

MONITORAGGIO DELLE RISORSE FORESTALI IN AMBIENTE MEDITERRANEO MEDIANTE TELERILEVAMENTO

D'Angelo M.⁽¹⁾, Galli A.⁽²⁾, Motta M.⁽³⁾, Zucca C.⁽⁴⁾

⁽¹⁾Facoltà di Agraria, Università di Sassari - Sede di Nuoro, Località Sa Terra Mala - 08100 Nuoro; ⁽²⁾Dipartimento di Biotecnologie Agrarie ed Ambientali, Università di Ancona, v. Breccie Bianche - 60131 Ancona; ⁽³⁾Dipartimento di Scienze dell'Ambiente e del Territorio, Università di Milano - Bicocca, v. L. Emanuela 15 - 20126 Milano; ⁽⁴⁾Nucleo Ricerca Desertificazione, Università di Sassari, v. E. De Nicola 7 - 07100 Sassari.

Abstract: *Monitoring forest resources in Mediterranean environment using remote sensing techniques.* Since the Neolithic pastoralism has played a major role in the landscape changes of the Mediterranean basin; during the last century the increased anthropic pressure on Mediterranean ecosystems (overgrazing, fires, overcultivation of unsuitable areas) led to severe land degradation phenomena. The typical Mediterranean forest ecosystems have undergone a progressive and steady depletion, resulting in very fragmented and heterogeneous landscapes. In this context monitoring forest resources at regional scale represents a major issue towards the identification of areas threatened by land degradation where mitigation actions have to be carried out. Remote sensing is a powerful tool for monitoring natural and forest resources due to its synoptic and multitemporal characteristics. Nevertheless, the heterogeneity and rapid dynamics of secondary vegetation after disturbances (overgrazing or fires) make complex the use of the traditional classification techniques of remote sensed images. In this study we present preliminary results obtained with the application of traditional and innovating procedures for land cover classification (Maximum Likelihood Classification, Spectral Mixture Analysis) in central-eastern Sardinia.

Keywords: remote sensing, land cover, sardinia, spectral mixture analysis.

Introduzione

Nelle aree marginali mediterranee europee, sin dall'antichità si è assistito ad una forte pressione antropica sulle risorse forestali (Le Houerou 1981). La pressione esercitata dal pastoralismo, dovuta da un lato a fenomeni di sovrappascolamento (Koutsidou e Margaris 1998) e dall'altro agli incendi boschivi storicamente legati all'allevamento del bestiame (Briassoulis 1992), ha portato allo sviluppo di una vegetazione particolarmente adattata a questi tipi di perturbazioni; l'elevata capacità pollonifera di alcune specie arboree ed arbustive (*Quercus ilex*, *Erica spp.*, *Arbutus unedo*) e l'elevata capacità di disseminazione di altre (*Cistus spp.*, *Cytisus villosus*) sono solo alcuni dei meccanismi adattativi messi in atto dalle specie della vegetazione mediterranea.

Nell'ultimo secolo si è assistito ad un progressivo aumento della pressione antropica sulle formazioni forestali mediterranee, soprattutto a causa degli incendi boschivi, che ha contribuito alla progressiva scomparsa di vaste porzioni della superficie forestale innescando fenomeni di degradazione e nei casi più estremi di desertificazione (Perez-Trejo 1994, U.N.E.P. 1994). Secondo le statistiche FAO (1995) nell'Europa Mediterranea nel decennio 1981-1990 si sono verificati 353.575 incendi che hanno interessato 4.192.200 ha di foreste e aree a macchia.

La Sardegna costituisce un'area particolarmente rappresentativa di questo fenomeno; nel solo periodo 1983-98 sono stati interessati dal fuoco circa 670.000 ha, il 70% dei quali costituiti da aree a pascolo, il 23% da aree boscate e il rimanente da aree prettamente agricole (Regione Autonoma Sardegna 1998). Queste perturbazioni provocano

cambiamenti anche repentini della copertura del suolo ed in particolare a carico delle formazioni forestali; in questo contesto si pone il problema del monitoraggio delle risorse forestali, ai fini della predisposizione di carte della sensibilità alla desertificazione che tengano in considerazione la funzione protettiva della vegetazione (Cyr *et al.* 1995).

