

# Identificazione del miglior algoritmo per determinare il LAI da Landsat-8 in assenza di dati di verità a terra

Paola Regina<sup>(a)</sup>, Francesco Bevilacqua<sup>(a)</sup>, Raffaella Matarrese<sup>(b)</sup>,  
Ivan Portoghese<sup>(b)</sup>, Andrea Guerriero<sup>(a)</sup>

<sup>(a)</sup> DEI – Politecnico di Bari, Via Orabona 4, Bari, Italia, *p.regina1@studenti.poliba.it*,  
*f.bevilacqua1@studenti.poliba.it*, *andrea.guerriero@poliba.it*

<sup>(b)</sup> CNR-IRSA, Viale De Blasio 5, Bari, Italia, *raffaella.matarrese@ba.irsa.cnr.it*,  
*ivan.portoghese@ba.irsa.cnr.it*

## Riassunto

L'utilizzo di dati telerilevati nell'ambito dell'agricoltura di precisione e dell'analisi di modelli idrologici ha assunto, negli ultimi anni, crescente importanza.

In particolare, al fine di esaminare le condizioni della vegetazione da un punto di vista qualitativo e quantitativo, sono state sviluppate svariate metodologie che hanno portato alla formulazione di diversi indici di vegetazione. Tra di essi, l'indice di area fogliare (*Leaf Area Index - LAI*) rappresenta uno dei più importanti parametri per quantificare i processi fisici e biologici relativi alla copertura vegetale ed al consumo di acqua del suolo.

In questo studio si presenta un confronto tra i modelli maggiormente adoperati per il calcolo del LAI applicati in un'area di studio localizzata nella zona della Capitanata (Sud Italia), nella quale sono state isolate ed analizzate, nella loro variabilità spazio-temporale, alcune classi distintive degli usi del suolo ivi predominanti.

L'analisi si è concentrata sulla maniera in cui i modelli hanno risposto alla variabilità dell'uso del suolo, valutando l'idoneità di ogni dato modello nella caratterizzazione di ciascuna particolare area.

In questo modo sono stati identificati gli algoritmi più adatti a ciascun tipo di zona nei casi in cui non si disponga di misure dirette raccolte *in situ*.

## Introduzione

Il *Leaf Area Index* è un importante parametro biofisico per lo studio e la caratterizzazione degli ecosistemi terrestri, definito come la superficie fogliare totale che intercetta l'energia luminosa espressa in relazione all'area di terreno sottostante (Watson, 1947). In letteratura sono presenti diversi algoritmi per la determinazione del LAI (Viña, 2011), (Ganguly, 2012). La scelta del modello da utilizzare rispetto al tipo di applicazione è un aspetto di fondamentale rilievo.

La presente ricerca si articola nelle seguenti fasi: in primo luogo è stato selezionato un campione di immagini acquisite dal satellite Landsat-8, relativo all'arco temporale 2013-2016, con una risoluzione spaziale di 30m. La regione di interesse corrisponde ad un'area della Capitanata. Successivamente, le immagini ottenute sono state processate attraverso i software *Envi* e *Matlab*, al fine di isolare una particolare sotto-regione ed ivi eseguire operazioni di

correzione della nuvolosità e calibrazione radiometrica. Quindi, l'area è stata sottoposta ad una classificazione del suolo finalizzata ad individuarne gli usi predominanti, due dei quali sono trattati nel presente studio. La successiva fase di *data processing* si è articolata nel calcolo degli indici di vegetazione: NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) (Rouse et al., 1974), WdVI (*Weighted Difference Vegetation Index*) (Clevers, 1988), EVI (*Enhanced Vegetation Index*) (Liu, Huete, 1995). Di conseguenza, sono stati selezionati ed applicati alcuni algoritmi per il calcolo del LAI.

Infine, i dati raccolti sono stati sottoposti ad analisi statistiche multi-temporali al fine di valutare, per ciascuna categoria di *land cover*, i modelli più performanti in confronto a dati sperimentali preesistenti.

