

Telerilevamento della concentrazione di azoto fogliare in ecosistemi forestali litoranei

Elena Mezzini (*), Sabrina Raddi (**), Ivan Pippi (***), Federico Magnani (*)

(*) Università di Bologna, Facoltà di Agraria, DCA – Dipartimento di Colture Arboree, V.le Fanin, 46
40127 Bologna, tel. 051-2096466, fax 051-2096401, e-mail elena.mezzini2@unibo.it, federico.magnani@unibo.it

(**) Università degli Studi di Firenze, Facoltà di Agraria, DEISTAF - Dipartimento di Economia, Ingegneria,
Scienze e Tecnologie Agrarie e Forestali, Via S. Bonaventura, 13 – 50145 Firenze
tel. 055-3288653, fax 055-319179, e-mail sabrina.raddi@unifi.it

(***) CNR- IFAC – Istituto di Fisica Applicata, Via Madonna del Pero, 10 – 50019 Sesto Fiorentino (FI)
tel. 055-5226301, fax 055-5226201, e-mail I.Pippi@ifac.cnr.it

Riassunto

Lo studio qui presentato ha lo scopo di testare nuove metodologie per il rilevamento della concentrazione di azoto fogliare (N) a livello di copertura. In particolare sono state messe a confronto due tecniche differenti basate sul *remote sensing*: la prima basata sulle lunghezze d'onda dello SWIR (*Short Wave Infra-Red*) e la seconda sul NIR (*Near Infra-Red*). La possibilità di stimare la concentrazione fogliare di N dalla riflettanza nel NIR è stata dimostrata da recenti studi su foreste temperate e boreali (Ollinger et al., 2008; Hollinger et al., 2009) utilizzando immagini MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*), poco idonee all'alta variabilità spaziale del territorio italiano. Per ottenere dati SWIR è stato utilizzato un volo aereo MIVIS (*Multispectral Infrared and Visible Imaging Spectrometer*) effettuato nel giugno 2000 sull'area di studio del Parco Naturale di San Rossore, Pisa (Italia); mentre, per il NIR, si sono utilizzate immagini Landsat 7 ETM+ (*Enhanced Thematic Mapper Plus*) riprese nello stesso periodo ed interessanti la stessa zona. La riflettanza di copertura stimata da immagini telerilevate è stata poi messa in relazione a rilievi a terra eseguiti sempre nel giugno 2000.

Abstract

The aim of this study was to test new methodologies to determine the canopy nitrogen concentration. Two different remote sensing techniques have been compared, based on SWIR and NIR reflectance respectively. The possibility to detect foliar N concentration from NIR reflectance has been recently demonstrated for temperate and boreal forests (Ollinger et al., 2008; Hollinger et al., 2009) using MODIS imagery. This kind of satellite frame is not suited to high spatial variability as for Italian territory. Within San Rossore Reserve (Pisa, Italy) and for several forest ecosystems we have compared ground measurements of canopy nitrogen concentration (20-21 June 2000) with estimates obtained (i) by airborne hyperspectral MIVIS imagery in the SWIR region (2000 – 2500 nm; resolution 8 nm, 64 bands) and (ii) by NIR Landsat 7 ETM+ imagery, obtaining high correlation with both methodologies.

La concentrazione di azoto fogliare è un parametro chiave per lo studio dell'ecofisiologia e degli incrementi forestali. Tale grandezza riveste il ruolo di regolatore della fotosintesi e della respirazione fogliare; è inoltre correlata alle caratteristiche del suolo e della copertura forestale (Ollinger et al., 2002; Smith et al., 2002). Di particolare rilevanza è la correlazione esistente con la NPP (*Net Primary Production*; produttività primaria netta), a causa degli effetti della concentrazione fogliare di azoto (N) sull'efficienza d'utilizzo della luce. Anche le sue variazioni temporali e spaziali sono ricche d'informazioni in quanto dipendono oltre che dalle caratteristiche

stazionali, anche dagli elementi di disturbo, quali il cambiamento climatico, le deposizioni azotate o l'incremento di CO₂ atmosferica.

Il rilievo dell'azoto fogliare con tecniche distruttive è estremamente oneroso sia economicamente che in termini di tempo. Per tale motivo già da diversi decenni l'attenzione si è spostata verso metodologie basate sul *remote sensing*.