Diversi autori hanno messo in evidenza le potenzialità operative del telerilevamento nel monitoraggio delle risorse naturali (Hill 1993, Lacaze *et al.* 1996) grazie alle caratteristiche di sinotticità e multitemporalità, anche se in ambiente mediterraneo l'estrema frammentazione ed eterogeneità della copertura vegetale a seguito dei processi di ricolonizzazione (presenza di formazioni dalla macchia rada al pascolo cespugliato senza soluzione di continuità) rende molto complesso l'utilizzo dei tradizionali sistemi di classificazione/inventariazione (Melia 1997).

Scopo del presente lavoro, condotto mediante immagini del satellite Landsat TM, è quello di testare le potenzialità del telerilevamento nella discriminazione delle coperture delle terre, con particolare riferimento alle aree boscate ed a quelle con vocazione forestale, in un contesto ambientale difficile come quello dell'area mediterranea dovuto all'estrema eterogeneità di alcune tipiche formazioni vegetali.

L'indagine è stata condotta in un'area della Sardegna centro-orientale in cui l'agropastoralismo ha da sempre rappresentato la principale attività economica, e dove negli ultimi quarant'anni la progressiva intensivizzazione dei sistemi di produzione agropastorali ha contribuito a modificare profondamente il paesaggio, provocando la scomparsa di vaste superfici forestali ed innescando fenomeni di desertificazione (d'Angelo *et al.* 1999).

Questo lavoro si inserisce in una ricerca più ampia finalizzata all'individuazione delle aree sensibili alla desertificazione, nella quale l'inventario ed il monitoraggio della copertura delle terre rivestono un ruolo fondamentale (Motta *et al.* 1999).

Materiali e metodi

L'area di studio

L'area di studio è localizzata nella Sardegna centro-orientale e coincide con i territori dei comuni di Irgoli, Onifai, Orosei (20.889 ha circa).

L'area è caratterizzata da una morfologia irregolare dovuta all'estrema eterogeneità dei substrati geologici (rocce intrusive e metamorfiche Paleozoiche, calcari cristallini Mesozoici, rocce effusive basiche Plio-Pleistoceniche, sedimenti alluvionali Olocenici terrazzi alluvionali Pleistocenici, depositi eolici Olocenici). I paesaggi sono prevalentemente collinari con pendenze medie piuttosto elevate (19% pendenza media sull'intera area), il che, insieme ad un clima particolarmente erosivo, contribuisce a far sì che i suoli siano prevalentemente superficiali poco evoluti e poco fertili.

Il clima è tipicamente mediterraneo secco-subumido, caratterizzato da precipitazioni variabili da 500 a 700 mm, prevalentemente concentrate in autunno ed inverno, da una lunga stagione secca e da una temperatura media di 17.5 °C.

Dal punto di vista fitoclimatico (Arrigoni 1968) la vegetazione appartiene al climax termoxerofilo delle foreste miste di sclerofille e delle macchie costiere, anche se la vegetazione climacica appare estremamente degradata a causa della forte pressione antropica (sovrappascolamento e ripetuti incendi). Nelle aree costiere la vegetazione spontanea è dominata da macchie che rientrano nell'*orizzonte delle boscaglie e macchie litoranee*, mentre nelle aree più elevate sono presenti le diverse fisionomie di macchia e piccoli lembi di lecceta cedua afferenti all'*orizzonte delle foreste miste di sclerofille*.

Dal punto di vista dell'utilizzazione del suolo il territorio è caratterizzato da un'utilizzazione agricola intensiva nella piana alluvionale del F.Cedrina, mentre l'utilizzazione agropastorale semi-estensiva esercitata soprattutto con l'allevamento ovino è localizzata nelle aree collinari a morfologia irregolare ed in alcuni casi accidentata.

Metodologia dell'indagine

In figura 1 sono schematizzate le principali fasi dell'indagine. In primo luogo si è proceduto all'acquisizione di tutto il materiale disponibile per l'area di studio, con particolare riferimento alla cartografia topografica a scala 1:25.000 ed alle coperture aerofotografiche disponibili.

