

## Variazioni forestali in un'area dell'Appennino Emiliano

Davide Rondini

Via Abbazia 18/A, Campagnola Emilia (RE), 3385625152  
davide.rondini@studio.unibo.it

### Riassunto

Il presente lavoro confronta due tecniche operative per individuare cambiamenti di copertura in ambito forestale sull'Appennino emiliano. I due metodi analizzati sono:

- la variazione dell'NDVI tra immagini dei vari anni,
- la variazione del valore delle bande del vicino infrarosso normalizzate con il metodo Ir-MAD.

Per realizzare questo studio sono state utilizzate due immagini del satellite LANDSAT 5 TM acquisite nelle date del 13/09/1987 e del 21/08/2008 e diverse ortofoto tra il 1976 ed il 2008. Il *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) è stato calcolato su tutte le immagini satellitari. Successivamente è stato effettuato il confronto tra i valori dell'indice nelle due date. Sulle stesse immagini è stato fatto il confronto tra le bande 4 (0,76 – 0,90  $\mu\text{m}$ , vicino infrarosso) normalizzate. Il procedimento di normalizzazione scelto è stato l'Ir-MAD. Per il confronto sono state usate le stesse classi di cambiamento usate per le variazioni di NDVI. Attraverso le ortofoto sono state individuate 5 aree per valutare l'accuratezza dei metodi scelti per i cambiamenti in ambito forestale. Il confronto tra NDVI è risultato il metodo che ha dato i risultati migliori.

### Abstract

*This paper compares two operative techniques to identify changes in Emilian Apennines forest cover. The two methods analyzed are:*

- *the change in NDVI between the images of several years,*
- *the change of value of the near-infrared bands normalized with the Ir-MAD method.*

*To carry out this study, I used two LANDSAT 5 TM satellite images acquired of 13/09/1987 and 21/08/2008 and several orthophotos from 1976 to 2008. The Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) was calculated on all the satellite images. It was subsequently made the comparison between the values of the index the two dates. On the same images it has been made the comparison between the normalized bands 4 (0.76 to 0.90  $\mu\text{m}$ , NIR). The choose of normalization process was Ir-MAD. Thanks to orthophotos I identified 5 areas to value the accuracy of the two methods. Comparison of NDVI was the method that gave the best results.*

### Scopo dell'elaborato

Lo scopo di questa studio è di valutare quale tra i seguenti metodi meglio si presti per il monitoraggio automatico delle variazioni forestali in un'area dell'Appennino, attraverso l'uso di immagini telerilevate da satellite:

- confronto le variazioni dell'indice NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) tra le immagini dei vari anni;
- la variazione del valore delle bande del NIR (0,76 – 0,90  $\mu\text{m}$ ) normalizzate con il metodo Ir-MAD.

Il periodo considerato copre un ventennio.

### Inquadramento dell'area

L'area di studio si colloca sull'Appennino emiliano, tra le province di Bologna e Modena (Figura 1 – *L'area di studio*). La superficie è pari a 108.412 ha e comprende i comuni di: Castel D'Aiano, Castello di Serravalle, Gaggio Montano, Grizzana, Guiglia, Marzabotto, Savigno, Vergato e Zocca.

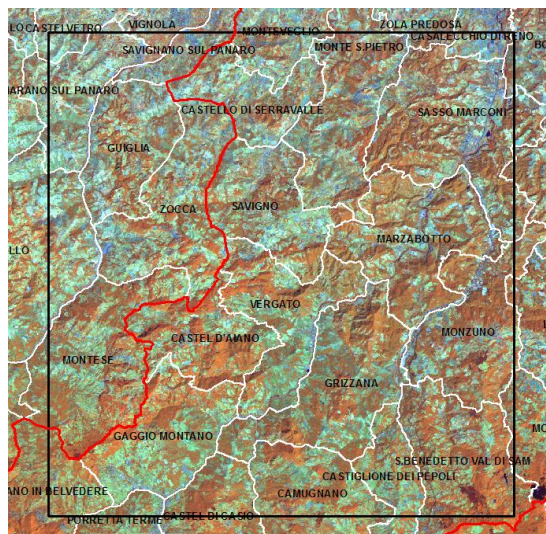


Figura 1 – *L'area di studio*.

