

## **Prima e dopo il Parco: monitoraggio delle variazioni ambientali tramite dati Landsat multitemporali**

Rosamaria Salvatori (\*), Paolo Plini (\*), Giancarlo Tondi (\*\*)

(\*) CNR Istituto sull'Inquinamento Atmosferico, Via Salaria km 29,300, 00015 Monterotondo staz. (RM)  
{salvatori; plini}@iia.cnr.it

(\*\*) Dottore Naturalista, giancarlotondi@yahoo.com

### **Riassunto**

È stata condotta un'analisi del territorio compreso nell'area del Parco Nazionale del Gran Sasso e Monti della Laga utilizzando immagini Landsat TM relative alla fase precedente l'istituzione del Parco (1987) e a quelle successive (1999 e 2006). Per aumentare il dettaglio spaziale dell'analisi è stata inoltre elaborata un'immagine Aster del 2006. Le variazioni incorse nel territorio sono state valutate analizzando i risultati delle classificazioni ottenute con un procedura di massima verosimiglianza. Per un'analisi di dettaglio delle aree vegetate è stato inoltre calcolato NDVI e valutate le differenze nella distribuzione spaziale di tale valore.

L'analisi ha rivelato come nell'area del Parco e nelle zone limitrofe non si siano verificati cambiamenti sostanziali nell'arco di quasi 20 anni. Al di là di una moderata espansione degli insediamenti urbani e della rete viaria, il territorio, grazie anche al regime di protezione, non ha subito variazioni di rilievo. Il fenomeno maggiormente apprezzabile è l'espansione di alcune aree boscate a seguito di fenomeni di ricolonizzazione.

### **Abstract**

In order to detect land features changes occurred within the National Park of Gran Sasso and Monti della Laga an analysis was carried out using Landsat TM images acquired before (1987) and after (1999 and 2006) the Park institution. To increase the detail of the spatial analysis an Aster image shot in 2006 was also used. Changes occurred in the territory were evaluated analysing the results of the classifications obtained with a maximum likelihood procedure. NDVI values of the vegetated areas were computed and their spatial distributions were analyzed to emphasise in detail the vegetation variations. This analysis revealed that in Park and in the surrounding areas, due also to the Park management, no substantial changes over nearly 20 years occurred. Only a minor increase of the extension of urban structures (built areas and roads) were registered while the natural woods and prairies areas are colonising new areas.

### **Introduzione**

Definire le variazioni ambientali che possono verificarsi nelle aree protette è sicuramente una tematica complessa ma è ormai comunemente accettato che le immagini riprese dai sensori remoti possono contribuire fattivamente alla realizzazione delle carte di copertura del suolo che rappresentano il primo passo nella gestione e nel monitoraggio di tali aree (Coppi et al 2004, Casacchia et al. 2002, 2004). Le immagini da remoto, disponibili anche gratuitamente in diverse modalità, rappresentano quindi un ottimo supporto "cartografico" per un numero sempre maggiore di applicazioni territoriali. L'utilizzo delle immagini satellitari ricavabili dai *data base* disponibili in rete, si limita spesso alla sola visualizzazione dell'immagine e alla fotointerpretazione; le analisi di dettaglio richiedono infatti l'utilizzo di immagini sulle quali sia possibile effettuare elaborazioni basate sulle proprietà spettrali delle superfici oggetto di studio quali ad esempio le classificazioni o

il calcolo di indici di vegetazione (Brivio et al. 2006) In questi casi è necessario risalire alle immagini non "pre-elaborate", spesso disponibili presso le agenzie produttrici dei dati. In particolare le immagini Landsat rappresentano attualmente una risorsa estremamente importante in quanto sono disponibili gratuitamente serie storiche in diversi formati.

Sulla base di queste considerazioni è stato sviluppato un progetto per l'analisi e lo studio territorio del Parco Nazionale del Gran Sasso e Monti della Laga prevedendo l'utilizzo della cartografia e delle immagini satellitari reperibili in rete da affiancare alla conoscenza diretta dell'area di studio.

Questo lavoro presenta una "estensione" del attività svolta per la realizzazione del sistema informativo dell'area (Plini et al.2008) focalizzato all'analisi delle variazioni avvenute nel territorio a seguito dell'istituzione dell'area protetta. I risultati di questa analisi contribuiranno pertanto a implementare le informazioni territoriali, attualmente organizzate nel sistema informativo.