Dopo un primo inquadramento dell'area di studio sono state scelte dall'archivio dati Landsat 5-TM due immagini particolarmente significative per lo studio della copertura

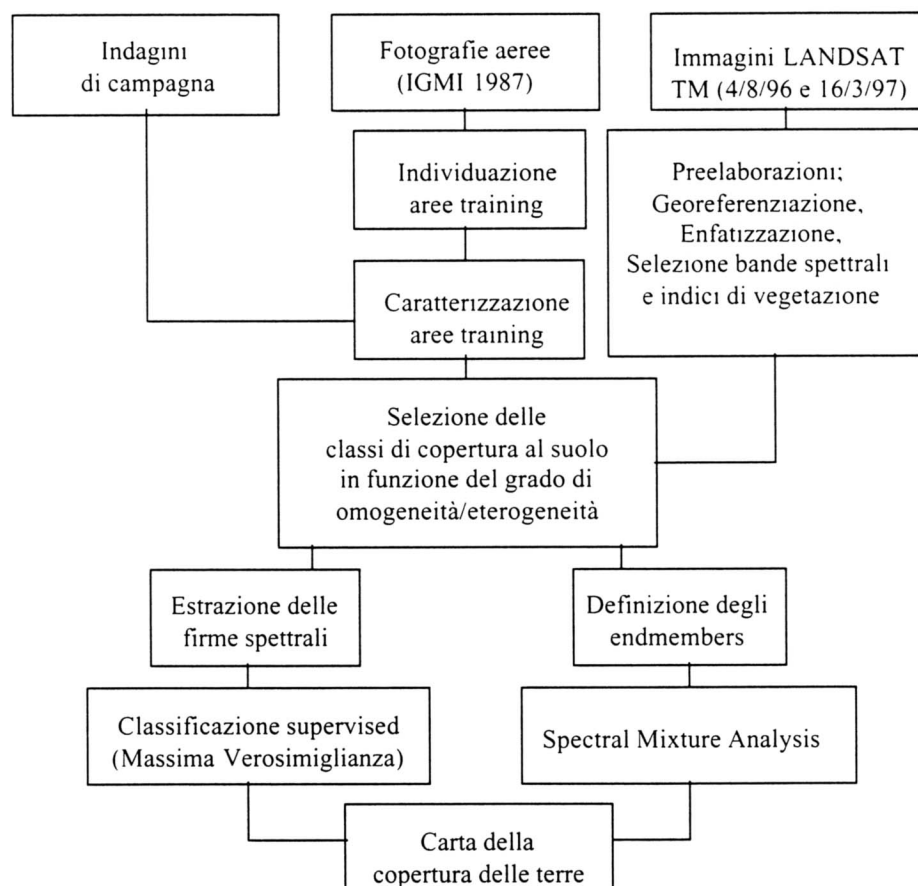


Fig. 1 - Diagramma di flusso delle principali fasi metodologiche dell'indagine

delle terre in ambiente mediterraneo; la prima relativa al periodo estivo (04/08/1996), la seconda al periodo primaverile (16/03/1997). L'utilizzo di immagini multitemporali è fondamentale in quanto consente di studiare le diverse coperture vegetali in funzione della risposta spettrale che le caratterizza durante le varie fasi del ciclo fenologico.

Quindi si è proceduto alla definizione del sistema di classificazione della copertura delle terre in relazione agli obiettivi dell'indagine, individuando le seguenti classi: Aree urbanizzate (1), Aree agricole (2.1 Colture erbacee irrigue, 2.2 Colture arboree mediterranee, 2.3 Pascoli artificiali), Aree a pascolo (3.1 Pascoli naturali erbacei, 3.2 Pascoli cespugliati), Aree forestali a macchia (4.1 Macchia rada, 4.2 Macchia bassa degradata, 4.3 Macchia medio-alta densa), Aree boscate (5.1 Aree boscate naturali, 5.2 Aree boscate

artificiali), Aree prive di vegetazione (6), Corpi d'acqua (7). Nella tabella 1 è riportata una breve nota illustrativa delle classi di copertura considerate.

Dopo la georeferenziazione delle immagini al sistema di riferimento UTM, sono state eseguite alcune preelaborazioni delle immagini finalizzate alla selezione di bande o combinazioni di bande (indici di vegetazione, componenti principali) maggiormente significative per la discriminazione delle classi di copertura considerate.

La classificazione delle immagini è stata condotta in due fasi distinte: nella prima è stato utilizzato un approccio tradizionale di classificazione *supervised* (MLC), mentre nella seconda si è fatto ricorso alla *Spectral Mixture Analysis* (SMA).

