

## Sperimentazione di un indice volumetrico per la stima speditiva dello stock di carbonio della vegetazione del sottobosco

Chirici G\*, Oriani A, Tognetti R, Garfi V, Chiavetta U, Lasserre B, Marchetti M

*EcoGeoFor - Laboratorio di Ecologia e Geomatica Forestale, Dipartimento di Scienze e Tecnologie per l'Ambiente e il Territorio, Università degli Studi del Molise, Contrada Fonte Lappone snc, I-86090 Pesche (IS - Italy) - \*Corresponding Author: Gherardo Chirici (gherardo.chirici@unimol.it).*

**Abstract:** *Experimental testing of a volume index as a fast method for estimating carbon stock in the understorey vegetation. The biomass of understorey vegetation has an important role in several forest ecosystem processes, though it is not frequently included in forest inventory programs, which are commonly focused on the tree component. The objective of the study is to test a fast procedure for obtaining an accurate estimation of three components of the aboveground understorey vegetation: herbaceous, bush, regeneration. For such a purpose a Volume Index has been calculated on the basis of the product between the percent coverage of vegetation and the average height of the three different components of understorey vegetation. The index has been quantified in twenty clusters of four squared plots 1 m<sup>2</sup> wide; clusters were located in two study areas in the northern part of Molise Region (southeastern Italy). For each plot, the dry biomass has been collected and weighted, and then transformed in carbon stock. This study presents the field protocol and the achieved results in terms of measured aboveground understorey carbon stock in six different forest and pre-forest types (the average carbon stock was 1.19 t C ha<sup>-1</sup>) and correlation between Volume Index and carbon stock (the Pearson's correlation index was 0.8 on 309 field observations).*

**Keywords:** Biomass, Carbon, Understorey, Volume index, Molise, Italy

*Received: Aug 17, 2008; Accepted: Feb 03, 2009*

**Citation:** Chirici G, Oriani A, Tognetti R, Garfi V, Chiavetta U, Lasserre B, Marchetti M, 2009. Sperimentazione di un indice volumetrico per la stima speditiva dello stock di carbonio della vegetazione del sottobosco. *Forest@* 6: 154-160 [online: 2009-05-19] URL: <http://www.sisef.it/forest@/>.

### Introduzione

La concentrazione di gas serra nell'atmosfera sta aumentando, influenzando potenzialmente il clima e di conseguenza economia ed ambiente globali (McCarthy et al. 2001). Le foreste rimuovono CO<sub>2</sub> dall'atmosfera ed immagazzinano questo gas serra nella sostanza organica. Ciò ha promosso l'interesse a sviluppare inventari del carbonio nelle foreste, chiamate a stabilizzare o ridurre i livelli di carbonio atmosferico. A livello globale, infatti, il carbonio dei sistemi terrestri è per 2/3 sequestrato nelle componenti degli ecosistemi forestali che includono alberi, piante del sottobosco, lettiera, necromassa, e carbonio organico nel suolo. Le foreste, infatti, sono ecosistemi complessi caratterizzati da strati verticali distinti con proprietà funzionali diverse (Misson et al. 2007). La

potenziale capacità d'accumulo di carbonio negli ecosistemi forestali è influenzata principalmente dall'età e dalla percentuale di copertura del soprassuolo, oltre che dal clima, dalla fertilità del suolo, dalla struttura e dalla composizione specifica del popolamento (Porté et al. 2005).

La biomassa del sottobosco ha un ruolo importante in molti processi degli ecosistemi forestali, quali i cicli biogeochimici, per il rapido *turnover* della lettiera dovuta all'elevata frazione facilmente decomponibile. La quantità di carbonio immagazzinata nella vegetazione del sottobosco rappresenta il 4-13% dello *stock* totale di un soprassuolo forestale (Muukkonen & Mäkipää 2006). Ciò nonostante non sempre questa quota considerevole viene considerata nei bilanci della produttività primaria netta. Il sottobosco pro-

duce il 4-30% del totale della lettiera annua in una foresta (Hughes 1970), e il suo ruolo nella pedogenesi e nell'accumulo di carbonio è cruciale nelle prime fasi della successione ecologica che conseguono a fattori di disturbo, quali il taglio o il passaggio del fuoco. La vegetazione del sottobosco dovrebbe essere, quindi, ponderatamente inclusa nei modelli di previsione dei flussi di carbonio (Magnani et al. 2005), essendo una componente importante del ciclo degli elementi.

