

TELERILEVAMENTO ED ECOSISTEMI FORESTALI

L'INDICE DI AREA FOGLIARE (LAI) È UN INDICATORE DELLO STATO DI SALUTE DELLE MASSE VEGETALI. LA SUA DETERMINAZIONE MEDIANTE SISTEMI DI TELERILEVAMENTO PERMETTE UN MONITORAGGIO DELLE DINAMICHE DI CAMBIAMENTO E DELLA PRODUTTIVITÀ, SOPRATTUTTO IN AMBIENTI CON CONIFERE E FORESTE SEMPREVERDI O PER COLTIVAZIONI DI TIPO AGRICOLO.

L'indice di area fogliare (Lai, *Leaf Area Index*) rappresenta un modo utile per descrivere la produttività e le dinamiche degli ecosistemi forestali ed è un indicatore dello stato di salute e dello sviluppo della chioma vegetale. È oggi possibile, mediante l'utilizzo di sistemi di telerilevamento, sfruttare la capacità di calcolo degli apparati tecnologici utilizzando algoritmi che possono elaborare un set di dati raccolti e sviluppare prodotti di complessità variabile a seconda degli obiettivi da raggiungere. In tutto questo processo entrano in gioco differenti tecnologie che riguardano l'ottica, i sistemi di misura, le telecomunicazioni e la capacità di elaborazione dei sistemi di calcolo. In questo articolo, l'importanza del Lai viene evidenziata mediante l'utilizzo dei sistemi di telerilevamento che, seppur nella complessità intrinseca delle misurazioni e della gestione dei dati, consente di stimare valori utili per descrivere dinamiche relazionali tra molteplici parametri fisici monitorati.

Strumenti innovativi per l'analisi ambientale

Il cambiamento climatico e il suo impatto sugli ecosistemi terrestri sono temi di grande attualità, che hanno ripercussioni difficili da misurare a causa della scala globale del problema. Con le moderne tecnologie, che sfruttano il calcolo computazionale, e il recente sviluppo nel settore delle telecomunicazioni, nonché con le innovazioni tecniche registrate nel campo del telerilevamento, attualmente è possibile assistere all'implementazione di applicazioni di grande interesse soprattutto per quanto riguarda la caratterizzazione dei parametri ecologici. L'uso di algoritmi e lo studio di correlazioni tra spettro elettromagnetico e pacciamatura, utilizzando immagini satellitari, assumono importante

rilevanza scientifica, in particolare per la mancanza di studi approfonditi sul tema [1]. Lo spettro unico di riflettanza che hanno le coperture vegetali permette di determinare aspetti come i cambiamenti nell'uso del suolo o l'attività foto sintetica degli elementi vegetali. Questi comportamenti non si presentano in maniera isolata in natura. In questo modo non viene monitorata una singola foglia, ma sono esaminate intere "masse vegetali". Da qui, il grado di influenza del suolo (nel rapporto foglia-terreno) è un parametro importante che influenza l'osservazione del sensore e che si stima in funzione della superficie verde di copertura del suolo. È qui che il calcolo dell'indice di area fogliare (Lai) diventa rilevante, dato che riguarda l'area di copertura del suolo in maniera diretta [2]. Allo stesso modo, possono essere monitorate con il Lai [3] le dinamiche di cambiamento, in termini di produttività, degli ecosistemi forestali rispetto agli impatti climatici. Questo lavoro si propone di descrivere le tecniche utilizzate per quantificare il Lai, con particolare riguardo al telerilevamento.

Il telerilevamento nel monitoraggio degli ecosistemi

Il telerilevamento può essere definito come la scienza e l'arte di ottenere informazioni su un fenomeno, un oggetto o un'area di riferimento, attraverso l'analisi di dati acquisiti attraverso un mezzo non a diretto contatto con quanto osservato [4]. Questa disciplina, che è praticata attualmente per studiare a distanza tutta la superficie terrestre, coinvolge una miriade di processi. Essa si basa sullo studio e sull'analisi di immagini rilevate da sistemi di acquisizione innovativi che possono essere ri-elaborate e interpretate a seconda delle esigenze dettate dagli obiettivi della ricerca. Il telerilevamento può inoltre essere considerato una tecnica