### Strumenti e fasi del lavoro

L'acquisizione delle immagini satellitari è stata ottenuta attraverso l'impiego delle risorse USGS *EarthExplorer* e *LandsatLookViewer*. L'area inizialmente selezionata corrisponde alle scene 188/31 e 189/31 secondo il sistema di georeferenziazione WRS-2. Dopo la prima selezione, si è provveduto a isolare, su tutte le scene, una medesima ROI (*Region of Interest*) di 21kmx21km (Figura 1). Tale scelta è stata guidata dall'eterogeneità della regione in termini di copertura vegetazionale e uso del suolo, nonché dalla disponibilità di studi precedentemente condotti nella stessa area o in aree limitrofe. Quindi, il campione è stato sottoposto ad una fase di *pre-processing* finalizzata a gestire la nuvolosità ed applicare la correzione radiometrica (*Top of Atmosphere Reflectance*).

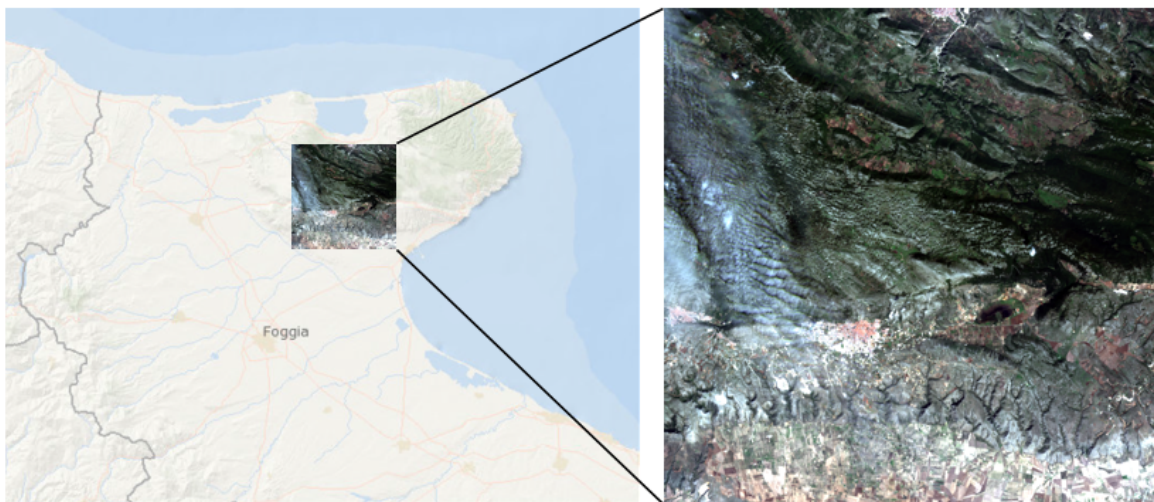


Figura 1 – ROI selezionata come caso di studio.

La classificazione fornita dalla mappa di uso del suolo (aggiornata nel 2011 e disponibile sul sito [www.sit.puglia.it](http://www.sit.puglia.it)), ha consentito di isolare le regioni di utilizzo del suolo predominanti in tale area, due delle quali - seminativi semplici in aree non irrigue e uliveti - sono oggetto del presente studio.

La successiva analisi bibliografica ha condotto alla scelta di sei algoritmi da testare sulla regione individuata (Tabella 2): 1. LAI-WdVI (Clevers, 1989), 2. LAI-EVI (Boegh et al., 2002), LAI-NDVI: 3. LAI basato su equazione di Beer (Baret et al., 1989), 4. Modello di Caraux-Garson (Caux-Garson et al.,

1998), 5. Modello di Peterson (Peterson et al., 1987), 6. Modello di Nemani-Running (Nemani, Running, 1989).