Il *pool* di carbonio del sottobosco include la biomassa del soprassuolo delle piante legnose, oltre alla componente non legnosa. La biomassa del sottobosco è stata spesso derivata dalle caratteristiche della vegetazione arborea (Alaback 1986, Jonasson 1988, Yarie & Mead 1989, Chiarucci et al. 1999, Röttgermann et al. 2000). La biomassa degli arbusti è stata anche stimata considerando il volume di spazio occupato (Armand et al. 1993) oppure tramite la relazione esistente con la percentuale di copertura e con l'altezza delle piante (Muukkonen et al. 2006, Porté et al. 2005). Per migliorare la rappresentatività di questo approccio possono essere usati dati inventariali (Smith et al. 2004). Il volume legnoso, infatti, è una variabile rappresentativa calcolata che può essere espressa per unità di superficie. In questa forma, il volume serve come *input* per la stima della biomassa; la massa di carbonio nel legno può essere ragionevolmente considerata pari al 50% della biomassa anidra.

Lo sviluppo del sottobosco negli ecosistemi fore-

stali dipende dalla densità e dallo stadio di sviluppo del popolamento. Il ruolo ecologico del sottobosco diviene particolarmente importante dopo disturbi naturali ed antropici, quali incendi o tagli, diventando la principale componente vegetale una volta rimosso il soprassuolo principale. Tuttavia, dati sullo sviluppo della biomassa del sottobosco nei vari stadi successionali in tipologie forestali di tipo Mediterraneo non sono diffusi e metodi per la stima della biomassa del sottobosco su vasta scala non sono disponibili. Lo scopo del presente studio è quindi di: (i) misurare lo *stock* di carbonio e la biomassa della componente epigea della vegetazione del sottobosco in sei differenti tipologie forestali in Molise; (ii) determinare le relazioni esistenti tra *stock* di carbonio e biomassa del sottobosco e le caratteristiche della componente arborea della vegetazione; e (iii) testare un Indice Volumetrico (IV) per la stima speditiva di tali variabili.

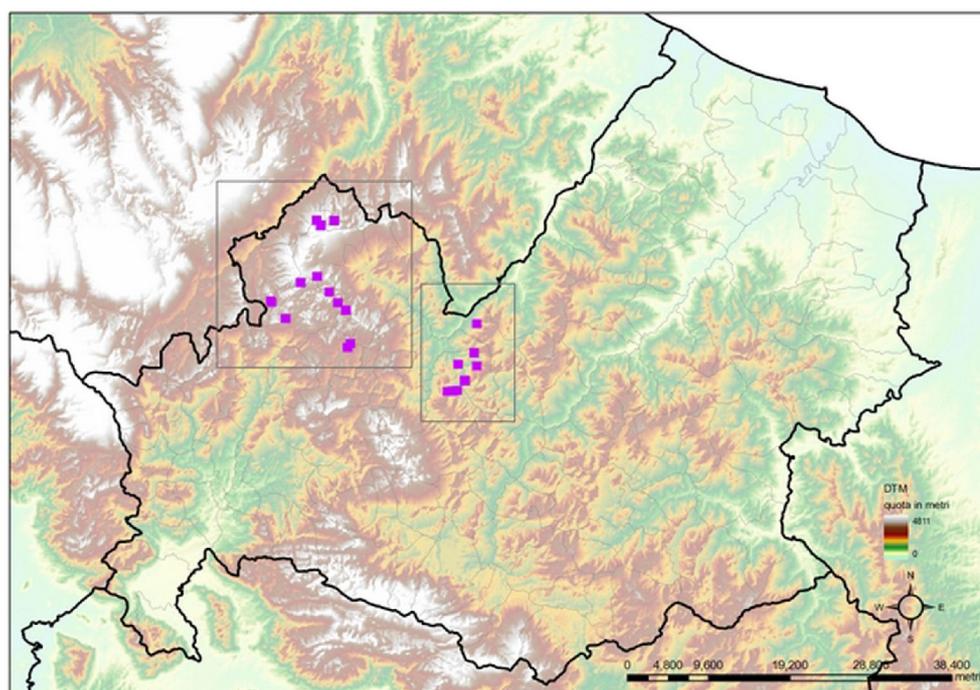
## Materiali e metodi

### Area di studio

L'area di studio ha interessato due Comunità Montane del Molise con diverse caratteristiche climatiche (Fig. 1).

