

# Stima della proporzione di specie forestali decidue sfruttando NDVI

Marina D'Este<sup>(a)</sup>, Francesco Pirotti<sup>(b)</sup>

<sup>(a)</sup> m.deste20@gmail.com

<sup>(b)</sup> CIRGEO – Centro Interdipartimentale di Ricerca di Geomatica ; TESAF Dipartimento territorio e sistemi agro-forestali, Università degli Studi di Padova, Viale dell'Università 16, francesco.pirotti@unipd.it

## ABSTRACT

In the field of remote sensing, the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) is a common and well tested method for monitoring vegetation thanks to sensitivity of the index to photosynthetic activity. In this paper, the seasonality of NDVI values was analyzed in 33 study areas in the Asiago plateau. During the period 2013-2017, NDVI was calculated on 48 images detected by Landsat-8 and Sentinel-2 satellites. For each date, Spearman's rank correlation between the values of NDVI and the proportion of deciduous /evergreen species was analyzed; the obtained results show a clear seasonal trend of correlation values between these two variables. In months where deciduous species are in the phenology phase of full-photosynthetic activity, a significant linear correlation is observed between NDVI and the percentage of deciduous species, with R values between 0.62 and 0.81, p-value <0.001. However, in winter months, despite the clear difference between the phenology of the deciduous and the evergreen species, correlation values indicate independence between the two variables. The results indicate that, with all due diligence, NDVI values can be used as a proxy for estimating the percentage of deciduous species present in a forest area when in full-photosynthetic activity.

## RIASSUNTO

Nell'ambito del telerilevamento ottico, l'indice Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) rappresenta uno strumento di monitoraggio della vegetazione forestale grazie alla sensibilità dell'indice all'attività fotosintetica. In questo articolo è stata analizzata la stagionalità dei valori di NDVI su 33 aree di saggio nell'Altopiano di Asiago (Vicenza). Nell'arco temporale 2013-2017 è stato calcolato il valore di NDVI con 48 immagini rilevate dai satelliti Landsat-8 e Sentinel-2. È stata poi testata, per ogni data, la correlazione (Spearman) tra i valori di NDVI e la proporzione di specie decidue / sempreverdi. I risultati ottenuti mostrano un evidente andamento stagionale dei valori di correlazione tra queste due variabili. Nei mesi dove le specie decidue sono nella fase fenologica di piena attività fotosintetica, c'è una significativa correlazione lineare tra NDVI e percentuale di specie decidue, con valori R tra 0.62 e 0.81, p-value <0.001. Nei mesi invernali invece, nonostante la chiara differenza fenologica tra specie decidue e sempreverdi (i.e. assenza/presenza di foglie), i valori di correlazione indicano indipendenza tra le

due variabili. I risultati indicano che, con i dovuti accorgimenti, è possibile utilizzare i valori di NDVI come un proxy per la stima della percentuale di specie decidue presenti in un'area forestale.