Indice	LAI	Modello	Tipo
WDVI	$-\frac{1}{\alpha} \ln \left( 1 - \frac{WDVI}{WDVI_{\infty}} \right)$ [1]	Clevers	Non-Lineare
EVI	$3.618 * EVI - 0.118$ [2]	Boegh	Lineare
NDVI	$-\frac{1}{k} \ln \left( \frac{NDVI_{can} - NDVI}{NDVI_{can} - NDVI_{back}} \right)$ [3]	Basato su eq. Beer	Non-Lineare
NDVI	$-0.39 + 6 * NDVI$ [4]	Caraux-Garson	Lineare
NDVI	$\left( 0.52 \left( \frac{NDVI+1}{1-NDVI} \right)^{1.715} \right)$ [5]	Peterson	Non-Lineare
NDVI	$0.65 e^{\frac{NDVI}{0.34}}$ [6]	Nemani-Running	Non-Lineare

Tabella 2 - Modelli di LAI impiegati nell'analisi

Poiché alcuni modelli - nello specifico il LAI basato su legge di Beer e il LAI funzione del WDVI - presentano uno o più parametri influenzati dal tipo di suolo in esame, si è proceduto ad effettuarne una calibrazione sulla base di studi preesistenti condotti in aree compatibili (Tabella 3).

Parametro	Colture	Uliveti
k	0.17 (Gigante et al., 2009)	Calibrazione mensile (JRC)
NDVI <sub>can</sub>	Max globale incrementato con $\epsilon = 0.0001$	
NDVI <sub>back</sub>	Min globale	Min locale
$\alpha$	0.39 (Vanino et al., 2015)	
WDVI <sub>∞</sub>	Max globale incrementato con $\epsilon = 0.0001$	

Tabella 3 - Calibrazione dei parametri per LAI basato su legge di Beer e LAI funzione del WDVI.

La ricerca ha interessato un campione di 34 immagini generando, per ciascuna di esse, le relative mappe di LAI. Un'analisi statistica è stata quindi condotta sul *dataset* ottenuto, considerando: i) per ciascuna classe di utilizzo del suolo, i sei pattern di LAI relativi all'intero anno 2014 (l'unico anno completo di almeno un'immagine per ogni mese); ii) per ciascun modello di LAI, i pattern relativi alle classi di uso del suolo; iii) per ciascuna classe di utilizzo del suolo, l'andamento del LAI nei mesi di luglio e dicembre nel periodo 2013-2016.

La Figura 4 riassume le fasi del lavoro.

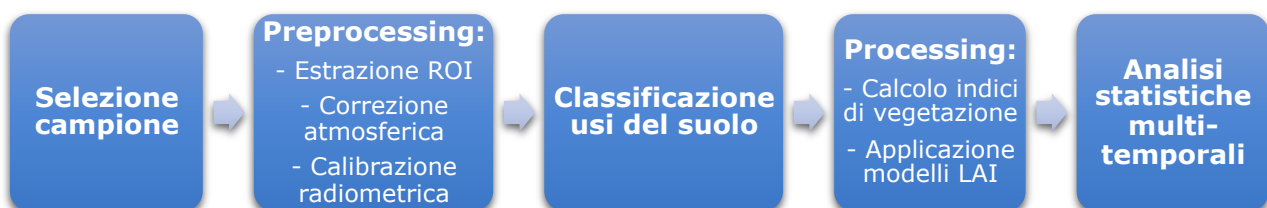


Figura 4 - Riepilogo delle fasi del lavoro.

## Risultati

L'analisi dei dati raccolti si è basata sul confronto con dati di riferimento, scelti rispettivamente:

- Per i seminativi semplici in aree non irrigue (Figura 5a), considerando i dati raccolti dallo JRC per i campi di grano in Puglia nel periodo 1975-2005. L'analisi è stata inoltre confrontata con quella condotta da Iacobellis (Iacobellis et al., 2015), in un'area parzialmente corrispondente a quella interessata dallo studio.
- Per gli uliveti (Figura 5b), a causa della mancata disponibilità di un *dataset* completo, si è scelto di far riferimento ai risultati ottenuti da Cermak (Cermak et al., 2007) in un'area geograficamente compatibile con il supporto dell'analisi condotta da Iacobellis relativamente ad un'area limitrofa caratterizzata da alberi da frutto.