### Il Paesaggio vegetale dell'area di studio

La ricerca in corso prende in esame l'area corrispondente a parte del territorio del Parco in corrispondenza della catena principale della Laga fino al limite costituito a sud-est dalla valle del Fiume Vomano. Il Parco è stato costituito nel 1991, nel 1995 è stato istituito l'Ente Parco, con l'attuale perimetrazione e sono state stabilite le misure di salvaguardia per le diverse zone (Fig.1).



Figura 1. Area di studio.

La vegetazione dei Monti della Laga è il risultato di una complessa e lenta trasformazione della flora sotto l'influsso di importanti correnti migratorie (dal Miocene al periodo post-glaciale, da 6-7 milioni a 10.000 anni fa, attraverso l'arco alpino, la penisola balcanica e le regioni mediterranee) e delle attività di utilizzazione del territorio da parte dell'uomo in tempi storici.

Alla notevole omogeneità del substrato roccioso marnoso-arenaceo (Flysch della Laga), che tenderebbe a rendere monotoni gli aspetti floristico-vegetazionali, si

contrappone il forte dislivello altimetrico esistente tra i fondovalle e le cime più elevate della catena, che è causa di un paesaggio vegetale quanto mai diversificato e ricco di aspetti peculiari.

Questa multiforme ecodiversità è determinata dall'azione combinata di 4 fattori:

- l'articolata morfologia del territorio
- le condizioni bioclimatiche locali
- l'abbondanza d'acqua
- l'azione antropica

L'erosione da parte delle acque ha modellato il paesaggio in modo diverso a seconda degli strati rocciosi interessati. L'alternarsi di arenarie e marne ha prodotto, infatti, pendii con una caratteristica morfologia a gradini e scarpate; la bassa permeabilità di questa successione geologica limita l'infiltrazione delle precipitazioni, che tendono a defluire rapidamente in superficie o alimentano un sistema di falde acquifere superficiali di modesta estensione: questo spiega i fenomeni di erosione accelerata dei pendii più acclivi e la diffusa abbondanza d'acqua.

Da un punto di vista bioclimatico l'area indagata in questo lavoro rientra completamente nella Regione Temperata (Blasi, 1994, 2005).

La copertura forestale, discontinua nel versante amatriciano, risulta più estesa su quello teramano, tuttavia il limite degli alberi (che segue quasi fedelmente l'isoipsa 1850 m s.l.m.), come spesso

accade, è l'artificioso risultato di disboscamenti iniziati in tempi assai remoti e continuati fino ai giorni nostri.

Al di sotto dei 1200 m s.l.m. la vegetazione dominante è rappresentata dai querceti misti a Cerro (*Quercus cerris*), prevalentemente nel versante occidentale, e a Roverella (*Quercus pubescens*) nel versante orientale e alle quote più basse (Codice Corine 3112). Nelle esposizioni più fresche si sviluppano, invece, i boschi di Castagno (*Castanea sativa*) (Codice Corine 3114), di antica origine antropica. I boschi di sclerofille sempreverdi (Iccete) a Leccio (*Quercus ilex*) (Codice Corine 31311) sono limitati alle quote più basse, piuttosto sporadicamente, con una concentrazione maggiore lungo la Valle del Tronto ascolana, dove compare anche il Pino d'Aleppo (*Pinus halepensis*).

Le zone comprese tra i 1200 e i 1900 m s.l.m. presentano una vegetazione dominante rappresentata dalla faggeta (Codice Corine 3115) e, limitatamente ai versanti marchigiano e teramano, dalle abetine ad Abete bianco (*Abies alba*) (Codice Corine 31315 e 31323. Abetine pure Codice Corine 3123). Alle quote meno elevate si sviluppano ancora querceti misti (prevalentemente a Cerro) e arbusteti di ricostituzione a rose, ginepro e Ginestra dei carbonai (*Cytisus scoparius*), che rappresentano una vegetazione in rapida evoluzione (Codice Corine 324). Le aree di faggeta disboscata e le radure sono colonizzate o dal pascolo a Nardo (*Nardus stricta*) (Codice Corine 3212), specie rustica e poco esigente, capace di resistere anche al calpestio intensivo di ovini e bovini, oppure, nelle zone più rupestri ed acclivi, dal seslerieto a Sesleria dei macereti (*Sesleria nitida*) (Codici Corine 3211 e 333).

