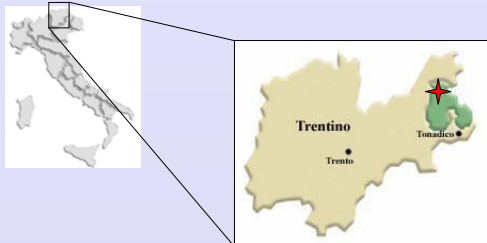


Giorgio VACCHIANO<sup>1\*</sup>, Pietro PANZACCHI<sup>2</sup>, Giustino TONON<sup>3</sup>, Renzo MOTTA<sup>4</sup>

1 Dipartimento AGROSELVITER, Università degli Studi di Torino, Grugliasco (TO), e-mail: giorgio.vacchiano@unito.it  
2 Dipartimento Colture Arboree, Università degli Studi di Bologna, Bologna, e-mail: ppanzacchi@agrsci.unibo.it  
3 Dipartimento Colture Arboree, Università degli Studi di Bologna, Bologna, e-mail: gtonon@agrsci.unibo.it  
4 Dipartimento AGROSELVITER, Università degli Studi di Torino, Grugliasco (TO), e-mail: renzo.motta@unito.it



## Introduzione

L'interazione tra copertura forestale e luce incidente ha un importante ruolo nei confronti di diverse dinamiche ecologiche, quali la rinnovazione naturale, la successione, la produttività, l'abbondanza e diversità delle specie componenti i piani di vegetazione inferiori (Bazzaz e Harper, 1979; Canham et al., 1990; Monsi e Saeki, 2005). La fotografia emisferica è una tecnica largamente utilizzata per stimare le caratteristiche spettrali di un popolamento e la distribuzione spazio-temporale della radiazione sotto copertura (Rich, 1990; Leblanc et al., 2005).

I progressi delle tecnologie di ripresa digitale consentono la realizzazione di metodologie di acquisizione e analisi dell'immagine rapide, efficienti e poco costose. Tuttavia, la letteratura fornisce informazioni contrastanti circa le prestazioni dei sistemi di ripresa digitale in presenza di strutture e condizioni di illuminazione differenti (Englund et al., 2000; Frazer et al., 2001; Hale e Edwards, 2002). Questa ricerca ha l'obiettivo di comparare i parametri spettrali di una pecceta montana delle Alpi Sudorientali ottenuti mediante tecniche di ripresa digitali e tradizionali e di verificare la loro omogeneità in corrispondenza di una struttura coetaneiforme e di una disetaneiforme. I parametri indagati sono la *canopy openness*, il LAI e la trasmittanza da parte delle chiome della luce incidente totale, diretta e diffusa nello spettro della radiazione fotosinteticamente attiva (PAR).

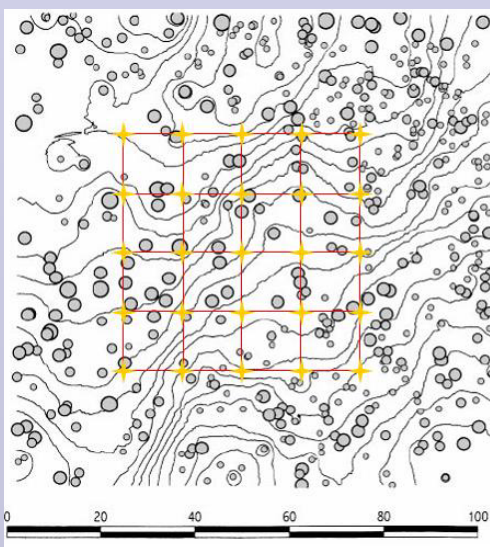


Fig. 1 - Schema di campionamento (modificato da Motta et al., 2002).

Solar constant	1367 kWm <sup>-2</sup>	Thekaekara and Drummond, 1979
Cloudiness Index	0.43	Stazione meteorologica BZ
Spectral fraction	0.457	Papaoiannou et al., 1996
Beam fraction	0.33	Frazer et al., 1999
Clear sky transmiss. coeff.	0.62	Donatelli e Campbell, 1999

Tab. 2 - Parametri utilizzati per l'analisi e fonti bibliografiche.