La prima, la zona dell'Alto Molise, con termotipo montano-subalpino ha una temperatura media annua di 9.8 °C che risulta inferiore a 10 °C per circa 6 mesi, mentre per 2 mesi l'anno è inferiore a 0 °C. Le precipitazioni raggiungono valori annui di 1040 mm

**Fig. 1** - Localizzazione delle aree oggetto di studio sulla base di un modello digitale del terreno con i limiti amministrativi regionali e comunali. I punti di campionamento nel quadrato più a sinistra sono quelli inerenti la Comunità Montana Alto Molise, quelli nel rettangolo a destra si riferiscono alla Comunità Montana Trigno Medio Biferno.





**Fig. 2** - Esempio di configurazione spaziale dei *subplot* all'interno di un *plot* circolare di 20 m di raggio sulla base di ortofoto digitale con risoluzione geometrica nominale di 1 m.

con piogge distribuite in prevalenza nei mesi invernali ed abbondanti precipitazioni nevose, soprattutto sui rilievi principali intorno a 1000-1400 metri. Manca un periodo d'aridità estiva. La seconda area localizzata nella valle del Trigno ha un'altitudine massima di 783 m ed è caratterizzata da un termotipo collinare. Le precipitazioni annue sono di 858 mm con piogge estive abbondanti (131 mm) e presenza di 2 mesi d'aridità nel periodo estivo. Le temperature medie annue sono inferiori a 10 °C per 5-6 mesi con minime del mese più freddo comprese fra 0.4 - 2.1 °C.

All'interno delle suddette aree sono state individuate sei tipologie forestali e pre-forestali prevalenti: l'abetina pura autoctona a prevalenza di *Abies alba* Mill. misto a *Fagus sylvatica* L., la faggeta submontana a prevalenza di *Fagus sylvatica* L. in alcuni punti misto a *Taxus baccata* L., la cerreta mesofila a prevalenza di *Quercus cerris* L., il querceto termofilo a prevalenza di *Quercus pubescens* Willd. misto a *Fraxinus ornus* L., *Carpinus betulus* L. e *Laburnum anagyroides* Medik., il pioppo-saliceto ripariale a *Populus alba* L. e *Salix alba* L., *Alnus glutinosa* L. e *Populus nigra* L., l'arbusteto a ginestra secondario con *Spartium junceum* L., *Prunus spinosa* L. e *Cytisus scoparium* L..

#### Stima della biomassa

Nell'estate del 2006 è stata compiuta una campagna di rilievo a terra in 20 punti selezionati tra le unità campionarie dell'Inventario Forestale, ricadenti nelle Comunità Montane oggetto di studio, e nell'ambito del Progetto Operativo Difesa Suolo (PO-DIS) del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del

Territorio e del Mare. Il disegno inventariale è sistematico non allineato con un reticolo chilometrico quadrato di 1 km di lato.

Per ognuno dei 20 punti individuati sono stati materializzati quattro *subplot* quadrati di 1 m<sup>2</sup>. I *subplot* sono posizionati casualmente all'interno di un'area circolare di 20 m di raggio (*plot*), uno per ognuno dei quadranti dell'area circolare (Fig. 2). Sono stati quindi individuati potenzialmente 80 *subplot* di 1 m<sup>2</sup>.

In ogni *subplot* è stata stimata visivamente l'altezza media ed il grado di copertura delle tre componenti della vegetazione del sottobosco indagate. Nella componente arbustiva sono stati considerati tutti gli arbusti, nella componente erbacea sono state incluse anche le briofite e le pteridofite mentre per il novellame sono state considerate le specie arboree con altezza inferiore a 1.3 m.