Oltre i 1900 m s.l.m. il clima assume caratteristiche di tipo alpino. Qui si sviluppano gli arbusteti subalpini a Mirtilli (*Vaccinium myrtillus* e *V. uliginosum microphyllum*) e Uva orsina (*Arctostaphylos uva-ursi*) (Codice Corine 322 (ex 31.4A) arbusteti subalpini), dei pascoli primari ad Erba lucciola (*Luzula italica*) ed Elina (*Elyna myosuroides*) e delle vallette nivali a Salici nani (*Salix herbacea* e *S. retusa*) (Codice Corine 3212). Ben caratterizzate sono anche le praterie secondarie d'alta quota, con seslerieti a Sesleria appenninica (*Sesleria juncifolia*), festuceti a *Festuca paniculata* e *Carex kitaibeliana* e, nelle zone soggette a sovrappascolamento, vasti popolamenti a *Nardus stricta*, specie poco appetita dal bestiame e resistente al calpestamento (Codici Corine 3211 e 333).

Un discorso a parte merita la vegetazione sinantropica, cioè quella che si sviluppa nelle aree a forte impatto antropico, vuoi per motivi residenziali, vuoi per motivi economici di organizzazione e di sfruttamento intensivo del territorio. Si tratta di un paesaggio vegetale in continua trasformazione, difficilmente tipificabile a grande scala, condizionato da particolari condizioni ecologiche e caratterizzato da un elevato numero di specie alloctone o aliene, comunque invasive (Codici Corine 112 Zone residenziali a tessuto discontinuo e rado, 121 Aree industriali, commerciali e dei servizi pubblici e privati, 2111 Colture intensive in aree non irrigue, 231 Prati stabili [foraggiere permanenti], 243 Aree prevalentemente occupate da colture agrarie con presenza di spazi naturali importanti).

Il territorio dei Monti della Laga, in particolare sul versante occidentale, è caratterizzato da una elevata frammentazione ambientale. In alcune parti del territorio, l'originario bosco misto a latifoglie è stato convertito ad opera dell'uomo a pascolo e parzialmente ricolonizzato con conifere da rimboschimento. Le praterie in queste zone stanno riacquistando la loro struttura arborata mediante stadi di arbusteti. All'interno dei boschi di faggio si incontrano frequentemente aree aperte un tempo occupate da carbonaie. Il taglio a ceduo, praticato intensivamente nei boschi a latifoglie determina inoltre la formazione di ampie radure

### **Elaborazione delle immagini**

Per poter analizzare le variazioni ambientali in un arco di tempo sufficientemente lungo, che includesse il periodo immediatamente precedente l'istituzione del Parco nel 1991, sono state selezionate due immagini Landsat TM (1987 e 1999) ed un'immagine Landsat ETM del 2006 (tab.1) tra quelle disponibili presso <http://glcfapp.glcf.umd.edu:8080/esdi/>.

Le immagini sono state calibrate, normalizzate e georiferite con le procedure implementate nel software ENVI 4.7.

Il territorio relativo al parco è stato classificato utilizzando come riferimento per la definizione delle classi il tematismo Corine Land Cover anno 2006, accessibile tramite il Portale Cartografico Nazionale (<http://www.pcn.minambiente.it/GN/>), e validando i risultati con osservazioni di campo.

Le immagini sono state classificate con algoritmo di massima verosimiglianza ottenendo un'accuratezza di circa l'90 % (vedi tab.1).

Le immagini classificate sono state filtrate con un filtro Majority 3x3; il confronto multitemporale tra le classificazioni è stato effettuato utilizzando come riferimento l'immagine del 1999 e le differenze percentuali in pixel tra le varie classi Corine, sono state calcolate con una procedura simile a quella utilizzata per il calcolo della matrice di confusione (ENVI 4.7 User's Guide).

| Immagine Landsat     | Overall Accuracy | Kappa Coefficient |
|----------------------|------------------|-------------------|
| TM 1987 1987-8-30    | 91.69%           | 0.9088            |
| TM 1999 - 1999-09-24 | 95.36%           | 0.9490            |
| ETM 2006- 2006-09-11 | 90.15%           | 0.8936            |

Tabella 1. Accuratezza delle classificazioni delle immagini.

Poiché alcune aree a copertura discontinua, tendono a confondersi o ridistribuirsi nelle diverse classi di coperture Corine, per evidenziare le variazioni vegetazionali interne alla classi sulle immagini opportunamente normalizzate è stato calcolato NDVI. Le immagini NDVI sono state, quindi, utilizzate per calcolare le immagini differenza (ndvi1987-ndvi1999, 2006-1999, 1987-2006). Sulle queste immagini è stata poi applicata una procedura di *density slicing*, considerando i valori compresi nel II e III quartile dei relativi istogrammi di frequenza (tab.2), allo scopo di evidenziare le aree in cui si è verificato un incremento o una diminuzione del valore di tale indice.

| NDVI      | Valore II quartile | Valore IV quartile |
|-----------|--------------------|--------------------|
| 1987-1999 | -0.88286           | 0.46271            |
| 2006-1999 | -0.29301           | 1.013086           |
| 1987-2006 | -0.57045           | 0.895396           |

Tabella 2. Limiti della distribuzione di frequenza delle immagini differenza.