L'area presenta un'altimetria variabile tra i 57 ed i 1.150 m sul livello del mare. Data la variabilità di quota sono presenti nell'area diverse fasce fitoclimtiche (Piussi, 1994) quali il Lauretum, il Castanetum e Fagetum. Le formazioni forestali presenti sono: boschi ripariali, pioppeti artificiali, boschi collinari submontani e fagete.

### Materiali utilizzati

Per questa analisi sono state usate:

- due immagini del satellite LANDSAT 5 TM del 13/09/1987 e del 21/08/2008;
- la carta di uso del suolo in formato vettoriale del 2003 della Regione Emilia-Romagna, avente una superficie minima mappabile pari a 1,5 ha (Regione Emilia-Romagna, 2008);
- Ortofoto aeree acquisite nei seguenti periodi: 1976-78, 1985-86, 1988-89, 2008.

Le ortofoto sono state acquisite da voli della Regione Emilia-Romagna. Le foto aeree del 1976-78 hanno risoluzione geometrica pari a 1 m e sono a colori reali. Quelle acquisite durante gli anni '80 sono in B/N e hanno una risoluzione di circa 1 m. Infine le ortofoto del 2008 hanno risoluzione pari a 50 cm e sono a colori reali.

### Preparazione delle immagini satellitari

Le immagini satellitari sono state georeferenziate attraverso la selezione di *ground control point* (GCP) in numero variabile tra 20 e 25 per ogni data. Il metodo di trasformazione utilizzato è stato di tipo polinomiale con ricampionamento *nearest neighbor* e risoluzione geometrica di 30 m. Le immagini sono state tutte registrate nel sistema di coordinate UTM32 WGS84.

Successivamente le immagini sono state tutte calibrate in riflettanza alla cima dell'atmosfera (TOA *reflectance*). Le formule utilizzate per questo procedimento sono quelle suggerite da Chander e Markham (2003). I coefficienti utilizzati sono stati presi dalla medesima pubblicazione scientifica e dai metadati delle immagini LANDSAT.

### Calcolo e confronto tra NDVI

La clorofilla è causa di un grande assorbimento della radiazione incidente nelle lunghezze d'onda del rosso, mentre nelle lunghezze del NIR subisce una forte riflessione in funzione della densità della copertura e dello stato di salute della copertura stessa. Sfruttando queste caratteristiche viene definito il *Normalized Difference Vegetation Index* (Rouse *et al.*, 1973), noto come NDVI e avente la seguente formula **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**:

$$NDVI = (\rho_{nir} - \rho_r) \cdot (\rho_{nir} + \rho_r)^{-1} \quad [1]$$

dove  $\rho_r$  è la riflettanza alla cima dell'atmosfera nella banda del rosso (0,63-0,69  $\mu\text{m}$ ) e  $\rho_{nir}$  è la riflettanza nella banda del NIR (0,76-0,90  $\mu\text{m}$ ). L'NDVI è un indice che enfatizza il segnale della vegetazione fotosinteticamente attiva. Esso è matematicamente limitato nell'intervallo compreso tra -1 e +1. Diversi studi hanno dimostrato lo stretto rapporto esistente fra NDVI, il grado di chiusura delle chiome e la frazione di luce fotosinteticamente attiva assorbita (FPAR) dalla vegetazione (Law e Waring, 1994; Viña e Gitelson, 2005). È lecito pertanto aspettarsi che l'affermarsi della vegetazione (anche se non necessariamente forestale) porti ad un aumento dell'NDVI, in particolare durante il periodo estivo. L'impiego di un indice normalizzato permette di compensare in larga misura gli effetti topografici e quelli del diverso angolo di illuminazione del sole.

Successivamente al calcolo dell'NDVI sulle due date indicate è stata calcolata la differenza tra le stesse. Al fine di rendere di più semplice interpretazione, i dati ottenuti sono stati classificati in 5 classi di variazione:

- *Change* (-2); se il valore è calato di più del 50 %
- *Change* (-1); se il valore è calato tra il 10 ed il 50 %
- *No Change*; se il valore è cambiato entro il 10 %, sia in positivo che in negativo
- *Change* (+1); se il valore è aumentato tra lo 10 ed il 50 %
- *Change* (+2); se il valore è aumentato di più del 50 %

Dopo aver calcolato la differenza in tutte le immagini sono state mascherate le aree non forestali grazie alla carta di uso del suolo. I risultati ottenuti dai confronti sono rappresentati nella seguente immagine (Figura 2 – Confronto tra gli NDVI calcolati sulle immagini satellitari del 13/09/1987 e del 21/08/2008).

e tabelle (**Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.** e **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**).