Il primo tipo di approccio è stato utilizzato per la classificazione delle coperture caratterizzate da una risposta

Tab. 1 - Classi di copertura e relativa nota illustrativa.

1. Aree urbanizzate	<i>Superfici caratterizzate da insediamenti abitativi e da zone residenziali a carattere turistico a tessuto continuo.</i>
2.1. Colture erbacee irrigue	<i>Superfici destinate alla produzione agricola specializzata ed erbai localizzate nella piana alluvionale del Cedrino.</i>
2.2. Colture arboree mediterranee	<i>Aree agricole destinate all'olivicultura, più raramente alla viticoltura, localizzate in aree a morfologia pianeggiante o debolmente ondulata.</i>
2.3. Pascoli artificiali	<i>Superfici lavorate (decespugliamento, spietramento, aratura) e seminate con essenze foraggere (cereali ad uso zootecnico associati a miscugli di graminacee e leguminose adatti alle condizioni locali) ed utilizzate direttamente con il pascolamento (ovini da latte). Il ciclo di lavorazione di queste superfici prevede l'aratura e semina ogni tre o quattro anni. La continua lavorazione di queste superfici ha causato una progressiva perdita di fertilità dei suoli. Queste superfici sono localizzate prevalentemente in aree a morfologia da debolmente ondulata a estremamente irregolare; è opportuno notare che le aree lavorate negli ultimi 20 anni sono localizzate in zone non vocate a questo tipo di utilizzazione, con pendenze superiori al 35% e suoli superficiali. In queste condizioni sono evidenti fenomeni di erosione diffusa ed incanalata.</i>
3.1. Pascoli naturali erbacei	<i>Aree caratterizzate dalla prevalenza di popolamenti erbacei naturali utilizzati direttamente con il pascolamento delle specie di interesse zootecnico (ovini e caprini). Queste aree tradizionalmente destinate all'attività agropastorali vanno progressivamente scomparendo.</i>
3.2. Pascoli cespugliati	<i>Aree a pascolo progressivamente ricolonizzate dalle specie invadenti e non appetite dal bestiame (<i>Inula viscosa</i>, <i>Asphodelus</i>, <i>Carlina spp.</i>, <i>Cistus spp.</i>); il grado di copertura della componente arbustiva non supera il 20%. L'elevata capacità di rinnovazione di queste specie si manifesta con una progressiva ricolonizzazione delle intere superfici passando attraverso gli stadi di macchia rada e quelli di macchia bassa degradata.</i>
4.1. Macchia rada	<i>Aree cespugliate aperte in cui la componente arbustiva è inferiore al 60%, nelle lacune sono presenti popolamenti erbacei naturali o naturalizzati. La presenza di queste formazioni fisionomiche è dovuta principalmente a cause antropiche; l'evoluzione verso formazioni più evolute e chiuse è impedito dalla pressione del pascolamento e dalla ricorrenza degli incendi.</i>
4.2. Macchia bassa degradata	<i>Formazioni chiuse dominate dal cisto (<i>Cistus spp.</i>), con presenza sporadica di altre specie della macchia; queste formazioni svolgono una funzione protettiva suolo molto importante ed facilitano la rinnovazione naturale di specie di interesse forestale.</i>
4.3. Macchia medio-alta densa	<i>Formazioni a macchia evolute e stratificate; oltre alla componente arbustiva, ricca floristicamente chiusa ed impenetrabile, si aggiunge la componente arborea generalmente costituita dal leccio.</i>
5.1. Aree boscate naturali	<i>Formazioni chiuse e monostratificate prevalentemente edificate da leccio. Si tratta di cedui di leccio, generalmente matricinati, e presenti su superfici ridotte di proprietà comunale gravate da usi civici.</i>
5.2. Aree boscate artificiali	<i>Formazioni forestali artificiali derivanti dalla piantagione di conifere mediterranee a prevalente funzione protettiva realizzate in aree degradate. Negli impianti più vecchi dopo il diradamento delle conifere si è assistito ad un progressivo processo di rinaturalizzazione con presenza di un sottobosco di diverse specie della macchia mediterranea.</i>
6. Aree prive di vegetazione	<i>Superfici prive di vegetazione a causa degli affioramenti rocciosi; la vegetazione in questo caso può svilupparsi solo nelle piccole tasche di terreno presenti nelle fessurazioni della roccia.</i>
7. Corpi d'acqua	<i>Corpi d'acqua, lagune e stagni costieri, bacini artificiali.</i>

spettroale omogenea quali le aree urbanizzate, le aree prive di vegetazione, i corpi d'acqua, le aree boscate artificiali e naturali, le aree agricole. Per la classificazione è stato utilizzato il classificatore di massima verosimiglianza (*maximum likelihood*), che consente di classificare ogni singolo pixel di una immagine in funzione della sua somiglianza (calcolata statisticamente) rispetto a delle aree campione di cui si conosce il comportamento spettroale (training set).