In letteratura, l'analisi da immagini digitali ha fornito generalmente valori più alti di *canopy openness*, ma ha mostrato carenze se utilizzata sotto coperture molto dense (Frazer et al., 2001). La presente ricerca ha evidenziato come sotto una copertura coetanea matura le due tecniche di ripresa forniscano risultati comparabili; sono necessarie ulteriori ricerche per correlare le prestazioni dei due sistemi a stime indipendenti dell'intensità luminosa sotto copertura.

## Materiali e metodi

L'area di studio è rappresentata da due aree di studio permanenti (100x100m) individuate all'interno della riserva forestale integrale della Valbona (46°18'N, 11°45'E) nel Parco Naturale Paneveggio - Pale di S. Martino (TN) (Motta et al., 1999). La specie dominante (100%) è l'abete rosso (*Picea abies* Karst.).

	Quota [m]	Pendenza [°]	Esposizione	Piante/ha [DBH >7.5 cm]	Struttura
Sito 1	1815	25	NW	557	Coetaneiforme
Sito 2	1895	20	NW	477	Disetaneiforme

Tab. 1 - Dati di sintesi delle aree di studio.

Lo schema di campionamento è rappresentato da un sub-plot di 50x50m di lato, posto al centro dell'area di studio e suddiviso in una griglia di 25 punti distanti 12.5m uno dall'altro. In corrispondenza di ciascun punto è stata scattata una fotografia emisferica tradizionale (Nikon® F75 - ottica Sigma® 8mm F4, pellicola Kodak Tmax® b/n 400 ASA) immediatamente seguita da una digitale (Nikon Coolpix 5000® - ottica Nikon® FC-E8 F2.6, definizione 300dpi, file TIFF b/n non compresso di 2560x1920 pixel). La fotocamera è stata sempre mantenuta orizzontale con l'ausilio di un cavalletto e orientata verso Nord, ad un'altezza di 80 cm dal suolo. Le fotografie sono state scattate in condizioni di cielo uniformemente coperto, prima dell'alba o dopo il tramonto; ad ogni scatto l'esposizione è stata calcolata in base alla luminosità del cielo mediante esposimetro spot esterno.

In seguito alla digitalizzazione dei negativi (definizione 2200dpi, file TIFF non compresso di 5825x3946 pixel) tutte le immagini sono state processate con un apposito filtro software (contrasto +100%) e analizzate con il software Gap Light Analyzer (GLA; Frazer et al., 1999). Il modello di distribuzione luminosa utilizzato è lo UOC (*Uniform Overcast Sky*; Monsi e Saeki, 1953); nella fase di *thresholding*, per ogni immagine è stato assunto come valore di grigio discriminante tra oggetto e sfondo quello associato alla minima frequenza nell'istogramma della scala di grigi.

Per ogni immagine è stato calcolato il valore della *canopy openness* (totale e in fasce di 10° di ampiezza dallo zenit all'orizzonte), il LAI effettivo (Chen et al., 1991), stimato in base ai 4/5 dell'area disponibile, l'intensità assoluta della radiazione incidente totale, diretta e diffusa [mol·m<sup>-2</sup>·g<sup>-1</sup>], l'intensità assoluta e relativa della radiazione trasmessa totale, diretta e diffusa. I valori sono riferiti all'intera stagione vegetativa (dal 1 maggio al 30 settembre; Tranquillini, 1979).

L'associazione lineare tra output tradizionale e digitale è stata valutata su coppie di variabili omogenee mediante il coefficiente R di Pearson. Le differenze tra i valori medi di ciascuna variabile derivante da ripresa tradizionale e digitale sono state sottoposte a un test t per campioni accoppiati. Le analisi sono state condotte su tutto il campione e per ciascuno dei due siti, con l'obiettivo di verificare eventuali trend dovuti alla diversa struttura dei popolamenti. Infine è stato esaminato e sottoposto ad ANOVA univariata il rapporto tra output digitale e ottico per ciascuna delle variabili in oggetto e in ciascuno dei siti in esame.