## INTRODUZIONE

Il telerilevamento ottico è costituito dall'insieme delle tecniche e delle metodologie per l'elaborazione di informazioni qualitative e quantitative concernenti un oggetto, un'area o un fenomeno posto a distanza. Al giorno d'oggi questa disciplina sta acquisendo sempre più importanza poiché basandosi sull'osservazione del territorio e dei suoi cambiamenti generati o influenzati dai cambiamenti climatici, rappresenta un valido strumento per il monitoraggio degli ecosistemi naturali. In particolar modo i dati telerilevati offrono notevoli vantaggi per il monitoraggio delle superfici vegetate, rispetto a quelli raccolti a terra. Lo studio della risposta spettrale della vegetazione misurata da aereo o satellite consente infatti di ricavare utili informazioni sulle specie vegetali e sulle loro condizioni (densità, stato vegetativo, ecc.) in modo sinottico e ripetitivo (Maselli, Chiesi et al., 2002). Tra i diversi metodi, l'indice vegetazionale Normalized Difference Vegetation Index rappresenta uno degli strumenti più impiegati in quanto valuta la capacità fotosintetica della vegetazione. È stato utilizzato a partire dagli anni Settanta del secolo scorso per monitorare le caratteristiche biofisiche della vegetazione delle grandi pianure americane. Successivamente l'indice è diventato il principale indicatore da satellite della presenza di vegetazione sulla superficie terrestre e dell'evolversi della stessa nel tempo (Spisni, Marletto, Botarelli, 2012). Vari autori hanno cercato di mappare la fenologia del terreno, la dinamica del terreno e la degradazione del suolo attraverso l'analisi dei dati NDVI multi-temporali (e.g. Cayrol et al. 2000, Ledwith 2000, Eerens et al. 2001, Brand and Malthus 2004, Budde et al. 2004, Fraser et al. 2009, Julien and Sobrino 2009, De Bie et al., 2011). Ad esempio De Bie et al., (2011) hanno effettuato un'analisi multi temporale utilizzando l'NDVI per stratificare l'area di studio al fine di migliorare la mappa d'uso del suolo. Diversi studi hanno anche discusso l'idoneità dei dati NDVI temporali per lo studio della fenologia della vegetazione, in particolare quella delle colture (Gorham 1998, Murakami et al. 2001, Uchida 2001, Groten and Ocatre 2002, Hill and Donald 2003, Huang and Siegert 2006, De Bie et al., 2011). Negli ultimi anni, la fenologia è stato l'ambito applicativo più ricorrente in quanto il telerilevamento satellitare offre la possibilità di stimare la fenologia vegetale in scala globale con un'alta frequenza temporale (Stoćkli\*, Vidale, 2003). Il carattere stagionale delle misurazioni dell'indice di vegetazione nel tempo può mostrare tendenze che rappresentano cambiamenti nella copertura del terreno e nelle condizioni di visualizzazione, nonché risposte fenologiche dell'albero (Eastman, Sargermano et al., 2013). Asrar et al. (1985), Tucker and Sellers (1986), Sellers et al. (1996b) and Los (1998) affermano che l'evoluzione temporale della Frazione di Radiazione Fotosinteticamente Attiva Assorbita (FPAR), l'Indice del Foglia (LAI) e altri parametri della vegetazione possono essere stimati empiricamente da NDVI con l'uso di costanti di vegetazione dipendenti dalla copertura del suolo (Stoćkli\*, Vidale, 2003). Di conseguenza, è possibile classificare i diversi tipi

di vegetazione costruendo un profilo temporale dell'NDVI che mostri l'andamento stagionale dell'indice. Numerosi studi hanno esaminato i trends dell'NDVI usando archivi precedenti. Ronald Eastman et. al. 2013, hanno condotto uno studio globale sulla stagionalità dell'indice NDVI mediante archivio NDVI3g derivato dal Global Inventory Modeling and Mapping Studies (GIMMS) utilizzando la Seasonal Trend Analysis. In altri casi, Roman Bohovic et al. 2016, hanno utilizzato NDVI per calcolare misure fenologiche come l'inizio della stagione o la durata della stagione o periodo di crescita o stagione di attività. In questo lavoro, gli obiettivi sono stati: valutare la stagionalità dell'indice NDVI ed effettuare uno studio di correlazione tra proporzione di specie decidue e valori dell'indice NDVI stimati al fine di verificare se fosse possibile dedurre sulla base dell'indice la percentuale di specie decidue all'interno di un'area boschiva.

## MATERIALI E METODI

L'area oggetto di studio è l'Altopiano di Asiago sulle Alpi Vicentine nella zona di confine tra le regioni Veneto e Trentino Alto-Adige. Esso ha un'estensione geografica complessiva di 878 km<sup>2</sup> di cui 474 km<sup>2</sup> rientrano all'interno della comunità montana denominata "Spettabile Reggenza dei 7 comuni". Per semplicità non tutta l'area dell'Altopiano di Asiago è stata considerata ma sono stati utilizzati i rilievi in campo condotti nel corso del 2012 nell'ambito di un programma di ricerca europeo NEWFOR (*New technologies for a better mountain Forest timber mobilization*). Essi hanno interessato due zone disgiunte dell'altopiano sud occidentale: l'area Boscon e l'area Monte Verena per un'estensione complessiva di 55 km<sup>2</sup> (fig. 1).