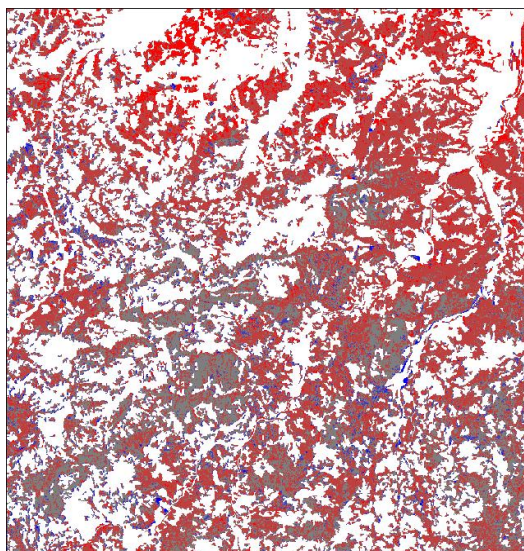


Figura 2 – Confronto tra gli NDVI calcolati sulle immagini satellitari del 13/09/1987 e del 21/08/2008.

| Legenda:    |   |
|-------------|---|
| Change (+2) | ■ |
| Change (+1) | ■ |
| No Change   | ■ |
| Change (-1) | ■ |
| Change (-2) | ■ |

Tabella 1 – Legenda delle immagini del confronto tra NDVI.

| Classi      | Pixel   | Percentuale |
|-------------|---------|-------------|
| Change (+2) | 48.867  | 7,5         |
| Change (+1) | 368.291 | 56,1        |
| No Change   | 185.957 | 28,3        |
| Change (-1) | 49.180  | 7,5         |
| Change (-2) | 3.881   | 0,6         |
| Totali      | 656.176 | 100         |

Tabella 2 – Confronto tra NDVI calcolati nelle date del 13/09/1987 e del 21/08/2008.

### Normalizzazione delle bande del NIR e confronto tra di esse

La normalizzazione delle immagini permette, scelta un'immagine di riferimento (detta *reference image*), di calibrare relativamente ad essa immagini, sempre sulla stessa area, ma acquisite in date differenti (dette *target images*) rendendole compatibili sia tra loro che con la *reference image*. Tra i diversi metodi di normalizzazione (Schott *et al.*, 1988; Hall *et al.*, 1991; Furby e Campbell, 2001; Moran *et al.*, 1992; Du *et al.*, 2002) è stato scelto l' *Iteratively re-weighted Multivariate Alteration Detection* (Ir-MAD) (Canty, Nielsen., 2008).

Nello studio effettuato è stata scelta come *reference image* l'immagine del 21/08/2008 su è stata normalizzata l'altra immagine del 13/09/1987. Per la normalizzazione sono stati usati i dati espressi in DN, quindi non calibrati. Nella normalizzazione si è scelto di effettuare 50 iterazioni, anche se l'algoritmo ne ha calcolate solo 16, non incontrando ulteriori differenze. La correlazione lineare delle bande delle due immagini e la successiva normalizzazione sono state effettuate utilizzando i pixel con una probabilità di non cambiamento superiore al 95%, corrispondenti a 1.719 pixel.

Una volta normalizzata la *target image* e la *reference image* sono state calibrate in riflettanza alla cima dell'atmosfera utilizzando i coefficienti di quest'ultima.

A questo punto, le bande del NIR (0,76-0,90 µm) sono state confrontate tra loro e classificate nelle 5 classi precedentemente usate per la variazione dell'NDVI. Infine sono state mascherate le aree non forestali utilizzando il vettoriale dell'uso del suolo. I risultati ottenuti dai confronti sono mostrati nella Figura 2 – *Confronto tra le bande del NIR delle immagini satellitari del 13/09/1987 e del 21/08/2008 (in basso al centro)*, e nella Tabella 3 – *Confronto tra le bande del NIR normalizzate del 13/09/1987 e del 21/08/2008*.

