

# VERIFICA DELLE ESTENSIONI DI AREE BOSCHIVE PERCORSE DA INCENDI: UN APPROCCIO SEMIAUTOMATICO

Cristina TARANTINO (\*), Domenico RAGNO (\*\*), Guido PASQUARIELLO(\*)

(\*) ISSIA – CNR, Via Amendola, 122/D-O, 70126 Bari (Italy),

Tel.+39 (080) 5929439, Fax +39 (080) 5929460, {cristina,guido}@ba.issia.cnr.it

(\*\*) Ispettorato Regionale Foreste – Regione PUGLIA, Via Corigliano, l-ex CIAPI Z.I., Bari (Italy)

## Abstract

Il presente lavoro illustra i risultati conseguiti nello sviluppo di un approccio semiautomatico per il monitoraggio di aree boschive percorse da incendi mediante l'utilizzo di una metodologia *low-cost* con dati telerilevati a media risoluzione spaziale (30 metri). Lo strumento realizzato è il prodotto finale, tuttora in fase di sperimentazione e validazione, di un progetto sperimentale tra l'ISSIA-CNR e l'Ispettorato Regionale Foreste della Regione Puglia.

L'uso di mappe tematiche aggiornate del suolo rappresenta uno degli strumenti indispensabili per il monitoraggio, da parte delle amministrazioni locali, dell'evoluzione di grandi aree al fine di consentirne il controllo e l'eventuale pianificazione di interventi mirati laddove necessari. La possibilità di investigazioni sinottiche su ampia scala è offerta dal telerilevamento satellitare anche se spesso diventa necessario operare delle scelte tenendo conto del costo dei dati satellitari. Proprio in tal senso il presente lavoro propone la produzione, mediante classificazione supervisionata con step successivi di "*refinement*", di mappe boschive e di zone percorse da incendi da immagini telerilevate a media risoluzione spaziale di 30 metri relative ad una sola data per l'intera Regione Puglia. Il risultato si è rivelato soddisfacente, secondo quanto è emerso dalla verifica eseguita mediante dati forniti dal Catasto degli Incendi elaborato dal Corpo Forestale dello Stato in un ottimo rapporto costi/risultati. Di fondamentale importanza è il ruolo dell'operatore esperto nello stimare, nell'ambito di un sistema GIS appositamente dedicato e avvalendosi oltre che dell'immagine satellitare anche di foto aeree, la bontà delle mappe prodotte provvedendo ad aggiornare il database preesistente e corredando ogni area con l'indicazione della sua posizione, del suo perimetro e della sua estensione. Il risultato conseguito rappresenta, pertanto, per gli enti pubblici locali la possibilità di fruire di strumenti avanzati di investigazione garantendosi, con dispendi economici molto contenuti, di essere aggiornati e presenti sul territorio di competenza.

This work shows the results obtained in the development of a semiautomatic approach aimed to verify localization and extension of arboreous with fires areas using a low-cost methodology as remote sensed at medium resolution (30 meters) data. Final product, still under validation, has been realized in an experimental project between ISSIA-CNR and Ispettorato Regionale Foreste from Regione Puglia. Use of updated thematic maps of soils represents one of the necessary tools for the monitoring, by local administrations, large areas developments and allowing the control and possible planning of necessary actions. The possibility to investigate in a synoptic view at a large scale is offered by remote sensing even though some choices, between the cost of remote sensed data and the possible result at that working spatial resolution, are obliged. In this context the aim of this work is the production through supervised classification, choosing accurately training fields

with a methodology of successive “refinement” steps, of arboreous and with fires maps by the use of remote sensed images at the medium spatial resolution of 30 meters and at only one date for the entire Regione Puglia. The result has revealed satisfactory as emerged by the verification with the data of Catasto for Fires processed by Corpo Forestale dello Stato in a optimal rate costs/results. Fundamental importance has the role of the expert user who has to estimate, in the context of a GIS system properly concerned and using remote sensed images and aerial photos, the goodness of the maps produced and providing to update the pre-existent database adding indications about position, perimeter and extensions for every area. So, the result obtained represents for local public administrations the possibility to use advanced tools for the investigations assuring their updated presence on the areas under their jurisdiction with cheap costs.