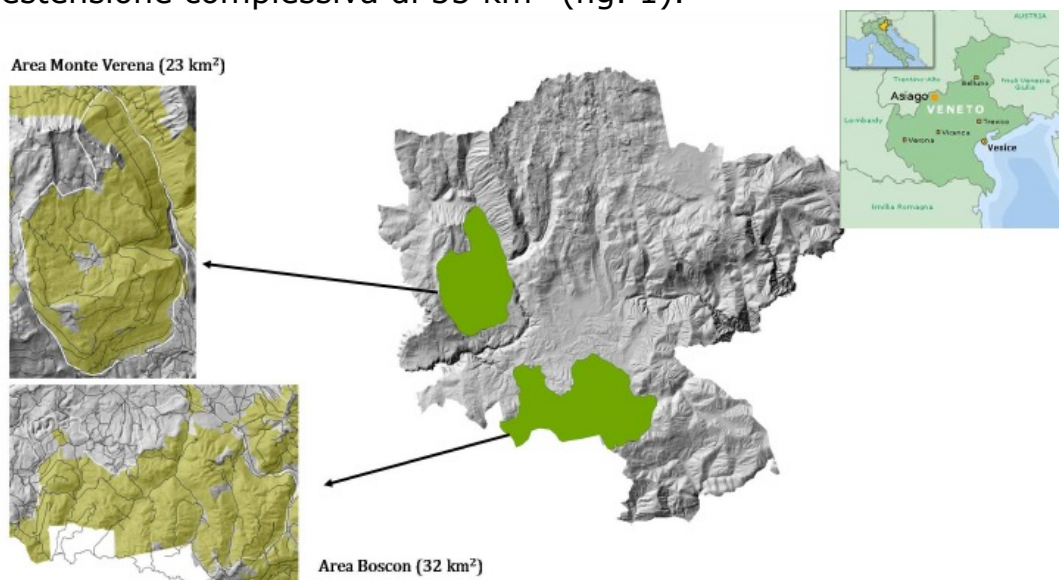


Figura 1-Aree di saggio(da Berger et al. 2014)

All'interno di esse sono stati realizzati 33 plot circolari di raggio 19,95 m, divisi per tipo strutturale (conifere, mista, latifoglie). In ogni plot ogni albero è stato georeferito e mappato; inoltre è stata misurata l'altezza e il diametro a petto d'uomo. Al fine dell'analisi, in modo congiunto sono state acquisite nell'arco di tempo 2013-2017, 48 immagini satellitari di cui 32 telerilevate dal satellite Landsat-8 e le restanti 16 da Sentinel-2 in modo tale da avere una distribuzione temporale uniforme all'interno del periodo considerato. Il grafico seguente mostra la distribuzione temporale delle immagini acquisite (fig. 2). È stata scelta questa rappresentazione, invece che un classico istogramma delle frequenze, in quanto definisce meglio la distribuzione interna al mese. Si vede infatti come la finestra temporale tra l'ultima parte di aprile e quasi tutto il mese di maggio non ha fornito una singola immagine utilizzabile in tutti gli anni monitorati. L'anno maggiormente rappresentato è il 2016 mentre poche immagini sono state acquisite per gli anni 2013-2014 in quanto il satellite Sentinel-2 è stato lanciato nel 2015. Inoltre nell'arco di tempo considerato, il numero di immagini non è omogeneo all'interno dei diversi mesi.