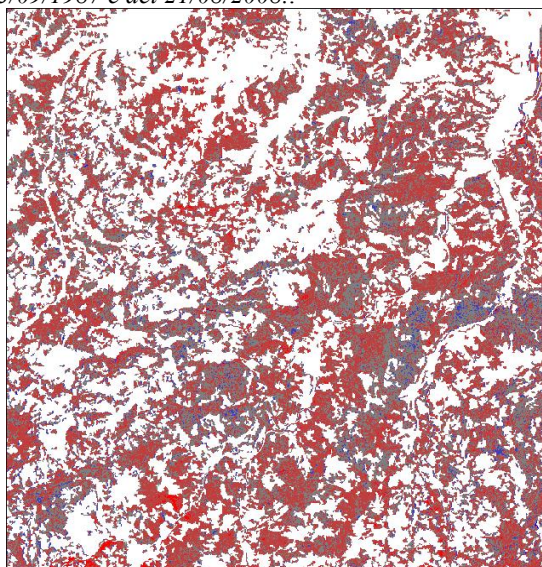


Figura 2 – *Confronto tra le bande del NIR delle immagini satellitari del 13/09/1987 e del 21/08/2008 (in basso al centro)*.

| Classi      | Pixel   | Percentuale |
|-------------|---------|-------------|
| Change (+2) | 9.466   | 1,44        |
| Change (+1) | 367.848 | 56,06       |
| No Change   | 243.658 | 37,13       |
| Change (-1) | 34.907  | 5,32        |
| Change (-2) | 297     | 0,05        |
| Totali      | 656.176 | 100         |

Tabella 3 – *Confronto tra le bande del NIR normalizzate del 13/09/1987 e del 21/08/2008*.



### Verifica qualitativa delle aree forestali soggette a cambiamenti: metodologia operativa e risultati

I risultati dell'analisi della variazione della copertura vegetale basata su immagini satellitari LANDSAT TM sono stati verificati su di un limitato numero di aree campione. La verifica si è basata sul confronto qualitativo con le informazioni derivanti dalle ortofoto. Il confronto si è focalizzato su 5 aree (Figura 3 – *Immagine LANDSAT del 21/08/2008 (RGB: 4-5-3) su cui sono segnate*

*le 5 aree usate per il confronto.*) in cui, sulla base di un'analisi visiva delle ortofoto, sono o non sono avvenuti dei cambiamenti a livello forestale.

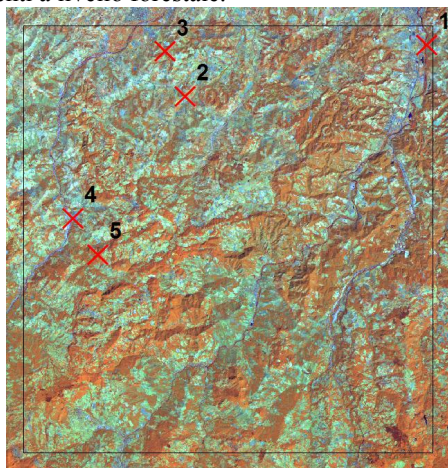
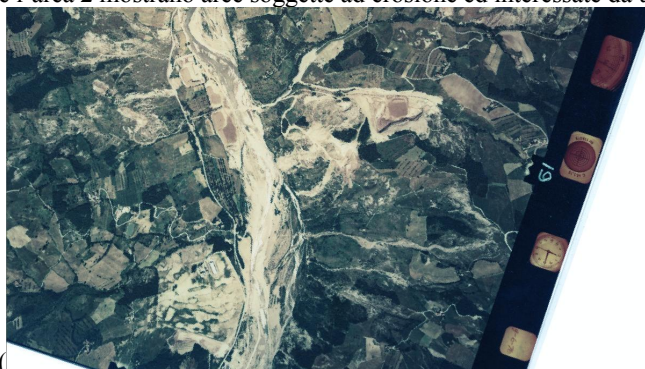


Figura 3 – Immagine LANDSAT del 21/08/2008 (RGB: 4-5-3) su cui sono segnate le 5 aree usate per il confronto.