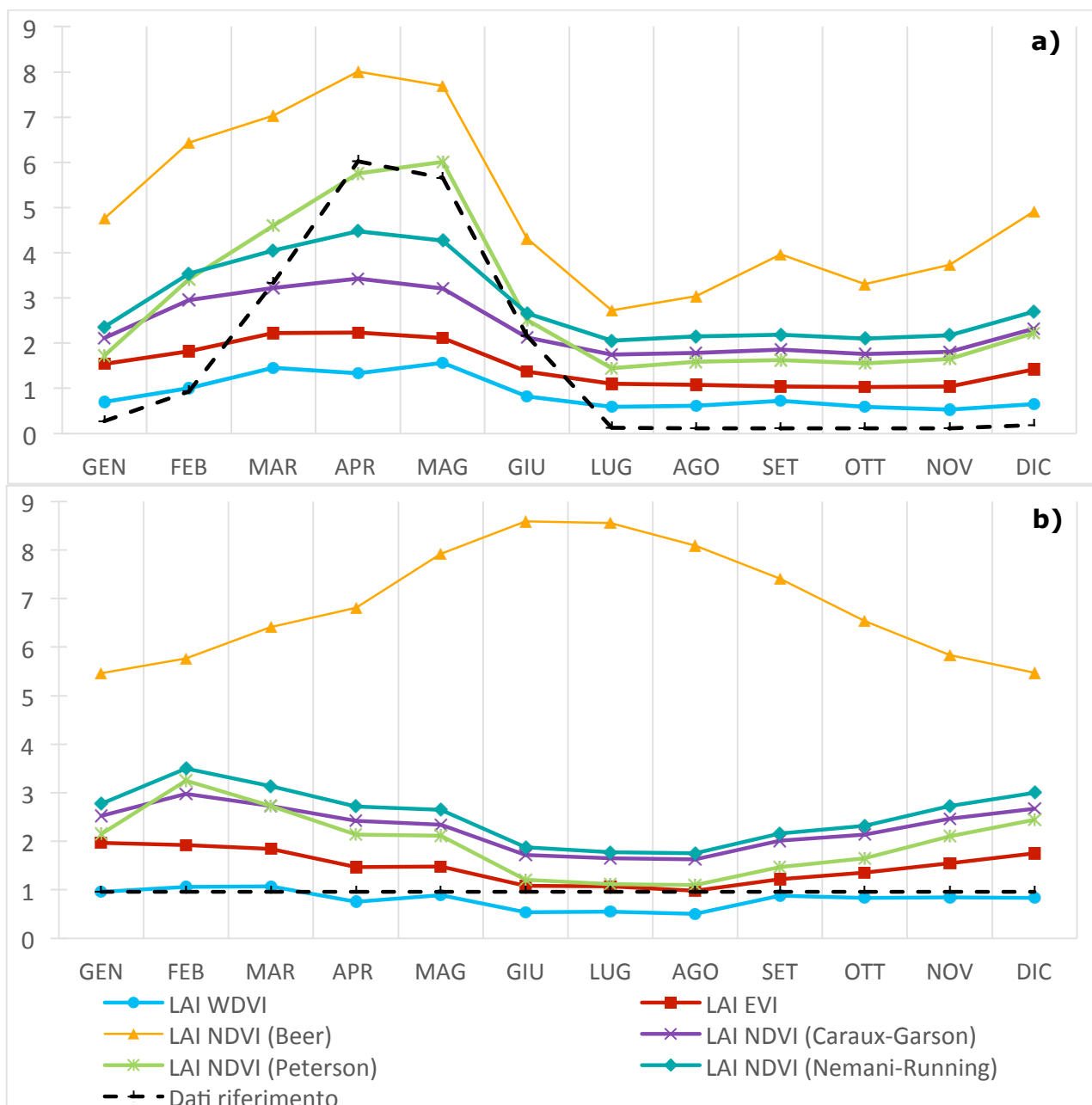


Figura 5 – Curve relative ai modelli per il calcolo del LAI in a) seminativi semplici in aree non irrigue; b) regione di uliveti per l'anno 2014.