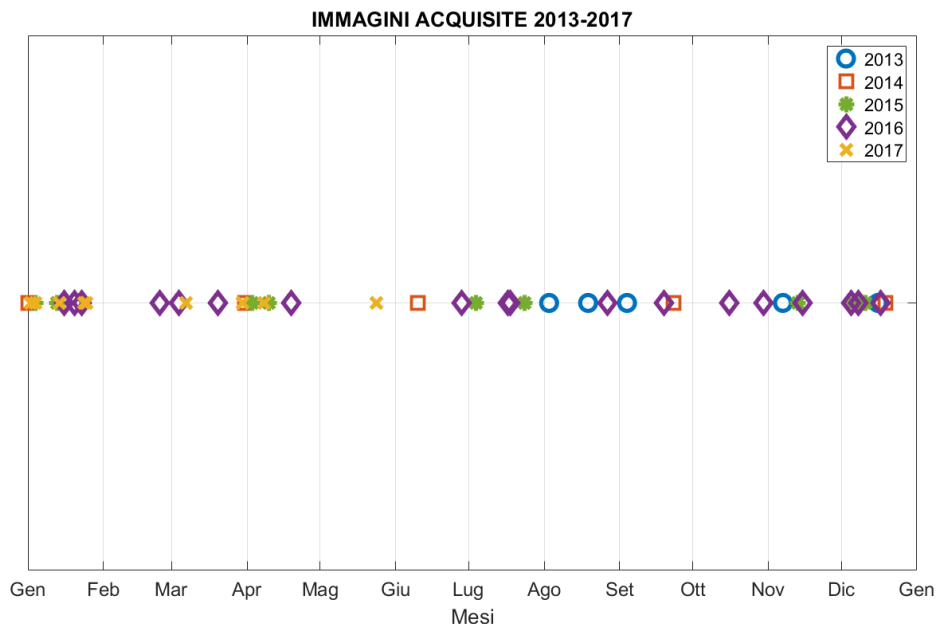


Figura 2-Data delle immagini acquisite nell'arco temporale 2013-2017

Per la successiva fase di analisi, dapprima le immagini sono state ritagliate mediante il *plugin* "Semi Automatic Classification" (Congedo 2016). In seguito, è stato calcolato l'indice NDVI per tutte le 48 immagini mediante la seguente relazione:

$$NDVI = \frac{NIR-RED}{NIR+RED} \quad [1]$$

Infine è stato necessario calcolare un valore medio di NDVI per ciascuna categoria presente all'interno delle aree di saggio per ogni data dell'arco temporale considerato. Dopo aver verificato la stagionalità dell'indice NDVI, è stato eseguito uno studio di correlazione tra la percentuale di specie decidue e i valori dell'indice NDVI medi stimati precedentemente per ogni data.