Per ciascuna classe di copertura sono state individuate le aree campione sulle fotografie aeree disponibili (Volo Alto IGMI del 1987) e sono stati eseguiti i rilievi di campagna per la loro caratterizzazione.

Si sono quindi selezionate le bande o le combinazioni di bande in grado di discriminarle e sono state estratte le relative firme spettroali.

Successivamente, sono state prese in considerazione le classi caratterizzate da una estrema frammentazione spaziale e, di conseguenza, da una risposta spettroale eterogenea (superfici a macchia e pascolo) dovuta alle differenze di densità (densa, aperta, rada) e di fisionomia (pascoli cespugliati, macchia bassa, medio alta, macchia foresta). La risposta spettroale in queste condizioni è difficilmente ascrivibile ad una sola classe di informazione, ma dipende dal contributo di diverse classi di copertura (pixel misti).

Per affrontare questo problema si è fatto ricorso alla Spectral Mixture Analysis, la quale assume che il comportamento spettroale di un pixel sia dovuto alla presenza di un limitato numero di coperture pure (*endmembers*) e che ciascuna copertura contribuisca alla risposta spettroale complessiva in funzione della percentuale da essa occupata (figura 2).

Questo concetto è espresso dalla seguente espressione:

$$R_i = \sum F_k * RE_{i,k} + \epsilon_i \quad \text{con } k = 1; 2; \dots; n$$

dove R_i è la riflettanza di un pixel nella i -esima banda, F_k è la frazione di pixel occupata dall'*endmember* k , $RE_{i,k}$ è la riflettanza dell'*endmember* k nella i -esima banda, ϵ_i è l'errore residuo e n il numero di *endmember* considerati. Ovviamente la somma delle frazioni deve dare uno ($\sum F_k = 1$, con $k = 1; \dots; n$).

Nella presente indagine sono stati considerati i seguenti *endmembers*: pascolo artificiale, macchia rada (cisteto), macchia foresta e ombra, quest'ultima utilizzata per limitare l'effetto delle ombre sull'immagine.

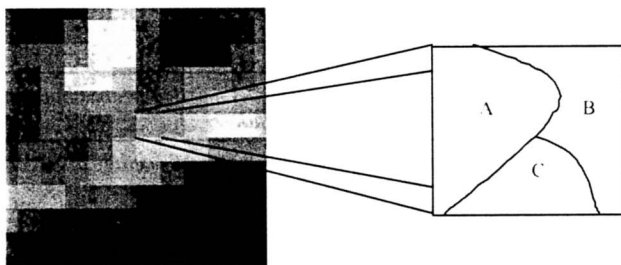


Fig. 2 - Ingrandimento dell'immagine di Agosto 1996 ed *endmembers* presenti in un singolo pixel; A. pascolo artificiale; B. macchia bassa degradata; C. macchia medio-alta.

Il risultato dell'elaborazione delle immagini con la SMA è rappresentato dalla determinazione della percentuale di ogni pixel occupata dai diversi *endmember* (cioè il valore F_k).

Per ciascun *endmember* si è ottenuta una immagine, in cui il valore del pixel (da 0 a 1) indica lo specifico contributo alla riflettanza complessiva del pixel. Per eliminare il contributo dell'ombra, i valori delle immagini delle tre coperture vegetali sono stati successivamente normalizzati in modo da dare somma 1 (cioè 100% di copertura) in ogni pixel. In questo modo sono state ottenute tre immagini, mediante le quali si è proceduto alla definizione delle classi di informazione da cartografare (Tab. 2).

