

RECENTI SVILUPPI NELLA MODELLISTICA DELL'EMISSIONE DI FORESTE

Paolo Ferrazzoli¹, Leila Guerriero¹, Jean-Pierre Wigneron²

¹Università Tor Vergata, Dipartimento di Informatica, Sistemi e Produzione
V. del Politecnico 1, 00133 Roma (ferrazzoli@disp.uniroma2.it)

² INRA/Bioclimatologie, 33883 Villenave d'Ornon Cedex, Francia

Abstract

Ultimamente, lo studio dell'interazione tra le microonde e la vegetazione arborea sta riscuotendo notevole interesse. Tra gli obiettivi applicativi, oltre ad un'eventuale stima della biomassa boschiva, è prevista quella del contenuto d'acqua del suolo coperto da foreste.

Questa memoria presenta uno studio di simulazione dell'emissività delle aree boschive effettuato mediante il modello elettromagnetico sviluppato a Tor Vergata. Saranno presentati i risultati teorici in banda L, separando i contributi di emissione provenienti dai diversi elementi che compongono la foresta. Sarà così evidenziato che il principale contributo di emissione proviene dai rami, mentre i tronchi, pur rappresentando la percentuale maggiore di biomassa, producono effetti minori.

INTRODUZIONE

Futuri programmi spaziali, come il Soil Moisture and Ocean Salinity (SMOS) [1] recentemente approvato dall'Agenzia Spaziale Europea, prevedono l'utilizzo di radiometri operanti nelle frequenze basse dello spettro delle microonde, in particolare in banda L (1.4 GHz). Tali programmi hanno come obiettivo il monitoraggio a larga scala di variabili superficiali, come l'umidità del suolo. Tuttavia, poiché un'estesa frazione delle immagini radiometriche sarà costituita da foreste, si rende necessaria un'accurata caratterizzazione dell'emissività delle foreste. Inoltre, grazie al miglioramento della risoluzione spaziale, in un prossimo futuro i radiometri potrebbero essere usati per il monitoraggio delle foreste stesse e della loro biomassa.

Negli ultimi anni, abbiamo assistito ad un crescente interesse verso la radiometria delle foreste sia nell'ambito delle attività sperimentali che in quelle teoriche. Nel 1994, il radiometro PORTOS ha effettuato delle misure a multifrequenza sorvolando la foresta di Landes in Francia [2]; nel 1999 sono state condotte delle osservazioni passive a multifrequenza [3] su alcuni boschi di decidue in Toscana.

Anche dal punto di vista teorico sono stati fatti progressi significativi [4], [5]. In particolare, il modello sviluppato a Tor Vergata, e descritto in [4], è stato affinato: al software usato per rappresentare gli effetti dei singoli elementi sono state unite routines che descrivono le proprietà geometriche e biofisiche del mezzo boschivo sulla base di intense campagne sperimentali che hanno avuto luogo nei siti di Landes e Duke (USA).

Inoltre, il modello di Tor Vergata è stato incluso in una modellistica complessiva della superficie terrestre, usata a sua volta, nell'ambito di uno studio promosso dall'Agenzia Spaziale Europea, per simulare le prestazioni del futuro satellite SMOS. A tal scopo, i risultati delle simulazioni sono stati utilizzati per calibrare i parametri

“albedo” e “spessore ottico” di un semplice modello basato su una versione di ordine zero della teoria del trasferimento radiativo.

Scopo di questa memoria è quello di esporre i risultati ottenuti con la versione più aggiornata del modello sviluppato a Tor Vergata. Tali risultati riguardano il calcolo dell'emissività totale e delle proprietà dei singoli componenti. Inoltre, verrà mostrato come una corretta descrizione dell'emissione da foreste richieda un modello completo a scattering multipli. Tuttavia, è utilizzabile anche il modello semplificato, purché l'albedo e lo spessore ottico siano definiti come parametri “equivalenti” e calcolati a partire dalle simulazioni del modello a scattering multipli.

LE SIMULAZIONI

Il modello di Tor Vergata è in grado di simulare il coefficiente di backscattering e l'emissività delle foreste in un ampio intervallo di frequenza nello spettro delle microonde, e in base ad una dettagliata descrizione della struttura degli alberi (quale altezza e diametro dei tronchi, densità degli alberi, dimensioni dei rami, loro orientazione, numero e contenuto d'acqua, etc.). I più recenti risultati sono stati ottenuti sfruttando le equazioni allometriche che sono state sviluppate in seguito ad intense campagne di misure a terra nei siti di Landes e Duke [2], [6]. Le misure radiometriche acquisite a Landes sono state utilizzate per validare il modello in banda C, dimostrando un accordo tra dati sperimentali e teorici sia nel caso di alberi giovani che anziani [7].