## **Introduzione**

Il monitoraggio su larga scala (comunale, provinciale, regionale etc.) da parte degli Enti locali delle aree di propria competenza è spesso caratterizzato da alti costi da sostenere per le campagne di raccolta dati a terra. I sistemi GIS rappresentano un utile e indispensabile strumento per l’archiviazione e l’interrogazione simultanea di *layer* informativi su base geografica: l’integrazione di dati telerilevati, in grado di fornire riprese su ampie distanze, con un sistema GIS dedicato rappresenta la soluzione tecnologica più avanzata. Un tentativo di offrire una soluzione al problema del contenimento dei costi è stato l’obiettivo di un progetto sperimentale tra l’ISSIA-CNR di Bari e l’Ispettorato Regionale Foreste della Regione Puglia. Si è voluto, pertanto, mettere a punto un sistema semiautomatico che utilizzando immagini telerilevate acquisite a media risoluzione spaziale (30 metri) del sensore Landsat TM5 o ETM7 laddove disponibili, e relative ad una sola data, minimizzando in tal modo la spesa relativa all’acquisto del dato satellitare, fosse in grado di produrre mappe tematiche di copertura boschiva con riferimento alle zone percorse da incendi di elevata affidabilità. Mediante algoritmi standard di classificazione supervisionata unitamente ad una metodologia di scelta degli esempi di addestramento mediante step successivi di “*refinement*” sono state prodotte mappe boschive e mappe delle aree boschive percorse da incendi relative agli anni 2001 e 2004 da confrontare con una mappa relativa al periodo fine 1999/inizio 2000 già in archivio. La zona di studio ha riguardato l’intera Regione Puglia. Essenziale il ruolo dell’operatore esperto nella validare le mappe prodotte con l’ausilio delle stesse immagini satellitari in composizioni in falso colore nell’infrarosso che accentuino la presenza di vegetazione e delle foto aeree disponibili. La mappa definitiva permette pertanto di aggiornare quella precedente già in archivio con l’aggiunta di informazioni relative a perimetro ed area delle aree evidenziate: diretta potenzialità di un sistema GIS.

## **Data set**

Per la copertura dell’intera regione sono stati utilizzati tre *frame* del satellite Landsat, ognuno di estensione pari a 180 x 180 km:

- *frame* 189 - *track* 31
- *frame* 188 - *track float* 31/32
- *frame* 187 - *track* 32

La copertura satellitare nel 2001 per l’intera regione è relativa alla prima metà del mese di agosto. Si tratta delle acquisizioni del sensore Landsat ETM 7 nelle 6 bande di frequenze dal visibile all’infrarosso alla risoluzione spaziale di 30 metri unitamente ad 1 banda nell’infrarosso termico a 60 metri e ad una banda nel pancromatico a 15 metri.

Le date selezionate sono state:

- 5 agosto 2001 per il *frame* 189
- 14 agosto 2001 per il *frame* 188
- 7 agosto 2001 per il *frame* 187

La scelta del mese di agosto ha consentito di investigare la scena in condizioni di massimo sviluppo della copertura vegetale sia relativa ai boschi che ai vigneti spesso di difficile distinzione gli uni dagli altri

Per il 2004 la copertura satellitare, non essendo disponibili i dati del Landsat ETM 7, è stata assicurata dal Landsat TM 5 privo dell'acquisizione nel pancromatico e con risoluzione spaziale di 120 metri per la banda dell'infrarosso termico.

Qualche difficoltà nell'utilizzo di immagini provenienti da due sensori diversi per il 2001 e il 2004 è emersa sia in fase di georeferenziazione delle immagini sia in fase di classificazione.