FOTO: CHRISTIAN ZIEGLER - PUS - CC BY

applicata, che è derivata dal progresso tecnologico che negli ultimi anni ha interessato i sistemi informatici, quelli ottici e di comunicazione. Attualmente, esso è in costante sviluppo e molteplici sono le applicazioni in ambito di ricerca soprattutto ambientale. Tutto ciò è stato possibile grazie all'introduzione sul mercato di nuovi sensori, notevolmente migliorati rispetto alla risoluzione spaziale e temporale, che sono in grado di fornire una vasta gamma di informazioni spettrali, consentendo il rilevamento di aspetti specifici e una più precisa caratterizzazione della biodiversità [5]. In sintesi, l'uso dei sistemi di telerilevamento in considerazione dell'ampia gamma di applicazioni oggi disponibili, consente di ottenere informazioni di dettaglio sugli ecosistemi terrestri.

È interessante notare che i modelli utilizzati per ottenere informazioni possono essere suddivisi in due grandi categorie. Questa classificazione sperimentale, che può essere utilizzata per estrapolare i principi teorici, consente di basare l'analisi sui rapporti teorici tra i componenti di un problema [2]:

- modelli empirici o induttivi, in cui la base di studio è l'applicazione di misure e trattamenti dell'immagine di riflettanza per correlare i risultati con misure di parametri empirici sul terreno

- modelli teorici o deduttivi, che cercano di stabilire rapporti di validità generale, più indipendenti possibili dalle condizioni di osservazione.

Per la stima Lai sulla base di indici spettrali di vegetazione (Svis) sono stati maggiormente sviluppati modelli empirici per i climi temperati e ambienti boreali, caratterizzati principalmente da conifere e foreste sempreverdi, o in altri casi per la coltivazione di tipo agricolo [6,7], come la soia, riso e mais.

Spettro elettromagnetico e copertura vegetale

Il programma tecnologico *Earth Resources Satellite* (Erts), noto come programma spaziale Landsat, è stato il primo a sfruttare il fatto che la copertura vegetale, in particolare durante l'attività foto sintetica, presenta un unico spettro di riflettanza [8]. Questa tecnica, utilizzata preliminarmente in campo militare e basata sullo studio di fotografie a raggi infrarossi colorate, è stata progressivamente impiegata per applicazioni civili e scientifiche. La conoscenza del comportamento delle diverse coperture al variare delle lunghezze d'onda, è uno dei pilastri del telerilevamento. Si nota che ai fini del telerilevamento si assumono superfici lambertiane (quelle che riflettono in modo uniforme in tutte le direzioni), in quanto rappresentano la migliore approssimazione della superficie speculare (che riflette nella stessa direzione dell'angolo di incidenza) in maniera tale che si abbia un output autonomo rispetto all'angolo di incidenza stesso. Nel caso delle coperture vegetali si ottengono interessanti risultati, relativamente alla gamma di lunghezze d'onda applicata: la sezione più importante dello spettro – all'interno del quale vi è anche lo spettro visibile (Vis) – è quella relativa alla capacità di rilevare la riflettività di energia elettromagnetica dallo spazio. Questa varia e si caratterizza in funzione della pigmentazione delle foglie, della struttura cellulare e del contenuto di umidità [2].

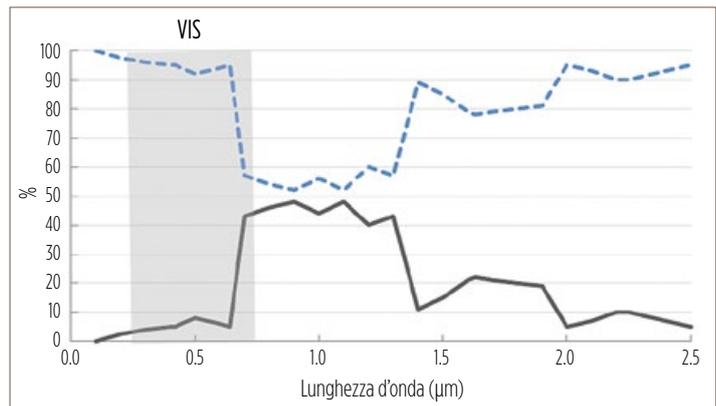
La figura 1 mostra la firma spettrale ottenuta con spettro-radiometro, studiando il comportamento in laboratorio delle foglie. La figura mostra il comportamento generale delle foglie, che si caratterizzano per:

a) bassa riflettanza nella sezione visibile dello spettro (Vis) dovuta all'effetto della diversa pigmentazione; queste hanno un valore di picco nella sezione corrispondente al verde

FIG. 1
SPETTRO-
RADIOMETRO

Riflettività e trasmissione dello spettro elettromagnetico nelle foglie. Lo spazio tra le due curve corrisponde all'energia che viene assorbita [2].