Tab 2 - Valori di copertura percentuale delle classi considerate nella Spectral Mixture Analysis

Classi di copertura del suolo	Copertura (%) dell' <i>endmember</i>		
	Pascolo	Macchia bassa	Macchia alta
Pascolo artificiale	>90	<10	<10
Pascolo naturale erbaceo	80-90	<20	<20
Pascolo cespugliato	60-80	<40	<40
Macchia rada	40-60	>30	<10
Macchia bassa degradata	10-40	<60	<60
	40-60	<30	<30
	<10	>40	<50
Macchia medio-alta densa	<10	<40	>50

Risultati e discussione

In figura 3 è rappresentata la carta di output della copertura del suolo ottenuta utilizzando la metodologia precedentemente descritta, mentre in tabella 3 sono riportate le relative superfici e percentuali.

L'accuratezza ottenuta applicando l'approccio di classificazione supervised alle relative classi di copertura è stata sempre superiore al 90%, confermando le potenzialità del classificatore *maximum likelihood* nella discriminazione di classi di copertura con risposta spettroale omogenea.

Maggiori problemi sono stati riscontrati nell'utilizzo della spectral mixture analysis, soprattutto in relazione all'estrema frammentazione spaziale e di conseguenza alla eterogeneità spettroale delle classi di copertura considerate.

La presenza di ombre è stato uno dei maggiori problemi riscontrati, bypassato utilizzando uno specifico *endmember*; nel futuro si prevede di correggere radiometricamente l'immagine utilizzando un modello digitale del terreno.



Fig. 3 - Carta della copertura del suolo

In bibliografia (Lacaze 1996, Garcia-Haro *et al.* 1999), la Spectral Mixture Analysis è stata utilizzata come algoritmo

Tab. 3 - Risultati della classificazione della copertura del suolo

Classi di copertura del suolo	Superficie	
	(ha)	(%)
1. Aree urbanizzate	788	3.77
2.1. Colture erbacee irrigue	613	2.93
2.2. Colture arboree mediterranee	441	2.11
2.3. Pascoli artificiali	1667	7.98
3.1. Pascoli naturali erbacei	1222	5.85
3.2. Pascoli cespugliati	2824	13.52
4.1. Macchia rada	2464	11.80
4.2. Macchia bassa degradata	6611	31.65
4.3. Macchia medio-alta densa	835	4.00
5.1. Aree boscate naturali	1292	6.19
5.2. Aree boscate artificiali	1275	6.11
6. Aree prive di vegetazione	827	3.96
7. Corpi d'acqua	29	0.14

di classificazione a sé stante, considerando *endmembers* spettralmente molto differenti tra loro (aree non vegetate, ombra e formazioni boscate); il tentativo qui condotto, invece, prevede la determinazione della distribuzione di termini puri (*endmember*) molto più simili tra loro (diverse forme di macchia e pascolo).

La Spectral Mixture Analysis ha permesso di determinare la distribuzione di sei differenti classi di informazione particolarmente significative: pascoli artificiali (*endmember* pascolo maggiore del 90%), pascoli naturali erbacei (copertura a pascolo compresa tra 80% e 90%) pascoli cespugliati (pascolo tra 60% e 80% con progressiva ricolonizzazione di specie arbustive), macchia rada (componente arbustiva

inferiore al 40%), macchia bassa degradata (alta copertura del suolo, ma a prevalenza di cisto), macchia medio-alta (costituita in prevalenza da arbusti a componente arborea).

Da una prima valutazione dell'accuratezza sono risultate determinate in modo soddisfacente (> 80%) alcune classi: i pascoli artificiali e quelli cespugliati, la macchia rada e quella medio-alta densa, che peraltro rappresentano stadi evolutivi particolarmente significativi. Viceversa, per le classi che presentano caratteristiche di transizione (pascolo erbaceo naturale e macchia bassa degradata), le accuratèzze risultano non ancora soddisfacenti.

La scelta degli *endmember* rappresenta, infatti, il punto cruciale in questo tipo di analisi; l'esperienza condotta nell'area di studio ha messo in evidenza come continue perturbazioni agli agroecosistemi siano fonte di eterogeneità nella copertura del suolo e fonte di confusione nel processo di classificazione delle immagini telerilevate.

Un aspetto che potrebbe essere valutato in futuro è la riconsiderazione del numero di classi da determinare con la SMA. Non è escluso che la determinazione di sei classi di informazione, in questo contesto, possa essere un obiettivo di eccessivo dettaglio. Verifiche ed approfondimenti in tal senso rappresentano l'obiettivo delle future campagne di rilievo a terra.