Le date disponibili per la copertura dell'intera regione sono relative alla seconda metà di agosto:

- 21 agosto 2004 per il *frame* 189
- 30 agosto 2004 per il *frame* 188
- 23 agosto 2004 per il *frame* 187

In tal caso la distinzione tra boschi e vigneti, entrambi a risposta spettrale molto intensa nel rosso e vicino infrarosso, è risultata più difficoltosa in parte condizionata anche dalla presenza di elevata biomassa probabilmente dovuta alla maggiore piovosità della stagione.

Per la fase di verifica sono state utilizzate foto aeree alla risoluzione di 1 metro, la mappa vettoriale delle aree boschive incendiate relative al periodo 2000-2004 (Regione Puglia – Ispettorato Foreste, 2005), il Corine Land Cover 2000 (Apat, 2001) ed una mappa di Uso del Suolo per il 2004 (Regione Puglia – Ispettorato Foreste, 2005)<sup>[GP1]</sup>.

### **Metodologia sperimentale**

I dati satellitari sono stati pre-elaborati attribuendo un riferimento cartografico (geocodifica) ai singoli *frame* e poi mosaicandoli per ricomporre l'intera regione.

Le bande di ogni *frame* Landsat sono state geocodificate mediante il metodo dei punti di controllo (GCP) scelti sulle foto aeree in coordinate cartesiane (Easting e Northing) e utilizzando una funzione di *warping* polinomiale lineare e un ricampionamento di tipo *Nearest Neighbor*. Si è scelta la proiezione cartografica GAUSS-BOAGA con Datum ROMA40.

Le immagini sono state tutte coregistrate tra loro e con le foto aeree. E' stato poi realizzato il mosaico di tipo "Map Based" ovvero di scene geocodificate con successivo bilanciamento del contrasto tra le scene affiancate caratterizzate spesso da luminosità differente particolarmente evidente in prossimità dei bordi. Sovrapponendo sul mosaico i confini regionali ne è stata estratta la scena da essi delimitata.

Le mappe di copertura boschiva sono state prodotte mediante un procedimento semi-automatico di classificazione supervisionata con classificatore statistico di tipo *Maximum Likelihood*. Come input al classificatore sono state utilizzate le 6 bande Landsat a 30 metri geocodificate ed è stato classificato un *frame* alla volta componendo la mappa dell'intera regione come mosaicatura delle singole mappe boschive relative ad ogni *frame* come step finale.

Si è utilizzata una soglia di accettabilità degli output di classificazione pari a 0.9: solo i valori attribuiti con probabilità maggiore o uguale a tale valore sono confluiti nella mappa prodotta garantendo in tal modo più elevata affidabilità al risultato.

Le mappe risultanti sono state validate scegliendo delle aree campione note distribuite in maniera random nella scena. Procedura delicata di ogni metodologia di classificazione supervisionata è la scelta dei campi di verità a terra: individuate nella scena, essenzialmente in composizione RGB di tipo 432 e da confronti con le foto aeree, alcune firme spettrali ben definite di aree boschive si è inizialmente addestrato un classificatore a 2 classi: "bosco" - "non bosco".

Dall'analisi dei primi risultati è emersa la necessità di arricchire le firme spettrali distinguendo le classi "pinete" e "conifere", a risposta più bassa nell'infrarosso, dalle "latifoglie" nettamente a risposta più alta.

Inoltre per ridurre l'ambiguità in alcune strutture misclassificate come boschi ma dalla regolarità dei contorni tipicamente identificabili come vigneti si è introdotta la classe competitiva "vigneto"

caratterizzata da firme spettrali particolarmente riflettenti nell'infrarosso a causa dell'elevata biomassa presente nell'inoltrato periodo estivo analizzato.