Il confronto è avvenuto valutando le prestazioni dell'intero set di modelli rispetto a ognuna delle categorie di uso del suolo.

I risultati relativi all'anno 2014 possono essere discussi come segue. Per la categoria dei seminativi semplici in aree non irrigue, la curva descritta dai dati di riferimento ha assunto valori compresi tra 0.2 e 5.9, esibendo una fase crescente fino al periodo primaverile e bruscamente decrescente nella seconda metà dell'anno, con un *trend* costante prossimo allo zero tra luglio e dicembre. Questo andamento è spiegabile considerando che i dati sono stati raccolti tramite misure *in situ*, quindi, su di un'area circoscritta e caratterizzata da un suolo omogeneo che, durante la fase di mietitura, appare quasi privo di vegetazione. Al contrario, l'area di studio in esame, rilevata da satellite, risulta più vasta ed eterogenea, contraddistinta da tracce di vegetazione anche nel periodo caratterizzato dall'assenza di colture. Ne risultano valori di LAI leggermente maggiori.

Sulla base di queste considerazioni, il modello di Peterson è risultato essere quello che meglio approssima la curva di riferimento. Un *trend* sufficientemente coerente, nonostante un set di valori con una scarsa dispersione statistica, è quello assunto dai modelli di Nemani-Running e Caraux-Garson. Il modello di LAI calcolato con equazione di Beer ha esibito un *trend* accurato ma un elevato *offset*, evidenziando la necessità di una ricalibrazione dei parametri. I modelli di LAI basati su WdVI ed EVI hanno, invece, esibito valori eccessivamente bassi ed un andamento non completamente coerente con i dati di letteratura.

Per la categoria degli uliveti non è stato possibile disporre di un *dataset* di riferimento: è stata pertanto considerata la ricerca condotta da Cermak (Cermak et al., 2007) in cui la stima del LAI è stata ottenuta mediante l'impiego di tecniche *ground-based* e modelli geometrici. Da tale studio è emerso che, all'aumentare della distanza tra gli alberi, i valori di LAI tendono a decrescere. Nell'area di studio esaminata da Cermak, la distanza tra gli alberi è di circa 8.7 m: si tratta di un valore compatibile con l'area oggetto di questo studio. Pertanto, risulta pertinente considerare come riferimento il valore medio di LAI rilevato da Cermak, pari a 0.96, nonostante si tratti di una media aspecifica del periodo dell'anno. Sulla base di queste osservazioni, il modello di LAI basato su WdVI è risultato essere il più accurato per la caratterizzazione del tipo di area, esibendo un *range* di valori coerente con la letteratura. Tutti gli altri modelli hanno presentato valori eccessivamente alti e, in particolare, il LAI basato su equazione di Beer ha mostrato un *trend* completamente opposto a quello degli altri modelli. Tale anomalia è probabilmente dovuta alla scelta del *dataset* di calibrazione, appartenente alla categoria "Woodland", presumibilmente rappresentativa di una vegetazione più densa rispetto all'assetto tipico delle superfici piantate ad ulivo, in cui il LAI è altamente influenzato dalla presenza del *background*.

Riepilogando:

- Il LAI basato su WdVI ha esibito un set di valori piuttosto ristretto, portando a ipotizzare che si tratti di un modello influenzato dalla risposta del *background* piuttosto che da quella della vegetazione. A sostegno di

questa ipotesi, si rimarca come esso abbia fornito risultati coerenti nella regione degli uliveti, dove la presenza del *background* è significativa.