Conclusioni

L'insieme delle due elaborazioni condotte sulle immagini multitemporali Landsat 5, ha permesso la determinazione delle coperture di un'area della Sardegna centro orientale caratterizzata dalla presenza di forte eterogeneità soprattutto nelle coperture vegetali, dovuta principalmente al forte impatto delle attività umane che sul territorio si svolgono. In questa elaborazione è stato anche possibile analizzare il comportamento della Spectral Mixture Analysis in un

contesto differente da quello in cui è stata sempre utilizzata, per sondarne le capacità risolutive in situazioni di forte complessità/eterogeneità di coperture e di forte similarità di comportamento spettrale degli *endmember*.

L'approccio alla determinazione delle coperture condotto utilizzando il telerilevamento da satellite ha dimostrato definitivamente una buona capacità di risoluzione del problema, candidandosi come strumento standard, anche in virtù delle sue specifiche caratteristiche di ripetitività, sinotticità ed economicità del dato, per l'analisi territoriale anche in luoghi caratterizzati da forte complessità.

Ringraziamenti

Lavoro finanziato dalla Commissione Europea - Programma Ambiente e Clima svolto nell'ambito del progetto MEDALUS - Mediterranean Desertification and Land Use, Contratto n° ENV4-CT95-0115.

Bibliografia

- Arrigoni PV (1968). Fitoclimatologia della Sardegna. *Webbia* 23: 1-100.
- Briassoulis H (1992). The planning uses of fire: reflections on the greek experience. *Journal of Environmental Planning and Management* 2:161-173.
- Cyr L, Bonn F, Pesant A (1995) Vegetation indices derived from remote sensing for an estimation of soil protection against water erosion. *Ecological Modelling* 79:277-285
- d'Angelo M, Enne G, Madrau S, Percich L, Previtani F, Zucca C, (1999). Mitigating land degradation in Mediterranean Agrosilvopastoral Systems: A GIS based approach. *CATENA* (in corso di stampa).
- FAO (1995). *FAO Yearbook Production 1994*. FAO, Rome.
- Garcia-Haro J, Haboudane D, Hirscheider A, Mehl W, Paracchini ML, Sommer S (1999) Regional Desertification Indicators. In: *Final Report MEDALUS III: Regional indicators*, European Commission, Brussels, pp.39-82.
- Hill J (1993). High precision land cover mapping and monitoring with multitemporal earth observation satellite data. European Commission, Brussels.
- Koutsidou E, Margaris N (1998). The regeneration of Mediterranean vegetation in degraded ecosystems as a result of grazing pressure exclusion: the case of Lesbos island. In: *Ecological basis of livestock grazing in Mediterranean ecosystems* (eds. Papanastasis V, Peter D). European Commission, Brussels, pp. 76-79.
- Lacaze B, Casellas V, Hill J, Hoff C, de Jong S, Mehl W, Negendank JFW, Riezebos H, Sommer S, Teixeira Filho J, Valor E (1996). Integrated approaches to desertification mapping and monitoring in the Mediterranean basin. European Commission, Brussels.
- Le Houerou HN (1981). Impact of man and his animals on Mediterranean vegetation. In: *Mediterranean type shrublands* (ed. Castri F), Elsevier, New York, pp.479-521.
- Melia J (1996). Evaluacion mediante teledeteccion de los procesos de reforestacion en zonas afectadas por incendios. In: *La restauracion de la cubierta vegetal en la comunidad valenciana* (ed. Vallejo R), Fundacion Centro de Estudios Ambientales del Mediterraneo, Valencia, pp. 148-212.
- Motta M, d'Angelo M, Galli A, Zucca C (1999). Utilizzo di tecniche di telerilevamento e GIS per la valutazione della vulnerabilità delle terre alla desertificazione in ambiente Mediterraneo. *Atti del III° Convegno Nazionale ASITA* (in corso di stampa).
- Perez-Trejo F (1994). Desertification and land degradation in the European Mediterranean. European Commission, Brussels.
- Regione Autonoma della Sardegna (1998). *Sommario delle superficie percorse da incendio, 1983-1998* Regione Autonoma della Sardegna, Cagliari.
- UNEP (1994). *United Nations Convention to combat desertification in those countries experiencing serious drought and/or desertification, particularly in Africa*. UNEP, Geneva.