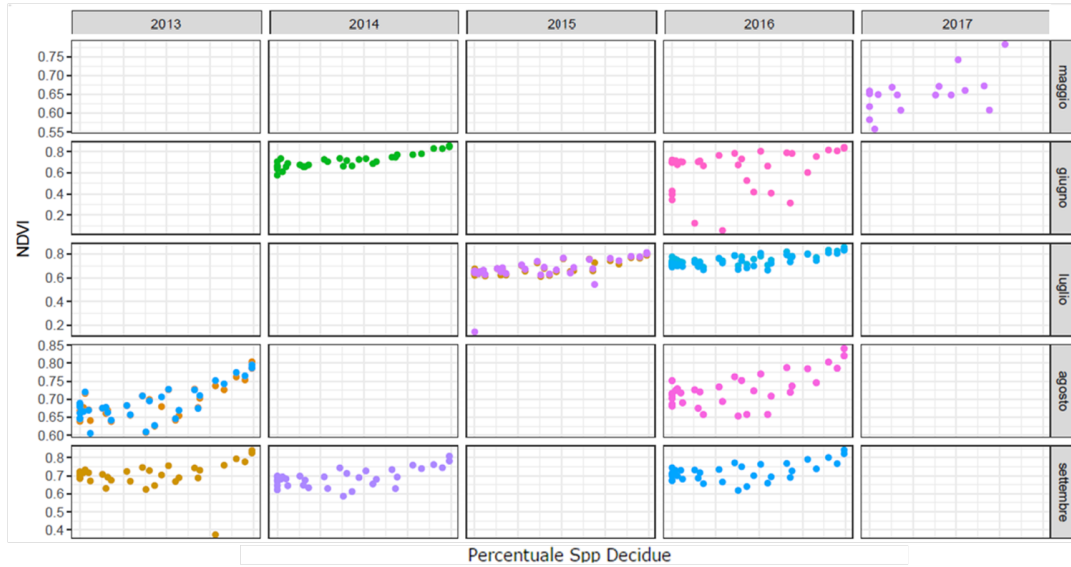
## RISULTATI

Il seguente grafico mostra l'andamento stagionale dell'indice NDVI che è stato analizzato per ciascuna categoria (conifere, latifoglie, mista). Il grafico presenta in ordinata i valori di NDVI mentre in ascissa l'arco di tempo considerato (2013-2017). I punti rappresentano le aree di saggio considerate; punti dello stesso colore indicano la stessa data di acquisizione, punti di colore diverso indicano aree di saggio diverse (fig. 3).



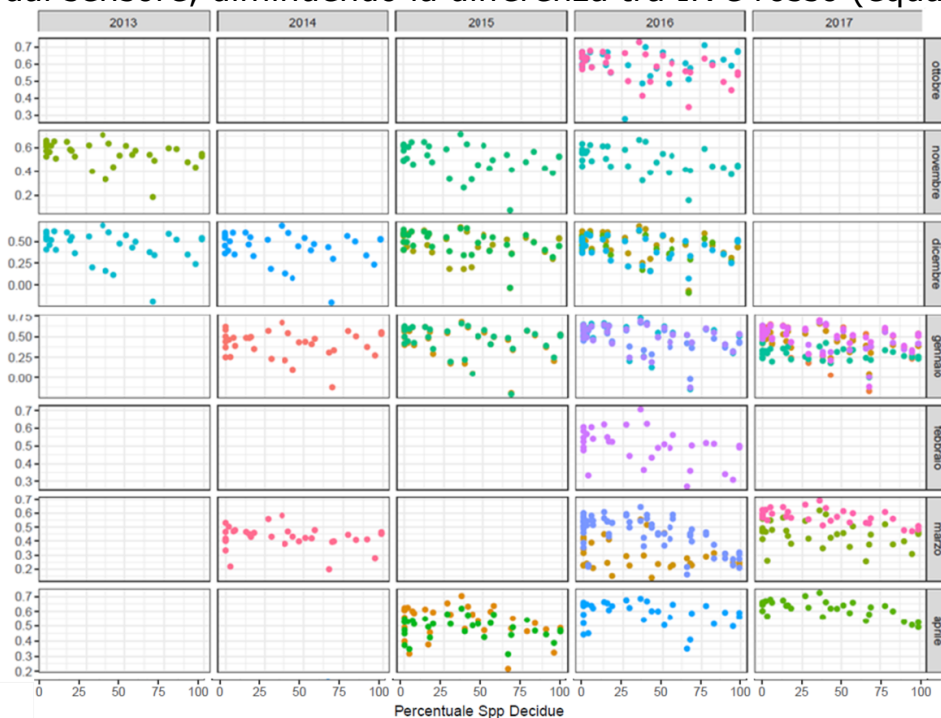
Figura 3-Stagionalità dell'indice NDVI

Per tutte le categorie, si nota un chiaro andamento stagionale; con valori di NDVI più bassi in inverno che tendono a salire gradualmente in primavera e raggiungere un picco massimo in estate. Inoltre, le conifere in inverno hanno un valore dell'indice più alto rispetto le latifoglie, le quali non superano un valore di NDVI di 0,60 a causa della mancanza dell'apparato fogliare. Tuttavia quest'ultime in estate hanno una capacità di fotosintesi maggiore rispetto le conifere, raggiungendo valori di NDVI prossimi a 0,90. La categoria mista ha un comportamento intermedio che si avvicina alle latifoglie. Dopo aver verificato la stagionalità dell'indice NDVI per ciascuno dei tipi di vegetazione, questo lavoro si è posto come secondo obiettivo lo studio della correlazione tra percentuale di chioma di specie decidue e valori dell'indice NDVI. Al fine di constatare se fosse possibile dedurre la proporzione di specie decidue sulla base dell'indice, è stato creato un grafico per ciascun mese degli anni considerati 2013-2017. Ciascun grafico rappresenta la correlazione tra la percentuale di specie decidue (in ascissa) e i valori dell'indice NDVI stimati (in ordinata). I risultati mostrano che vi è una forte correlazione positiva nei mesi di giugno e luglio, in cui all'aumentare della percentuale di chioma di specie decidue, aumenta significativamente il valore dell'indice NDVI (fig. 4).