In step successivi sono state infittite numericamente le classi citate con l'aggiunta di ulteriori significativi esempi e ulteriori classi sono state introdotte per meglio caratterizzare e discriminare il tematismo di interesse.

Le classi definitive risultanti dal processo di "*refinement*" successivo dell'output di classificazione sono state 7:

- classe 1 - "pineta"
- classe 2 - "conifere"
- classe 3 - "vigneto"
- classe 4 - "latifoglie"
- classe 5 - "stoppia", o seminativi riarsi
- classe 6 - "incendio", caratterizzati da assenza di vegetazione
- classe 7 - "macchia", a caratteristiche di biomassa più rada

La verità a terra individuata per il 2001 è stata successivamente validata per il 2004: in tal caso la classe "incendi" è stata per ovvi motivi riconsiderata e alcune altre classi riviste a causa della più intensa risposta spettrale della vegetazione in quella data dovuta sia all'uso di dati relativi alla seconda metà di agosto, periodo di massima rigogliosità delle piante, che alla presenza di maggiore biomassa dovuta a sicura abbondanza di piogge in quell'anno.

Estraendo l'informazione relativa alle sole classi di copertura boschiva 1-2-4-7 sono state ottenute le mappe boschive definitive.

Estraendo dal prodotto fornito dal classificatore la sola classe "incendio" si è ottenuta la mappa degli incendi recenti relativa sia agli incendi di aree boscate che di aree non boscate.

Alle mappe prodotte in output dal classificatore è stato applicato un filtro mediano con una finestra di dimensione 3x3: un'operazione non lineare per la soppressione del rumore di tipo impulsivo che consente di eliminare gli spot isolati sostituendo ad ogni pixel centrale della finestra di filtraggio, fatta scorrere per scandire la scena, la mediana dei valori letti entro la finestra-intorno del pixel.

Essendo la mappa di partenza binaria (Bosco/Non Bosco) il risultato del filtro è quello di eliminare zone boschive isolate con estensione < di 0.5 ha.

Per la produzione della mappa di aree boschive recentemente incendiate si è utilizzato l'output fornito dal classificatore Maximum Likelihood per quanto attiene la sola classe "incendio".

Tale mappa è relativa sia agli incendi su aree boscate che non boscate come campi caratterizzati da stoppie riarse. Le aree incendiate mappate con tale approccio sono relative ad incendi verificatisi nel solo anno dell'immagine considerata: si è verificato che incendi relativi ad anni precedenti rivelano ad Agosto una risposta spettrale nettamente dominata dalla ricrescita della vegetazione. Inoltre tra gli incendi verificatisi nell'anno in esame, entro la data dell'immagine telerilevata, non saranno rilevati quelli sulle cui aree si sia verificata già una certa ricrescita della vegetazione.

Per poter estrarre le aree incendiate relative alle sole aree boscate la mappa in output dal classificatore è stata intersecata con la mappa boschiva relativa all'anno precedente rispetto al quale rilevare l'evento.

Per cogliere gli incendi delle aree boscate per il 2001 si è intersecata la mappa classificata di tutti i tipi di incendi del 2001 con la mappa boschiva già in archivio. In tal modo pur ereditando gli errori di misclassificazione commessi nella mappa boschiva preesistente restano evidenziate le sole aree boschive perse nel 2001 a causa di incendi. Analogamente la mappa degli incendi di aree boscate per il 2004 è risultata dall'intersezione della mappa di tutti i tipi di incendi prodotta dalla classificazione delle immagini del 2004 con la mappa boschiva del 2001. Anche in tal caso si sono ereditati gli errori di misclassificazione presenti nella mappa boschiva del 2001.

La mappa dell'intera regione è stata prodotta mosaicando le mappe ottenute per i singoli *frame*.