Tali tecniche utilizzano principalmente due aree dello spettro elettromagnetico: le bande dello SWIR e quelle del NIR. La prima tecnica è quella tradizionalmente utilizzata, ma è anche una delle più problematiche a causa della presenza delle buche di assorbimento dell'acqua, che possono generare una perdita o un mascheramento di dati, del basso segnale in queste regioni dello spettro e delle caratteristiche tecnologiche dei sensori impiegati. Più di recente, alcuni studi hanno suggerito la possibilità di stimare la concentrazione fogliare di azoto delle coperture vegetali dalla riflettanza delle chiome nel NIR (Ollinger et al. 2008). Questo sarebbe legato alla relazione esistente fra concentrazione di azoto e struttura fogliare, ed all'effetto di quest'ultima sulla riflettanza della foglia e delle coperture (Jacquemoud et al., 1996; Hollinger et al. 2009). Una conferma di tali relazioni aprirebbe nuove prospettive per il telerilevamento dell'azoto delle coperture vegetali.

In questo studio si sono messe a confronto queste due metodologie di stima nell'area del Parco Naturale di San Rossore, Pisa (Italia), una zona caratterizzata da clima mediterraneo e da un'elevata biodiversità con estesi boschi sia di conifere che di latifoglie; in particolare pini (*Pinus pinea*, *P. pinaster*), querceti misti a prevalenza di farnia (*Quercus robur*) con mescolanza di frassino meridionale, acero campestre (*Acer campestre*), carpino bianco (*Carpinus betulus*) e pioppo bianco (*Populus alba*), aree con una prolungata emersione invernale della falda occupate prevalentemente da frassino meridionale (*Fraxinus oxycarpa*) e ontano nero (*Alnus glutinosa*).

La prima metodologia di stima ha utilizzato immagini rilevate da aereo con sensore iperspettrale MIVIS (costituito da 4 spettrometri 433 – 833 nm, 1150 – 1550 nm, 2000 – 2500 nm, 8200–12700 nm per un totale di 102 canali) che ha sorvolato l'area il 21 giugno 2000 ad una quota di 1500 m (con una risoluzione a terra di circa 1.5 m). Le immagini sono state registrate e corrette come già descritto altrove (Bernasconi et al., 2001; Bernasconi et al., 2002; Bernasconi et al., 2003). Nella stessa data in 12 aree a terra sono stati prelevati campioni fogliari dalla parte alta delle chiome (5 punti per ogni area, al centro e sui vertici di un quadrato con semi-diagonale di 30 m); per ogni campione è stata misurata in laboratorio la concentrazione fogliare di N oltre ad altri parametri fogliari, mentre i parametri di copertura sono stati rilevati direttamente in campo. Il confronto fra dati a terra e immagini iperspettrali ha permesso di costruire indici normalizzati ottimali ($R^2 = 0.99$) per la stima della concentrazione di N, basati sulla riflettanza intorno a 2100-2300 nm (Bernasconi et al. 2002), in buon accordo con simili studi in campo e in laboratorio. Le immagini iperspettrali MIVIS sono state quindi utilizzate per la mappatura della concentrazione fogliare di N ad alta risoluzione spaziale (circa 1.5 m) nella Riserva di San Rossore.

In un precedente studio (Bernasconi et al., 2002), una buona correlazione ($R^2 = 0.97$) era già stata trovata fra la concentrazione fogliare di N e la riflettanza di copertura nella regione del NIR derivata da immagini MIVIS, utilizzando un indice normalizzato basato sulla riflettanza a 820 e a 540 nm.