*Figura 4-Correlazione tra l'indice NDVI e la percentuale di specie decidue per i mesi considerati*

Nei mesi invernali invece i risultati mostrano che non c'è correlazione tra le due variabili che si possono considerare indipendenti (fig. 5). L'andamento è una distribuzione casuale di punti, in cui aree di saggio caratterizzate dalla presenza di sempreverdi e aree caratterizzate da specie decidue si comportano allo stesso modo. Si può supporre che, nonostante le sempreverdi siano dotate di foglie durante l'inverno al contrario delle decidue, queste non sono in grado di foto sintetizzare ma riducono la loro attività metabolica a causa dei fattori climatici. Di conseguenza l'indice NDVI risulta basso, in quanto poca o nulla attività fotosintetica implica il mancato assorbimento della lunghezza d'onda corrispondente al rosso da parte della clorofilla, che viene quindi riflesso e registrato dal sensore, diminuendo la differenza tra IR e rosso (equazione 1).



*Figura 5-Correlazione tra l'indice NDVI e la percentuale di specie decidue da ottobre ad aprile*

Una conferma di questi risultati è rappresentata dall'andamento del coefficiente di correlazione R di Spearman rappresentato graficamente durante l'arco temporale considerato (fig. 6). Dal grafico si evince che nei mesi estivi dove le specie decidue sono nella fase fenologica di piena attività fotosintetica, c'è una significativa correlazione lineare tra NDVI e percentuale di specie decidue, con valori di R compresi tra 0.62 e 0,81, p-value < 0,001 come si può osservare nei tre picchi graficamente rappresentati (fig. 6). Nei mesi invernali, nonostante la chiara differenza fenologica tra specie decidue e sempreverdi (assenza/presenza di foglie), i valori di correlazione indicano indipendenza tra le due variabili. Possiamo dunque affermare che solo alcune finestre temporali possono essere validamente utilizzate con l'obiettivo di utilizzare i valori di NDVI per una predizione della percentuale di specie sempreverdi / caducifoglie.