## Risultati

La verifica dell'affidabilità del risultato è stata eseguita sia quantitativamente che qualitativamente. Quantitativamente dal confronto con le stime fornite dall'annuario statistico ISTAT (Istat, 2002) [GP2] e dal Corpo Forestale dello Stato (CFS, 2005), oltre che dal Corine 2000 (Apat, 2001) e da una mappa di uso del suolo per il 2004 (Regione Puglia – Ispettorato Foreste, 2005) presente in archivio si evince un buon accordo entro una tolleranza giustificabile. Si tratta infatti di risultati conseguiti mediante classificazione di una sola immagine telerilevata: l'utilizzo di un dataset multitemporale a cadenza stagionale apporterebbe sicuri contributi al miglioramento dell'accuratezza delle mappe consentendo al classificatore di potenziare la sua capacità di discriminare tra le diverse firme spettrali presenti nella scena ma implicherebbe costi decisamente più elevati. Va poi considerata l'eventuale presenza tra un anno e l'altro di condizioni di piovosità diverse responsabili di un più celere sviluppo della vegetazione e di maggiore presenza di biomassa. Fondamentale è la definizione di area boscata che nel presente lavoro include anche la "macchia", tematismo caratteristico dell'intera regione Puglia.

I risultati, in ettari, sono riportati nella seguente tabella in cui ogni dato è stimato in percentuale rispetto all'estensione dell'intera regione (indice di boscosità):

<b>Estensione Regione Puglia: 1936305 Ettari - 19363 Km<sup>2</sup></b>						
<b>Fonte</b>	<b>1999/2000</b>	<b>Indice di Boscosità</b>	<b>2001</b>	<b>Indice di Boscosità</b>	<b>2004</b>	<b>Indice di Boscosità</b>
<b>ISTAT</b>			116178	6%		
<b>CFS</b>			149400	7.7%		
<b>CORINE 2000</b>	173741	9.0%				
<b>USO SUOLO 2004</b>					190319	9.8%
<b>MAPPA 1999/2000</b> [GP3]	179576	9.3%				
<b>MAPPA CLASSIFICATA</b>			153801	7.9%	172338	8.9%

*Tabella 1 – Stima quantitativa della copertura boschiva in Puglia*

Su un'estensione dell'intera regione Puglia di 1936305 ettari la mappa boschiva in archivio relativa al periodo 1999/2000 rilevava che il 9.3 % fosse ricoperto da bosco, in accordo con la stima fornita dal Corine 2000 prodotto da classificazione di immagini del 1999. La mappa boschiva del 2001 ha rilevato invece il 7.9 % contro un dato fornito dall'ISTAT pari al 6 % che non annoverava nelle caratterizzazioni boschive quella della "macchia" e in accordo con il dato analogo fornito dal CFS e pari al 7.7 %. Si rileva l'attesa diminuzione di copertura boschiva fra il 1999/2000 e il 2001 dovuta al verificarsi di numerosi ed estesi eventi incendiari e il dato appare in netto accordo con quello ufficiale fornito dal CFS. Per il 2004 la mappa boschiva prodotta rileva l'8.9 % come indice di boscosità della regione che, pur tenendo in conto una certa sovrastima del dato dovuta alla presenza di maggiore biomassa vegetale nella scena (sia per l'abbondanza di piogge che per la differenza temporale tra inizio e fine di agosto delle due date considerate), è indice dell'attesa riduzione di eventi incendiari. La mappa classificata per il 2004 risulta sottostimata rispetto all'Uso del Suolo 2004 in archivio. Da un'analisi preliminare tra le due mappe prodotte con la classificazione supervisionata, le stime ottenute sono abbastanza concordanti fra di loro, anche se va notato che fra la mappa del 2001 e quella del 2004 è registrato un aumento della superficie boscata che sicuramente è sovradimensionato. Ciò è dovuto al sovrapporsi di alcune cause:

1. la stagione del 2001 è stata particolarmente siccitosa: ciò ha portato ad un decremento della biomassa complessiva e questo ha fatto sì che situazioni di bosco rado non venissero identificate come bosco (la mappa 2001 è sottostimata);

