2nd International Symposium on Operationalization of Remote Sensing(Enschede. ITC).

D'Angelo, M., Enne, G., Madrau., Zucca, C. (2001), "Land cover changes at landscape-scale in Sardinia (Italy): the role of agricultural policies on land degradation" in Land Degradation (papers selected from the Sixth Meeting of the International Geographical Union's Commission of Land Degradation and Desertification. Perth, University of Western Australia, 20-28 September 1999), A. Conacher [Ed], Dordrecht, The Netherlands, Kluwer Academic Publishers. pp 127-140.

Galli L., De Candia D. (2005), "Multispectral Image Segmentation via Multiscale Weighted Aggregation Method", submitted and accepted for SPIE Remote Sensing 2005, 12th International Symposium, September 2005.

Kosmas, C., Kirkby, M. and Geeson, N. (1999), *Manual on: Key indicators of desertification and mapping environmentally sensitive areas to desertification.* European Commission, Energy, Environment and Sustainable Development, EUR 18882, 87 p.