Per aumentare il dettaglio spaziale dell'analisi è stata, infine, utilizzata una immagine Aster del 2006 (Livello 1A - bande 1, 2,3), opportunamente calibrata, georiferita e classificata definendo le stesse classi e applicando lo stesso algoritmo utilizzato per la classificazione delle immagini Landsat. Il maggior dettaglio di questa immagine (15 m/pixel) ha contribuito a definire il dettaglio delle aree in cui è stata riconosciuta in campo la ripresa della vegetazione spontanea .

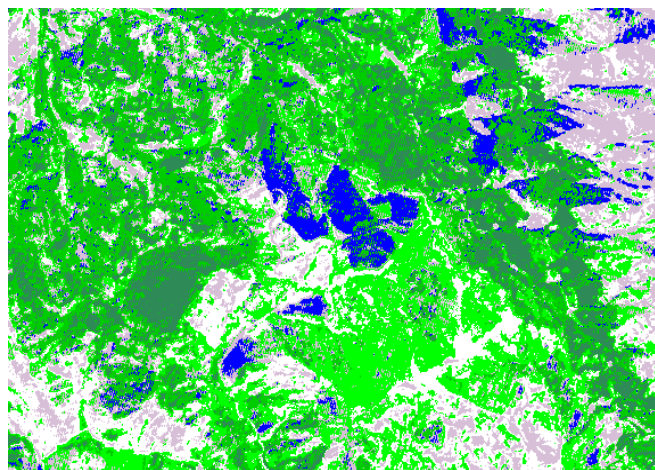
## Risultati e Conclusioni

I risultati delle classificazioni hanno evidenziato come nel territorio del Parco e nelle aree limitrofe le variazioni di uso del suolo siano state estremamente contenute nell'arco dei 20 anni analizzati. L'alta frammentazione del territorio e la scarsa antropizzazione dell'area in esame hanno contribuito a conservare nel tempo le caratteristiche territoriali e paesaggistiche che hanno concorso alla costituzione del Parco.

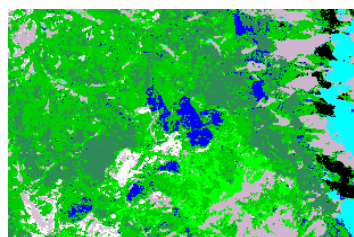
Il confronto multi temporale tra le tre immagini classificate ha evidenziato inoltre come in alcune aree del Parco ci sia stata una ripresa della vegetazione "spontanea" sia come rinverdimento (territorio riconquistato) sia come vigore (più fitta) della vegetazione.

Al fine di evidenziare al meglio le caratteristiche vegetazionali di queste aree, dopo aver calibrato opportunamente le immagini, è stata effettuata un'analisi multi temporale dei valori di NDVI e delle

relative immagini "differenza". Anche in questo caso l'analisi ha rilevato un "miglioramento" del territorio vegetato nelle aree divenute Parco. Le immagini utilizzate corrispondono alla fine della stagione estiva e non è da escludere che alcune delle variazioni rilevate nei valori di NDVI possano essere attribuite a variazioni nelle condizioni meteo-stagionali. Considerando però l'andamento degli istogrammi di frequenza è stato possibile applicare un *density slice* ai valori compresi tra il II e il IV quartile assegnando ai diversi intervalli un significato "vegetazionale" (corrispondenza tra intervallo del *density slice* e formazione vegetazionale); ciò ha permesso di evidenziare le variazioni strutturali del territorio e delineare le aree con vegetazione più "rigogliosa".



a



b

|  |                                      |
|--|--------------------------------------|
|  | conifere                             |
|  | Formazioni prative praterie          |
|  | Boschi misti - copertura discontinua |
|  | Boschi misti - copertura continua    |
|  | Non vegetato                         |
|  | Affioramenti rocciosi                |
|  | Nuvole                               |
|  | Ombra                                |

Figura2. Confronto tra le classificazioni ottenute elaborando l'immagine Aster (1a) e immagine Landsat (1b) del 2006.

Nella figura 2 è riportato un particolare della classificazione ottenuta partendo dall'immagine Aster del 2006 e nella figura 1b la stessa area estratta dalla classificazione dell'immagine Landsat ETM.