— Riflettanza
- - - Trasmittanza



b) una regione ad alta riflettività su Irc (che segue la sezione Vis), dovuta alla bassa assorbenza della clorofilla nella struttura interna della foglia
c) la porzione dove il calo è dato dalla riflettività, vicina a 1,4 µm, è dovuta alla presenza di acqua sulle foglie (più alta è l'umidità, più bassa è la riflettanza) che dovrebbe far risaltare l'importanza dell'infrarosso ad onda corta (Swir) per la stima del contenuto di acqua di vegetazione.

È importante notare che questi comportamenti non si verificano in maniera isolata in natura. Il monitoraggio per tale ragione non riguarda una singola foglia, ma masse (superfici) di vegetazione. Si dovrebbe anche ricordare che vi è una incidenza legata a come i sensori osservano gli ecosistemi terrestri, soprattutto per determinati fattori come la geometria della copertura vegetale, gli angoli di osservazione e le caratteristiche del suolo. In questo senso, il rapporto terreno-foglia è un parametro importante che influenza l'osservazione

del sensore, poiché è stimato sulla base dell'area di copertura del terreno verde. Nel caso di foreste densamente popolate il rapporto terreno-foglia perde di significato e diventa più rilevante l'uso di Lai, che riguarda direttamente l'area di copertura del suolo [2]. L'utilizzo di questi sistemi, che permettono di rilevare le caratteristiche della copertura vegetale attraverso l'analisi dello spettro elettromagnetico, consente di determinare lo stato della vegetazione o la presenza di altri fattori (tipo aree interessate dal fuoco, attacchi parassitari a grande scala ecc.) che potrebbero interessare la superficie terrestre investigata.

Vincenzo Barone¹, Dafni Mora²

1. Dipartimento di Ingegneria civile (Dinci), Università della Calabria
vincenzo.barone@unical.it

2. Centro de investigaciones hidráulicas e hidrotécnicas (Cihh), Universidad Tecnológica de Panamá, dafni.mora@utp.ac.pa

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- [1] N. Gobron, M.M. Verstraete, "Index, Leaf Area," in *Assessment of the status of the development of the standards for the Terrestrial Essential Climate Variables*, 2009, vol. 10.
- [2] E. Chuvieco, *Teledetección Ambiental: La observación de la tierra desde el espacio*, España, Editorial Planeta, S.A., 2010.
- [3] G. Zheng, L.M. Moskal, "Retrieving leaf area index (LAI) using remote sensing: theories, methods and sensors", *Sensors*, vol. 9, no. 4, pp. 2719-2745, Apr. 2009.
- [4] T.M. Lillesand, R.W. Kiefer, J.W. Chipman, *Remote sensing and image interpretation*, John Wiley & Sons, 2008.
- [5] W. Turner, S. Spector, N. Gardiner, M. Fladeland, E. Sterling, M. Steininger, "Remote sensing for biodiversity science and conservation", *Trends in Ecology & Evolution*, vol. 18, no. 6, pp. 306-314, Jun. 2003.
- [6] S. Ochi, R. Shibasaki, S. Murai, "Modeling and assessment of NPP/crop productivity in Asia by GIS combined with remote sensing data", *IRRI*, Los baños, Philippines, 2000.
- [7] N. Aparicio, D. Villegas, J. Araus, J. Casadesus, C. Royo, "Relationship between growth traits and spectral vegetation indices in durum wheat", *Crop Sci*, 42:1547-1555, 2002.
- [8] W.B. Cohen, S.N. Goward, "Landsat's role in ecological applications of remote sensing", *BioScience*, vol. 54, no. 6, pp. 535-545, 2004.