- Il LAI basato su EVI è risultato in ogni caso inadeguato. Potrebbe trattarsi di un modello utile a caratterizzare regioni con valori attesi di LAI medio-bassi (1.5-2.5).
- Il modello basato su equazione di Beer ha dimostrato di una spiccata sensibilità ai parametri di calibrazione, caratterizzando in maniera ammissibile soltanto la regione dei seminativi. Potrebbe trattarsi di un modello promettente se opportunamente ricalibrato con un set di parametri il più specifico possibile.
- Il modello di Peterson ha caratterizzato in maniera molto accurata la regione dei seminativi, mentre per gli uliveti ha esibito un andamento eccessivamente fluttuante. Potrebbe trattarsi di un modello adatto a descrivere classi di uso del suolo in cui i *trend* stagionali portano a variazioni sensibili dei livelli di LAI – come avviene in agricoltura in seguito a fasi di mietitura o raccolto.
- I modelli Nemani-Running e Caraux-Garson presentano, per entrambe le classi di uso del suolo, un andamento concorde. È possibile notare come il primo, rispetto al secondo, esibisca valori più alti, con un *offset* crescente nelle fasi stagionali in cui la vegetazione è più rigogliosa.

Questa osservazione porta a ritenere che il modello di Nemani-Running rispetto al modello di Caraux-Garson, sia maggiormente influenzato dalla risposta della vegetazione piuttosto che da quella del suolo. Entrambi i modelli, tuttavia, si prestano alla caratterizzazione di zone densamente vegetate. Le loro prestazioni sono risultate di livello intermedio per la regione dei seminativi, di livello scarso per gli uliveti.

L'analisi effettuata sui mesi di luglio e dicembre nell'intervallo 2013-2016 è stata ristretta ai modelli che, nella fase precedente, si sono dimostrati più adatti a caratterizzare le sotto-regioni. I *trend* annuali individuabili in questa fase consentono di indirizzare ulteriori indagini e approfondimenti su aspetti come l'umidità del suolo, la temperatura, le precipitazioni, etc.

Le prestazioni dei sei modelli di LAI sono infine state valutate secondo le seguenti metriche:

- a) Il *trend* stagionale osservato nel corso dell'anno
- b) Lo scostamento (*bias*) dei dati rispetto ai valori di riferimento
- c) La dispersione statistica di ciascuna classe.

I risultati sono sintetizzati dalla Tabella 6.

	Colture			Uliveti		
	a)	b)	c)	a)	b)	c)
LAI WDV I	Verde	Rosso	Rosso	Verde	Verde	Verde
LAI EVI	Verde	Rosso	Giallo	Giallo	Giallo	Giallo
LAI NDVI (Beer)	Verde	Rosso	Verde	Rosso	Rosso	Rosso
LAI NDVI (Caraux-Garson)	Verde	Giallo	Giallo	Giallo	Giallo	Giallo
LAI NDVI (Nemani-Running)	Verde	Giallo	Giallo	Giallo	Rosso	Giallo
LAI NDVI (Peterson)	Verde	Giallo	Verde	Giallo	Giallo	Rosso

Tabella 6 – Prestazioni dei modelli di LAI nelle regioni di applicazione. La valutazione si è basata su tre livelli identificati dai colori: verde (positivo), giallo (intermedio), rosso (negativo). La scelta dei modelli più performanti è stata definita dalle combinazioni: ■■■, ■■■, ■■■, ■■■.

### Conclusioni

Questa ricerca ha posto le basi per una caratterizzazione più approfondita della zona in esame e delle tendenze presentate nell’arco temporale di osservazione. Dopo aver isolato due distinte sotto-regioni, sono stati valutati diversi modelli per il calcolo del LAI attraverso il confronto con dati sperimentali secondo specifiche metriche, al fine di consentire, per zone con *land cover* e usi del suolo diversi, la scelta del modello più adatto in assenza di verità a terra. Spunti di ricerca futuri potrebbero riguardare la scelta di un campione di immagini più ampio, o lo studio di aspetti legati alle precipitazioni, all’umidità del terreno, alla temperatura, etc. Una più accurata calibrazione dei parametri presenti in alcuni modelli potrebbe costituire un ulteriore sviluppo. Sarebbe infine auspicabile una revisione dei dati sperimentali a supporto dell’analisi.