Sempre utilizzando le relazioni allometriche che collegano tutti i parametri arborei all'età della pianta, sono state simulate le prestazioni di un radiometro in banda L per diversi siti boschivi, e sono stati messi in evidenza i contributi di emissione dovuti ai singoli componenti della pianta.

L'emissività in banda L presenta un andamento crescente in funzione dell'età raggiungendo un valore di saturazione al di sopra di circa 30 anni. Analizzando i singoli contributi si osserva che il contributo più significativo alla trasmissività e all'emissione proviene dai rami, mentre i tronchi e gli aghi forniscono un contributo minoritario. A questo proposito abbiamo calcolato la sezione trasversa d'estinzione e la densità dei rami e dei tronchi, che sono riportate in fig. 1 in scala logaritmica. La sezione trasversa di estinzione dei tronchi è molto più alta di quella dei rami (circa due ordini di grandezza), mentre la densità dei rami è circa tre ordini di grandezza più grande di quella dei tronchi. Quando questi due parametri si combinano per fornire l'attenuazione complessiva e l'emissione, il contributo proveniente dai rami diventa dominante.

Un'importante conseguenza di questo risultato è che i tronchi, pur rappresentando la principale percentuale di biomassa (più dell'80%), contribuiscono in maniera minore all'attenuazione e all'emissività boschiva.

IL MODELLO SEMPLIFICATO

Il modello di Tor Vergata si basa sulla disponibilità di una dettagliata descrizione della foresta in osservazione; il che è possibile solo su aree di dimensioni limitate. Al contrario, i futuri radiometri satellitari, con risoluzioni di circa 40 km, effettueranno delle osservazioni a larga scala. Per sfruttare le potenzialità di questi sistemi, sono utili quei modelli che stabiliscono delle semplici relazioni tra le misure radiometriche

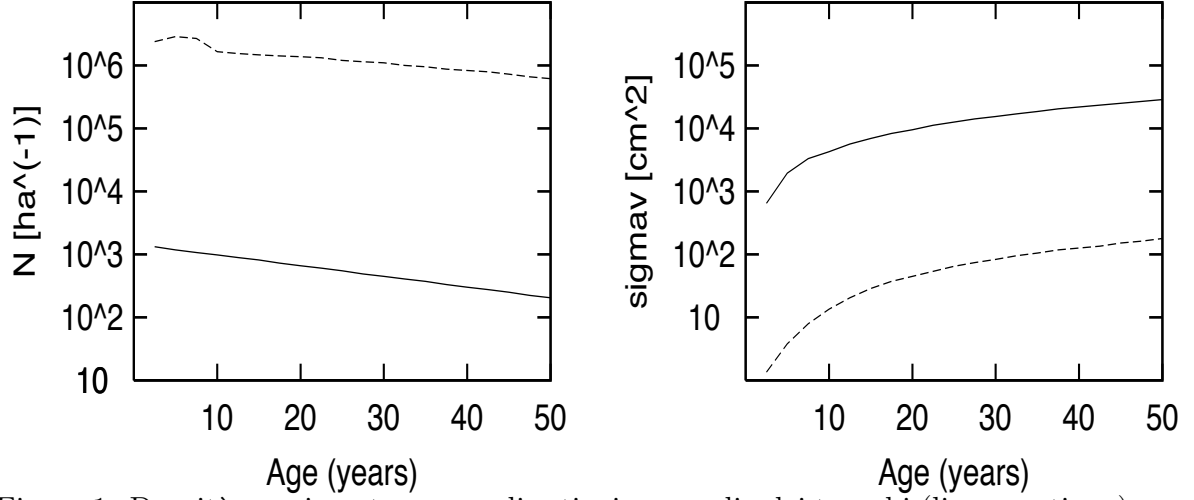


Figure 1: Densità e sezione trasversa di estinzione media dei tronchi (linee continue) e dei rami (linee tratteggiate) in funzione dell'età della foresta.

e i parametri che caratterizzano la superficie terrestre, quali umidità del suolo e spessore ottico della vegetazione. Ad esempio, i modelli di trasferimento radiativo di ordine zero, come quello formulato in [8], rendono possibile un immediato processo di inversione.