L'analisi di Ollinger et al. (2008) faceva riferimento alla riflettanza di copertura fra 841-876 nm, così come derivata da immagini MODIS; ma nel nostro caso la variabilità spaziale nella scena è estremamente elevata, e quindi la risoluzione MODIS (500 m) non permetterebbe di distinguere le diverse coperture e la variabilità presente al loro interno. E' questa peraltro una caratteristica comune a molte situazioni italiane ed europee. Per tale ragione si sono utilizzate immagini acquisite dal satellite Landsat 7, con sensore ETM+ (*Enhanced Thematic Mapper Plus*) la cui risoluzione a terra per il NIR (30 m) consentiva una maggiore possibilità di discriminazione dell'area. I dati ottenuti da questo sensore, che ha sorvolato l'area a bordo del Landsat 7 il 20 giugno 2000, sono costituiti da 8 bande: le 6 bande del visibile e dell'infrarosso (banda 1 centrata a 483 nm, banda 2 centrata a 560 nm, banda 3 centrata a 662 nm, banda 4 centrata a 835 nm, banda 5 centrata a 1648 nm, banda 7 centrata a 2206 nm) hanno una risoluzione a terra di circa 30 m, le bande del termico

(banda 6H e 6L centrate a 11335 nm) di circa 60 metri (dal febbraio 2010 passate a 30 m) e quella del pancromatico di circa 15 m.

Le immagini Landsat sono state corrette radiometricamente (da *digital number* a riflettanza TOC – *Top of canopy*) e da queste sono stati estrapolati i valori medi di riflettanza nella banda 4 (centrata intorno a 835 nm) per le particelle forestali nelle quali ricadevano i punti di campionamento a terra. Le particelle forestali, così come desunte dal piano di gestione della Riserva, sono aree di superficie di 1-2 ha omogenee dal punto di vista vegetale e stazionale; una simile analisi, basata su regioni di interesse (ROI) di 90 m di lato centrate sul punto di rilievo a terra, ha fornito risultati molto simili. Al fine di evitare possibili errori legati alla variabilità spaziale della copertura forestale, il dato medio di riflettanza NIR è stato messo poi in relazione tanto con la concentrazione fogliare di N direttamente rilevata a terra, quanto col valore medio stimato per la stessa superficie di riferimento dalle mappe di N derivate da immagini MIVIS.

Il confronto con entrambi i riferimenti è risultato oltremodo incoraggiante. La riflettanza media ETM+ nella banda 4 (835 nm), è risultata fortemente e significativamente correlata alla concentrazione fogliare di N rilevata a terra (Fig. 1; $R^2 = 0.93$).

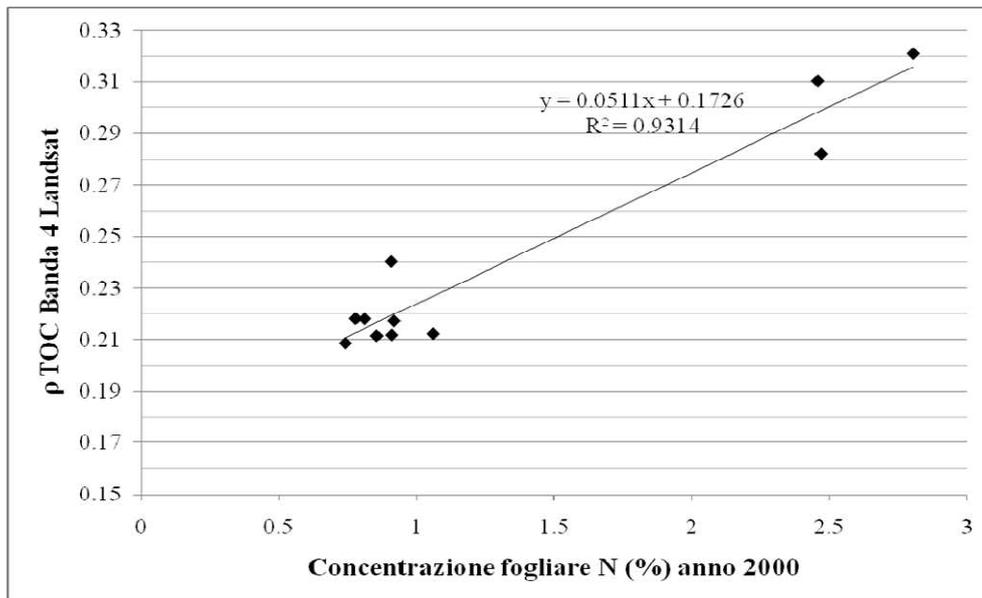


Fig. 1 – Grafico di regressione tra la concentrazione di azoto fogliare (N, %) ottenuta dai campionamenti a terra e la riflettanza TOC ottenuta dalla banda 4 (NIR) del Landsat ETM+.