## Risultati

La *canopy openness* varia nei due siti dal 2.62% al 41.58% quando calcolata da immagini tradizionali; i valori medi calcolati dalle immagini digitali sono inferiori del 22.5% a quelli da negativo. Le due strutture esaminate hanno un effetto opposto: nel popolamento coetaneo i valori maggiori sono riportati dall'analisi degli scatti digitali (valori medi: 5.96% e 5.34% rispettivamente), mentre nel popolamento disetaneo avviene il contrario (13.97% e 20.20%). Di conseguenza, il LAI (compreso tra 0.75 e 5.61 come risulta dalle immagini su pellicola) assume un andamento opposto, con valori medi superiori del 3.8% nel caso delle fotografie digitali, mentre la PAR<sub>tot</sub> trasmessa (compresa tra l'1% e il 70% di quella incidente, pari a 22.01 mol·m<sup>-2</sup>·g<sup>-1</sup>) è maggiore se elaborata a partire da immagini tradizionali (19.25% della PAR incidente in media, contro il 16.02% medio ottenuto dalle foto digitali).

Se si considerano tutti i siti le coppie di variabili mostrano un R di Pearson sempre maggiore di 0.92 (P<0.01); le correlazioni sono più forti nel popolamento a struttura stratificata (*canopy openness*: R<sub>strat</sub> = 0.995, R<sub>coet</sub> = 0.753; LAI: R<sub>strat</sub> = 0.956, R<sub>coet</sub> = 0.485, P<0.05). Tuttavia, il *paired-t test* condotto su tutti i siti e nei due popolamenti separatamente conferma che le differenze tra le coppie di variabili considerate non possono essere ricondotte al caso, ma sono dovute alla diversa tecnica di ripresa (P<0.01 per 9 variabili su 10).

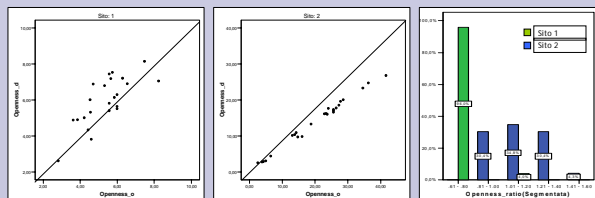


Fig. 2 - Correlazione tra *canopy openness* (tradizionale) e *canopy openness* (digitale) nei due siti.

Fig. 3 - Distribuzione del rapporto tra output ottico e digitale nella *canopy openness* in funzione dell'angolo allo zenit (valori medi).

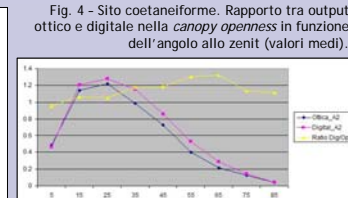


Fig. 4 - Sito coetaneiforme. Rapporto tra output ottico e digitale nella *canopy openness* in funzione dell'angolo allo zenit (valori medi).

## Discussione

Sebbene gli output siano ben correlati tra di loro, l'analisi dei dati mostra la tendenza delle immagini digitali a produrre stime di trasmittanza significativamente minori rispetto alle immagini tradizionali; il fenomeno si verifica in modo più regolare ed accentuato in presenza di struttura stratificata. Grazie alla sensibilità dei sensori CCD oggi in commercio (5.4 megapixel effettivi), la ripresa digitale potrebbe in effetti in grado di catturare più fedelmente le variazioni di luce su piccola scala. Tuttavia, non disponendo di misure indipendenti per valutare quale sia la tecnica più efficace, qui è stato solamente possibile minimizzare le potenziali fonti di errore, uniformando le condizioni di ripresa (orientamento della fotocamera, condizioni del cielo, esposizione) e di analisi dell'immagine (digitalizzazione, *thresholding*, parametri del modello di illuminazione).