2. la stagione del 2004, d'altro canto, è stata particolarmente piovosa: ciò ha portato ad un aumento della biomassa complessiva e questo ha fatto sì che situazione di bosco rado o addirittura che alcune situazioni di coltivazione (soprattutto vigneti a tendone) venissero identificate come bosco (la mappa 2004 è sovrastimata);

3. l'analisi del 2001 è stata condotta con dati del sensore TM7 che ha avuto un non funzionamento nel 2004. Pertanto l'analisi del 2004 è avvenuta utilizzando il sensore TM5: ciò inevitabilmente ha comportato una non perfetta confrontabilità delle mappe prodotte.

A conferma di quanto detto nei punti 1) e 2) è interessante il confronto fra singole province : infatti i 20K ha di differenza sono essenzialmente dovuti alle province di Bari e Taranto dove molto influisce la diversa attribuzione della macchia murgiana barese e tarantina rispetto al sub-appennino dauno, oltre che ad una possibile confusione con aree a tendone.

Quantitativamente la seguente tabella riporta, in ettari, il prospetto dell'estensione delle sole aree boscate incendiate censite dal CFS nel periodo dal 1999/2000 al 2004 unitamente alle stime estraibili dalle mappe di classificazione degli incendi recenti intersecate con la copertura boschiva alla prima data. Dalle stime censite dal CFS si evince un picco degli eventi incendiari negli anni 2000 e 2001 con una riduzione graduale del fenomeno nel tempo che diventa pari al 10% nel 2004 di cui sono note le stime sino alla data del 12 settembre.

Fonte	2001		2004
CFS	3968		539
Mappa Incendi al 2001 Ç SINFO	atteso: 1984 stimato:1788		
Mappa Incendi al 2004 Ç Boschi 2001			atteso: 539 stimato:698

*Tabella 2 – Stima quantitativa delle aree boschive incendiate in Puglia*

La mappa classificata degli incendi recenti relativa ai soli incendi della prima metà dell'anno 2001, contro un dato del CFS di 1984 ettari, fornisce la stima di 1788 ettari che pare alquanto in accordo con il dato atteso. La mappa classificata degli incendi recenti relativa ai soli incendi dell'anno 2004, contro un dato del CFS di 539 ettari incendiati fornisce un dato pari a 698 ettari alquanto in accordo. Qualitativamente sono state utilizzate come riferimento oltre che la precedente mappa boschiva già in archivio, una mappa digitale delle aree boschive incendiate relativa al periodo 2000-2004 realizzata dal Corpo Forestale dello Stato. La bontà delle mappe boschive prodotte per il 2001 e il 2004 è stata valutata individuando delle aree campione in maniera random e confrontandole con l'immagine telerilevata e con le foto aeree relative ad un periodo prossimo alla data considerata.

## Conclusioni

Il lavoro svolto oltre ad offrire un importante strumento scientifico di conoscenza e di informazione sulle aree boschive in Puglia dal 2000 ad oggi, costituisce la base informatizzata necessaria per supportare con efficacia la fase di valutazione del rischio e della definizione di modelli per la prevenzione e pianificazione di interventi da parte degli enti preposti (Corpo Forestale, Regione, etc.) alla salvaguardia del patrimonio ambientale. Minimizza, inoltre, il rapporto costi/risultati.

## Bibliografia

Apat (2001), "Corine Land Cover 2000", [www.clc2000.sinanet.apat.it](http://www.clc2000.sinanet.apat.it)

CFS (2005), [www.corpoforestale.it](http://www.corpoforestale.it)

Istat (2002), [www.istat.it](http://www.istat.it) o *Annuario Statistico Italiano*

Regione Puglia – Ispettorato Foreste (2005), *Mappa di Uso del Suolo 2004*

Regione Puglia – Ispettorato Foreste (2005), *Mappa vettoriale aree boschive incendiate 2000-2004*