Tuttavia, l'applicazione diretta di un modello basato sull'albedo e lo spessore ottico non è possibile nel caso delle foreste, a causa della presenza degli scattering multipli. È necessario, infatti, definire dei parametri equivalenti e calibrati per mezzo di un modello a scattering multipli come quello di Tor Vergata.

La soluzione di ordine zero della teoria del trasferimento radiativo è valida quando lo scattering è trascurabile, e fornisce l'emissività di una superficie ricoperta da vegetazione come:

$$e = (1 + T\Gamma_s)(1 - T)(1 - \omega) + (1 - \Gamma_s)T \quad (1)$$

dove Γ_s è la riflettività del suolo, T è la trasmissività che è legata allo spessore ottico della vegetazione τ tramite $T = \exp(-\frac{\tau}{\cos\theta})$, con θ l'angolo di osservazione. ω è l'albedo di singolo scattering della vegetazione, definita come il rapporto tra il coefficiente di scattering totale σ_s ed il coefficiente d'estinzione $\sigma_e = \sigma_s + \sigma_a$, dove σ_a è il coefficiente d'assorbimento. Quindi:

$$\omega = \frac{\sigma_s}{\sigma_e} = 1 - \frac{\sigma_a}{\sigma_e} \quad (2)$$

I parametri equivalenti ω_{eq} e τ_{eq} sono stati ricavati applicando una procedura di minimizzazione dell'errore:

- Sono stati simulati con il modello di Tor Vergata i valori di emissività e_1 per 30 casi diversi (in polarizzazione, angolo di osservazione e contenuto d'acqua del suolo);
- Per gli stessi 30 casi sono stati calcolati i valori di emissività e_2 applicando il modello di ordine zero dell'eq. 1.

- ω_{eq} e τ_{eq} sono stati ricavati minimizzando l'espressione

$$\sum_{i=1}^N \sqrt{(e_{1i} - e_{2i})^2} \quad (3)$$

I valori di ω_{eq} così trovati variano tra 0 e 0.2 per le foreste giovani e dipendono dall'orientazione dei rami, mentre per le foreste più vecchie $0.1 < \omega_{eq} < 0.15$.

Per quanto riguarda lo spessore ottico abbiamo verificato che τ_{eq} è legato alla biomassa WC_B dei rami dalla seguente relazione:

$$\tau_{eq} = a + b \cdot WC_B \quad (4)$$

con $a = 0.095$, $b = 0.29$, ed un coefficiente di correlazione $R^2 = 0.97$.

REFERENZE

- [1] Y.H. Kerr, P. Waldteufel, J.-P. Wigneron, J.-M. Martinuzzi, J. Font, and M. Berger, "Soil moisture retrieval from space: the Soil Moisture and Ocean Salinity (SMOS) mission:", *IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing*, Vol. 39, pp. 1729–1735, 2001.
- [2] J.-P. Wigneron, D. Guyon, J.-C. Calvet, G. Courier and N. Bruguier, "Monitoring coniferous forest characteristics using a multifrequency (5-90 GHz) microwave radiometer", *Remote Sens. Environ.*, vol. 60, pp. 299–310, 1997.
- [3] G. Macelloni, S. Paloscia, P. Pampaloni, and R. Ruisi, "Airborne multifrequency L- to Ka-band radiometric measurements over forests", *IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing*, Vol. 39, pp. 2507-2513, 2000.
- [4] P. Ferrazzoli and L. Guerriero, "Passive microwave remote sensing of forests: A model investigation", *IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing*, vol. 34, pp. 433–443, 1996.
- [5] M.A. Karam, "A physical model for microwave radiometry of vegetation", *IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing*, vol. 35, pp. 1045–1058, 1997.
- [6] E.S. Kasischke, N.L. Christensen and E.M. Haney, "Modeling of geometric properties of loblolly pine tree stand characteristics for use in radar backscatter studies", *IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing*, vol. 32, pp. 800–822, 1994.
- [7] P. Ferrazzoli, L. Guerriero and J.-P. Wigneron, "Simulating microwave emission of forests in view of future satellite applications, *Proceedings of the 8th International Symposium Physical measurements & signatures in remote sensing*, pp.539–548, 2001. (NL), pp. 401–409, 1994.
- [8] J.-P. Wigneron, A. Chanzy, J.-C. Calvet and N. Bruguier, "A simple algorithm to retrieve soil moisture and vegetation biomass using passive microwave measurements over crop fields, *Remote Sens. Environ.*, vol. 51, pp.331–341, 1995.