### Riferimenti bibliografici

- Iacobellis V., Tarantino E., Andrea G. Balacco G. (2015), “Space-time LAI variability in Northern Puglia (Italy) from SPOT VGT data”, *“Environmental Monitoring and Assessment”*, 187: 1-15.
- Vanino S., Pulighe G., Nino P., De Michele C., Falanga Bolognesi S. D’Urso G. (2015), “Estimation of Evapotranspiration and Crop Coefficients of Tendone Vineyards Using Multi-Sensor Remote Sensing Data in a Mediterranean Environment”, *“Remote Sensing”*, 7: 14708-14730.
- Ganguly, S., Nemani, R. R., Zhang, G., Hashimoto, H., Milesi, C., Michaelis, A., Wang, W. (2012), “Generating Global Leaf Area Index from Landsat: Algorithm Formulation and Demonstration”, *“Remote Sensing of Environment”*, 112: 185-202.
- Viña A., Gitelson A., Nguy-Robertson A., Peng Y. (2011), “Comparison of

- different vegetation indices for the remote assessment of green leaf area index of crops", *"Remote Sensing of Environment"*, 115: 3468-3478.
- Gigante V., Iacobellis V., Manfreda S., Milella P. e Portoghese. I. (2009), "Influences of Leaf Area Index estimations on water balance modeling in a Mediterranean semi-arid basin", *"Natural Hazards and Earth System Sciences"*, 9: 979-991.
- Cermak J., Gasperek J., De Lorenzi F. Jones H. (2007), "Stand biometry and leaf area distribution in an old olive grove at Andria, southern Italy", *"Annals of Forest Science"*, 64: 491-501.
- Boegh E., Søggaard H., Broge N., Hasager C.B., Jensen N.O., Schelde K., Thomsen A. (2002), "Airborne multispectral data for quantifying leaf area index, nitrogen concentration, and photosynthetic efficiency in agriculture", *"Remote Sensing Environment"*, 81: 179-193.
- Caraux-Garson D., Lacaze B., Scala F., Hill J., Mehl W. (1998), "Ten years of vegetation cover monitoring with LANDSAT-TM remote sensing, an operational approach of DeMon-2 in Languedoc", *"Symposium on operational remote sensing for sustainable"*.
- Liu H. e Huete A. (1995), "A feedback based modification of the NDVI to minimize canopy background and atmospheric noise", *"IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing"*, 33: 457-465.
- Baret F., Olioso A., Luciani J., Hanocq J. (1989), "Estimation de l'énergie photosynthétiquement active absorbée par une culture de blé à partir de données radiométriques", *"Agronomie"*, 9: 885-895.
- Clevers J. G. P. W. (1989), "The application of a weighted infrared-red vegetation index for estimation leaf area index by correcting for soil moisture", *"Remote Sensing Environment"*, 29: 25-37.
- Nemani R. Running S. (1989), "Testing a theoretical climate-soil-leaf area hydrologic equilibrium of forest using satellite data and ecosystem simulation", *"Agric.For.Met"*, 44: 245-260.
- Clevers J. (1988), "The derivation of a simplified reflectance model for the estimation of leaf area index", *"Remote Sensing Environment"*, 35: 53-70.
- Peterson D., Spanner M., Running S., Teuber. K.B. (1987), "Relationship of Thematic Mapper Simulator data to leaf area index of temperate coniferous forest", *"Remote Sensing of Environment"*, 22: 323-341.
- Rouse J., Haas R., Schell J. A., Deering D.W. (1974), "Monitoring vegetation system in the great plains with ERTS", *"Proceedings of the Third Earth Resource Technology Satellite-1 Symposium NASA SP-351"*, I: 309-317.
- Watson D.J. (1947), "Comparative Physiological Studies on the Growth of Field Crops: I. Variation in Net Assimilation Rate and Leaf Area between Species and Varieties, and within and between Years", *"Annals of Botany"*, 11: 41-76.
- J.R.C., "Crop Growth Monitoring System (CGMS)" Available: <http://ies-webarchive-ext.jrc.it/mars/mars/About-us/AGRI4CAST/Models-Software-Tools/Crop-Growth-Modelling-System-CGMS.html>.