L'area 1 e l'area 2 mostrano aree soggette ad erosione ed interessate da una progressiva rivegetazione.



L'area 3 (

Figura 6 – Ortofoto sull'area 4 acquisita nel periodo 1976-78.



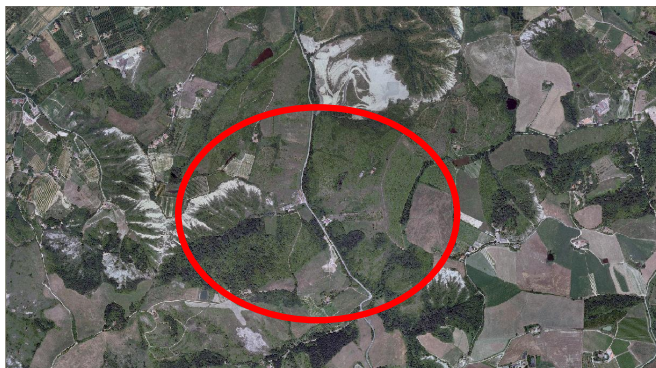
Figura 7 mostra un'area agricola che nel tempo è stata soggetta ad abbandono ed in cui si sta riaffermando la vegetazione spontanea. L'area 4 (Figura 7 – Ortofoto sull'area 4 Acquisita nel 2008. **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.** si trova in prossimità di un'area estrattiva, che nel tempo ha cambiato forma e, nell'ultimo periodo, si è espansa. L'area 5 non mostra particolari cambiamenti nell'arco del tempo, ad esclusione di un'area di frana e della presenza di vegetazione rada nell'ortofoto del 1976, forse a causa di un taglio rado in bosco.

Il confronto tra gli NDVI ha dato i risultati attesi riguardo sia alle zone che hanno avuto un incremento della vegetazione (aree 1, 2 e 3) (Figura 9 – *Confronto tra bande del NIR normalizzate sull'area 3.*) sia per le aree soggette a calo della copertura (area 4) (Figura 11 – *Confronto tra bande del NIR normalizzate sull'area 4.* che per quella in cui non si sono avuti cambiamenti significativi (area 5 - Figura 13 – *Confronto tra bande del NIR normalizzate sull'area 5.*).

Il metodo del confronto tra le bande del NIR normalizzate, utilizzando sempre le ortofoto dell'intervallo 1987-2008, ha individuato, seppur in modo non del tutto certo, le aree soggette ad un aumento della superficie vegetale (aree 1, 2 e 3) (Figura 9 – *Confronto tra bande del NIR normalizzate sull'area 3.*). Riguardo alle superfici in cui si è avuto un calo della vegetazione (area 4 - Figura 11 – *Confronto tra bande del NIR normalizzate sull'area 4.*) questo metodo mostra delle difficoltà nel riconoscimento di queste zone, scambiandole spesso per aree in cui non è avvenuto nessun cambiamento e inserendole nella classe di “No Change”. Il mancato riconoscimento di queste dinamiche può essere dovuto dalla riflessione che i suoli nudi hanno nel NIR, forse simile alla riflessione della vegetazione. La zona non soggetta a nessun cambiamento evidente (area 5 - Figura 13 – *Confronto tra bande del NIR normalizzate sull'area 5.*) risulta descritta come di lieve incremento.



Figura 4 – Ortofoto sull'area 3 acquisita nel periodo 1976-78.