Risultati del tutto analoghi si sono ottenuti nel confronto con i valori medi stimati da immagini MIVIS per l'intera particella ($R^2 = 0.91$). Risulta peraltro evidente dalla Fig. 1, come i dati vengano suddivisi in due regioni, un'area con concentrazione di N fogliare ridotta ed una a concentrazione più elevata. I dati del geo-database del piano di assestamento ricollegano tale disposizione rispettivamente all'insieme della particelle a conifere e quello delle particelle a latifoglie, tipicamente caratterizzate da valori più elevati tanto di riflettanza NIR quanto di concentrazione fogliare di N. Rimane pertanto la possibilità che la correlazione stimata sia frutto di un'associazione fortuita piuttosto che di un nesso causale (ma si veda per questo Hollinger et al. 2009).

In realtà uno studio che è in fase di completamento, basato sull'intera superficie della Riserva, fa ben sperare: sembra infatti dimostrare che all'interno dell'intera area del parco ci sia una notevole variabilità e che tale variabilità permetta l'eliminazione di questa netta suddivisione dei dati.

Il lavoro, in ogni caso, fa parte di un progetto di ricerca ancora in corso, nel quale si prevede oltre all'analisi di tutta l'area del parco, anche l'incremento della numerosità dei campioni a terra per fornire una maggiore significatività a tali risultati.

Bibliografia

Bernasconi L., Pippi I., Raddi S. (2001), "Predicting stand structure in mediterranean conifer and hardwoods by airborne hyperspectral imaging spectrometers", *Collecting and analyzing information for sustainable forest management and biodiversity monitoring with special reference to Mediterranean ecosystems*,

Bernasconi L., Pippi I., Raddi S. (2002), "Vegetation and Biochemical Indices Retrieved from Airborne MIVIS and VIRS Hyperspectral Images of Conifer and Hardwood Forest Stands", *Lidar Remote Sensing for Industry and Environment Monitoring II*, 4484: 253-261.

Bernasconi L., Pippi I., Raddi S. (2003), "Comparisons among normalized vegetation indices for the determination on LAI", *Remote Sensing for Agriculture, Ecosystems, and Hydrology IV*, 4879: 145-153.

Hollinger D. Y., Ollinger S. V., Richardson A. D., Meyers T. P., Dail D. B., Martin M. E., Scott N. A., Arkebauer T. J., Baldocchi D. D., Clark K. L., Curtis P. S., Davis K. J., Desai A. R., Dragoni D., Goulden M. L., Gu L., Katul G. G., Pallardy S. G., Paw K. T., Schmid H. P., Stoy P. C., Suyker A. E., Verma S. B. (2009), "Albedo estimates for land surface models and support for a new paradigm based on foliage nitrogen concentration", *Global Change Biology*, 16: 696-710.

Jacquemoud S., Ustin S. L., Verdebout J., Schmuck G., Andreoli G., Hosgood B. (1996), "Estimating leaf biochemistry using the PROSPECT leaf optical properties model", *Remote Sensing of Environment*, 56: 194-202.

Ollinger S. V., Richardson A. D., Martin M. E., Hollinger D. Y., Frohking S., Reich P. B., Plourde L. C., Katul G. G., Munger J. W., Oren R., Smith M. L., Paw U K. T., Bolstad P. V., Cook B. D., Day M. C., Martin T. A., Monson R. K., Schmid H. P. (2008), "Canopy nitrogen, carbon assimilation, and albedo in temperate and boreal forests: Functional relations and potential climate feedbacks", *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA*, 105: 19335-19340.

Ollinger S. V., Smith M. L., Martin M. E., Hallett R. A., Goodale C. L., Aber J. D. (2002), "Regional variation in foliar chemistry and N cycling among forests of diverse history and composition", *Ecology*, 83: 339-355.

Smith M. L., Ollinger S. V., Martin M. E., Aber J. D., Hallett R. A., Goodale C. L. (2002), "Direct estimation of aboveground forest productivity through hyperspectral remote sensing of canopy nitrogen", *Ecological Applications*, 12: 1286-1302.