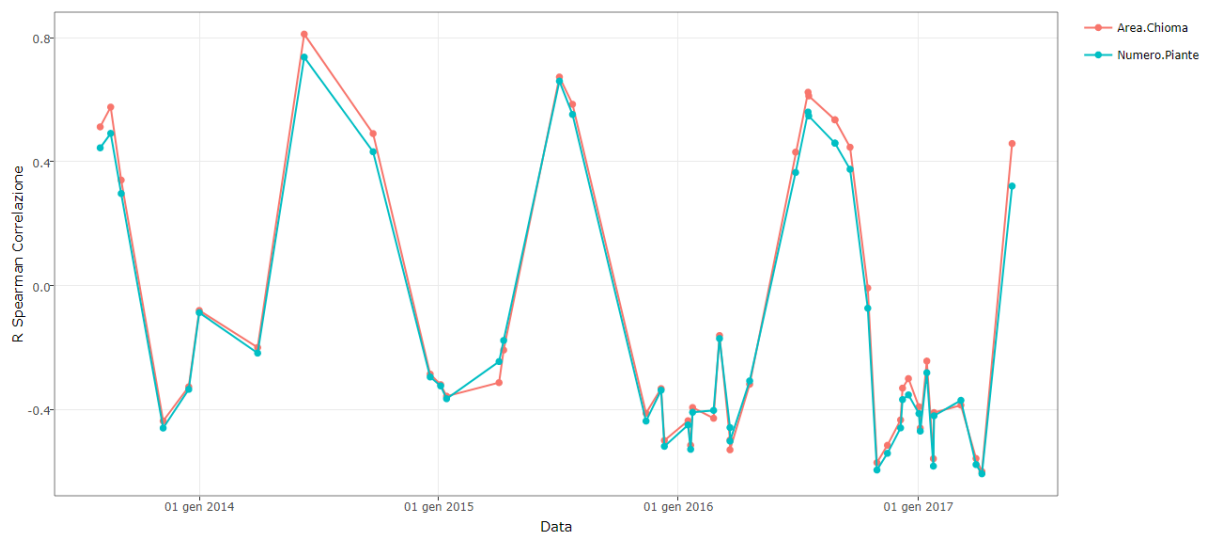


Figura 6- Il coefficiente di correlazione Spearman R nell'arco di tempo considerato

## CONCLUSIONI

E' stata verificata la stagionalità dell'indice NDVI all'interno dell'area di studio di Asiago. E' stato dimostrato che il valore dell'indice vegetazionale non è costante all'interno di un'area boschiva ma varia, come ragionevole supporre, a seconda delle stagioni e delle categorie forestali considerate. Questa stagionalità va presa in considerazione quando si utilizza l'indice NDVI per scopi comparativi, in quanto la finestra temporale, o, più precisamente, la finestra fenologica utilizzata va considerata attentamente. Infatti, sulla base dello studio di correlazione tra la percentuale di specie decidue ed i valori dell'indice NDVI calcolato è chiaro come alcune finestre fenologiche siano inutilizzabili. Invece, con i dovuti accorgimenti, è possibile utilizzare i valori di NDVI nella prima parte della stagione vegetativa, come *proxy* per la stima della percentuale di specie decidue presenti in un'area forestale.

## RINGRAZIAMENTI

Le aree di saggio ed i dati relativi sono stati eseguiti nell'ambito del progetto Alpine Space Spazio Alpino Interreg Alpine Space project - NEWFOR - Project - Project number 2-3-2-FR (Berger et al. 2016).

## BIBLIOGRAFIA

- Berger, F., Dupire, S., Monnet, J.-M., Hainzer, E., Stoehr, D., Nemestóthy, N., ... Rebolj, L. (2014) Forest Logistic Planning Strategies - Good practices for the Alpine forests. Interreg Alpine Space project - NEWFOR - Project - Project number 2-3-2-FR
- Bohovic, Petr Dobrovolny & Doris Klein (2016) "The Spatial and Temporal Dynamics of Remotely-sensed Vegetation Phenology in Central Asia in the 1982–2011 Period", *European Journal of Remote Sensing*, 49:1, 279-299.
- Congedo Luca (2016). *Semi-Automatic Classification Plugin Documentation*. DOI: <http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.2.29474.02242/1>
- De Bie C. A. J. M., Khan M. R , Smakhtin V. U, Venus V. , Weir M. J. C. & Smaling E. M. A. (2011), "Analysis of multi-temporal SPOT NDVI images for smallscale land-use mapping", *International Journal of Remote Sensing*, 32:21, 6673-6693.
- Eastman J. R., Sangermano F. et. al. (2013), "Global Trends in Seasonality of Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), 1982-2011", *Remote Sensing*, 5, 4799-4818
- Maselli F., Chiesi M., Moriondo M. (2002), "Telerilevamento e fenologia", In: *Atti del Convegno Phenagri -Fenologia per l'agricoltura*: p. 51-57.
- Sambugaro M., Colpi C. et. al., "Utilizzo del telerilevamento per l'analisi della biodiversità strutturale: il caso studio della Riserva Forestale di Clöise (Asiago, VI)", In: *Atti 17a Conferenza Nazionale ASITA - Riva del Garda 5-7 novembre 2013*
- Spisni A., Marletto V., Botarelli L. (2012), "Indici vegetazionali da satellite per il monitoraggio in continuo del territorio", *Italian Journal of Agrometeorology*, 3: 49-55.
- Stockli R., Vidale P. L., (2003) "European plant phenology and climate as seen in a 20-year AVHRR land-surface parameter dataset", *International Journal of Remote Sensing*, 2004, VOL. 25, NO. 17, 3303–3330