*Figura 5 – Ortofoto sull'area 3 acquisita nel 2008.*

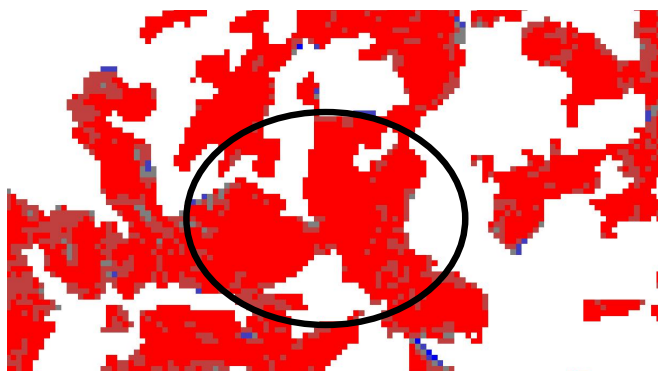


*Figura 6 – Ortofoto sull'area 4 acquisita nel periodo 1976-78.*

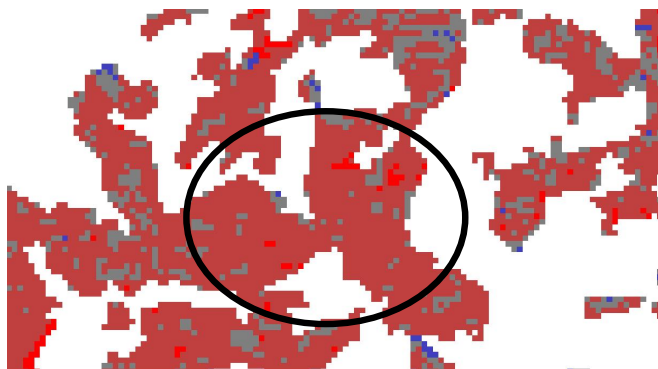


*Figura 7 – Ortofoto sull'area 4 Acquisita nel 2008.*

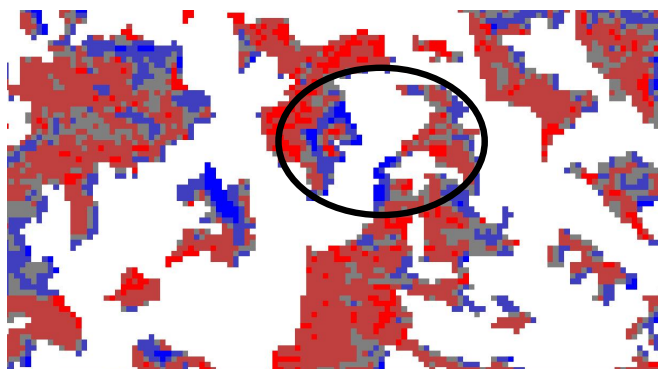




*Figura 8 – Confronto tra NDVI sull'area 3.*



*Figura 9 – Confronto tra bande del NIR normalizzate sull'area 3.*



*Figura 10 – Confronto tra NDVI sull'area 4.*



Figura 11 – Confronto tra bande del NIR normalizzate sull'area 4.

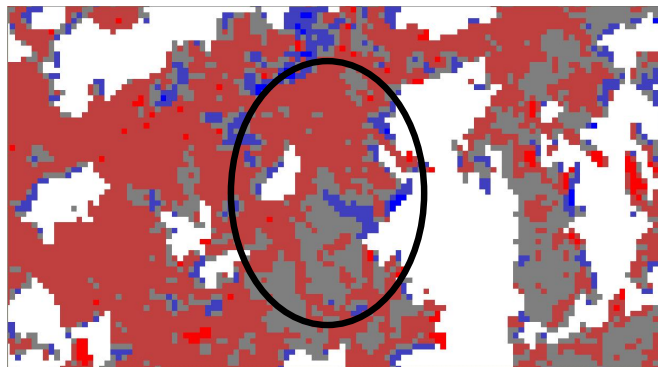


Figure 12 – Confronto tra NDVI sull'area 5.

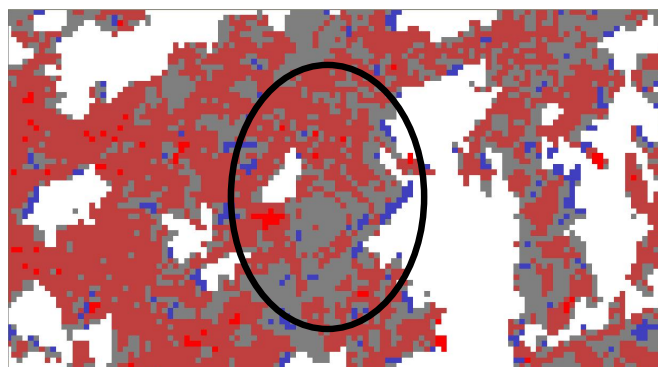


Figura 13 – Confronto tra bande del NIR normalizzate sull'area 5.