Le differenze maggiori si rilevano per le aree non vegetate/affioramenti (scoperto) e ciò è da attribuire in parte alla diversa risoluzione spettrale delle immagini utilizzate (6 bande ETM e 3 bande Aster). Integrando le bande Landsat ETM (30m/pixel) con la corrispondente banda pancromatica (a 15m) è possibile ottenere un risultato di classificazione praticamente simile alla classificazione ottenuta con l'immagine Aster. In questa sperimentazione sono state utilizzate entrambe le immagini al fine di individuare la procedura migliore per il confronto multi temporale.

Le immagini Landsat infatti, pur presentando una risoluzione spettrale che attualmente viene considerata "bassa" offrono il vantaggio della disponibilità di lunghe serie temporali e dei costi di acquisizione contenuti se non addirittura trascurabili, come nel caso di questa sperimentazione.

## Conclusioni

L'analisi multitemporale del territorio del parco del Gran Sasso e Monti della Laga è stata condotta utilizzando immagini Landsat ed Aster disponibili in rete. Le immagini opportunamente co-registrate e normalizzate hanno permesso di analizzare le lievi variazioni incorse nell'area oggetto di studio, sottolineando l'importanza di poter disporre di dati telerilevati per il monitoraggio e la gestione del territorio. La possibilità di utilizzare immagini a costi contenuti per lo studio e il monitoraggio delle aree protette, in un momento in cui fondi per la gestione del territorio sono estremamente limitati, rappresenta uno strumento di analisi enormemente interessante. Il dettaglio spettrale delle immagini Landsat e le serie temporali attualmente disponibili in rete, permettono di studiare la vegetazione con un dettaglio tale da rappresentare un valido strumento operativo. La validazione dei risultati delle elaborazioni, se effettuata con controlli di campo o in base alla conoscenza diretta del territorio da parte degli operatori del settore, permette di sopperire alla "bassa risoluzione spaziale" delle immagini fornendo, ancora oggi, uno strumento indispensabile per la tutela del territorio. Le carte tematiche derivabili dall'elaborazione delle immagini forniscono inoltre tematismi implementabili nei sistemi informativi territoriali utilizzati per la gestione delle aree protette.

## Riferimenti bibliografici

- Blasi C. (1994), "Fitoclimatologia del Lazio". *Fitosociologia* 27: 151-175.
- Blasi C. (2005), "Il Fitoclima d'Italia". In: Blasi C. Eds., *Completamento delle Conoscenze Naturalistiche di base, Carta delle Serie di vegetazione d'Italia*, scala 1:250.000, GIS Natura, Direzione per la protezione della Natura, Ministero dell'ambiente e della tutela del territorio.
- Brivio A., Lechi G., Zilioli E., 2006, Principi e metodi di telerilevamento, ed. Città Studi, 2006, XIII-525 p.
- Casacchia R., Grignetti A., Salvatori R. 2002. Analisi multitemporale di un sistema dunale con foto aeree e dati Mivis. Atti 6 Conferenza Asita, Perugia 5-8 Novembre 2002, I, 685-690
- Casacchia R., Grignetti A., Mandrone S., Salvatori R. 2003, The role of spatial resolution in landscape analysis. Int. Symposium on Remote Sensing, 8-12 settembre, Barcellona (Spagna), vol. 5232, 553-564
- Coppin P., Jonckheere I., Nackaerts K., Muys B., Lammin E., 2004. Digital change detection method in eco system monitoring: review. *Int. J. Remote Sens.* 25,1565-1596.
- Di Pietro R., Tondi G. (2005), "A new mesophilous Turkey-Oak woodland association from Laga Mts. (Central Italy)", *Hacquetia*, 4/2: 5-25.
- Pedrotti F., (1982), Carta della vegetazione del Foglio Acquasanta. Roma, C.N.R., AQ/1/88: 1-27
- Plini P., De Santis V., Di Franco S., Salvatori R., Tondi G., 2008 - Integrazione tramite GIS e webGIS di dati ambientali e risorse territoriali nel Parco Nazionale del Gran Sasso e Monti della Laga. 12ª Conferenza Nazionale ASITA. L'Aquila, 21-24.X.2008. pp. 1663-1668. ISBN 978-88-903132-1-9.
- Tondi G., Plini P. (1995), "Prodromo della Flora dei Monti della Laga (Appennino Centrale, versante laziale)", Roma, Acli Anni Verdi, 1-204.
- ENVI Version 4.7, 2009 Edition Copyright © Research Systems, Inc. All Rights Reserved