Paragonando questi due metodi appare che nelle aree in cui è in atto una rivegetazione di frane e calanchi il confronto tra le bande normalizzate del NIR pare evidenziare solo le aree soggette alle trasformazioni maggiori (area 1), o le consideri come aree di blando aumento (*Change (+1)*), mentre il confronto tra gli NDVI mette in risalto tutte le aree soggette a qualche forma di cambiamento, in particolare quelle che hanno subito le trasformazioni maggiori.

Riguardo ai terreni ex agricoli i risultati ottenuti dai due metodi appaiono molto simili, seppur l'NDVI mostra variazioni maggiori.

Per le aree non soggette a particolari cambiamenti (caso dell'area 5), i due metodi mostrano alcune differenze di classificazione, ma dato attraverso le ortofoto appare arduo determinare quale sia il metodo che descrive più accuratamente il fenomeno.

### **Conclusioni**

Il confronto tra i valori di NDVI si è dimostrato il metodo che ha prodotto i risultati migliori, in grado di individuare anche variazioni minori, sia in aumento che in diminuzione della copertura forestale. Il metodo del confronto tra le bande del vicino infrarosso potrebbe rivelarsi invece utile in altri processi di *change detection*, in quanto un prodotto intermedio del procedimento Ir-MAD è un'immagine denominata  $\chi^2$ , che esprime la somiglianza tra pixel della *reference* e della *target image* di tutte le bande. Questa immagine potrebbe essere utilizzata per individuare in modo rapido le aree a maggior variazione e quelle stabili.

### **Bibliografia**

- Canty M.J., Nielsen A.A. (2008), Automatic radiometric normalization of multitemporal satellite imagery with the iteratively re-weighted MAD transformation, *Remote Sensing of Environment*, 112: 1025-1036
- Chander G., Markham B. (2003), Revisited Landsat-5 TM radiometric calibration and postcalibration dynamic ranges, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 4:2674-2677
- Du Y., Teillet P.M., Cihlar J. (2002), Radiometric normalization of multitemporal high-resolution images with quality control for land cover change detection, *Remote Sensing of Environment*, 82: 123-134
- Furby S.L., Campbell N.A. (2001), Calibration images from different dates to 'like-value' digital counts, *Remote Sensing of Environment*, 77: 186-196
- Hall F.G., Strebel D.E., Nickeson J.E., Goetz S.J. (1991), Radiometric rectification: toward a common radiometric response among multirate, multisensory images, *Remote Sensing of Environment*, 35: 11-27
- Law B.E., Waring R.H. (1994), Combining remote sensing and climatic data to estimate net primary production across Oregon, *Ecological Applications*, 4: 717-728
- Moran M.S., Jackson R.D., Slater P.N., Teillet P.M. (1992), Evaluation of simplified procedures for retrieval of land surface reflectance factors from satellite sensor output, *Remote Sensing of Environment*, 41: 160-184
- Piussi P. (1994), *Selvicoltura generale*, UTET, Torino, 60-62
- Regione Emilia-Romagna, 2008 ([http://archiviocartografico.regione.emilia-romagna.it/bookshopfe/consulta?id\\_sessione=](http://archiviocartografico.regione.emilia-romagna.it/bookshopfe/consulta?id_sessione=))
- Rouse J.W., Haas R.H., Schell J.A., Deering D.W. (1973), Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS, *Third ERTS symposium, NASA SP-353*, 1: 309-317
- Schott J.R., Salvaggio C., Volchok W.J. (1988), Radiometric scene normalization using pseudoinvariant features, *Remote sensing of Environment*, 23: 1-16
- Viña A., Gitelson A. (2005), New developments in the remote estimation of the fraction of absorbed photosynthetically active radiation in crops, *Geophysical Research Letters*, 32: L. 17403

### **Ringraziamenti**

Per l'esecuzione dello studio si ringrazia il prof. Federico Magnani (Dipartimento di colture arboree, Università di Bologna) e il dr. Andrea Spisni (Servizio Idro-Meteo-Clima, ARPA Emilia-Romagna) per l'assistenza scientifica, metodologica e la disponibilità di immagini telerilevate.