Per ogni *subplot*, e separatamente per ognuna delle tre componenti della vegetazione, è stato quindi calcolato l'Indice Volumetrico (IV) come prodotto tra il grado di copertura percentuale sull'unità di superficie di 1 m<sup>2</sup> e l'altezza media in metri. L'IV è quindi espresso in m<sup>3</sup>.

Le tre componenti della vegetazione epigea nei *subplot* indagati sono state quindi separatamente prelevate ed essiccate al fine di ottenere la massa anidra. Successivamente i campioni essiccati sono stati pesati ed i dati ottenuti sono stati convertiti in tonnellate di materia secca (biomassa) per ettaro (t MS ha<sup>-1</sup>) e poi in tonnellate di carbonio per ettaro (t C ha<sup>-1</sup>) considerando un tenore medio in C rispetto alla biomassa di 50 g C g<sup>-1</sup> (Tonolli & Salvagni 2007). Complessivamente nei venti punti indagati sono stati prelevati

309 campioni di biomassa.

I dati rilevati nei diversi subplot sono stati aggregati per ognuno dei 20 *plot* mediandone le misure.

Per i 12 punti indagati in Alto Molise erano inoltre disponibili informazioni dendrometriche rilevate nell'ambito del citato progetto PODIS che hanno permesso la stima della provvigione legnosa e, tramite fattori di espansione, dello *stock* di carbonio della componente arborea epigea.

## Risultati

Sulla base delle 309 osservazioni lo *stock* di carbonio del sottobosco a livello di *plot* è risultato in media pari a 1.19 t C ha<sup>-1</sup> variando tra un massimo di 3.36 ed un minimo di 0.11 (Tab. 1). In media lo *stock* di carbonio delle tre componenti della vegetazione del sottobosco è risultato più elevato negli arbusteti a ginestra secondari (2.42 t C ha<sup>-1</sup>) e più ridotto nelle faggete submontane e nelle abetine pure autoctone (rispettivamente 0.30 e 0.46 t C ha<sup>-1</sup>). Le cerrete mesofile, i querceti termofili ed i pioppo-saliceti ripariali hanno mostrato invece valori di *stock* intermedi (1.20, 1.36 e 1.61 t C ha<sup>-1</sup>, rispettivamente - Fig. 3).

Mediamente la componente arbustiva ha rappre-

sentato circa il 58% dello *stock* di carbonio del sottobosco, la componente erbacea il 38% e la rinnovazione il 14%. Nelle abetine pure autoctone e nelle faggete submontane la componente dominante è stata la rinnovazione (54 e 66% rispettivamente). Nei querceti termofili, nelle cerrete mesofile e negli arbusteti a ginestra secondari è stata, invece, la componente arbustiva a dominare (53, 51 e 66% rispettivamente), mentre nei pioppo-saliceti ripariali la componente erbacea (67%).

Per quanto è stato possibile osservare sui 12 punti in Alto Molise la componente dello *stock* di carbonio complessivo del sottobosco rispetto a quello complessivo della vegetazione epigea (arbustivo, erbaceo, rinnovazione e arboreo) è risultato piuttosto modesto (Tab. 1).

In media lo *stock* della componente del sottobosco è stato lo 0.38% del totale nelle abetine pure autoctone e lo 0.57% nelle faggete submontane, mentre sale al 5.9% nelle cerrete mesofile. È stata inoltre verificata una correlazione negativa statisticamente significativa tra la biomassa arborea e quella del sottobosco (coefficiente di correlazione di Spearman significativo per  $p < 0.01$  pari a -0.74).

**Tab. 1** - Stock di carbonio epigeo nei venti punti oggetto di studio. Tutti i valori sono in t C ha<sup>-1</sup>.

| ID | Tipo                           | Arbustivo |           | Erbaceo |           | Rinnovazione |           | Totale sottobosco | Arborea | Totale |
|----|--------------------------------|-----------|-----------|---------|-----------|--------------|-----------|-------------------|---------|--------|
|    |                                | media     | err. std. | media   | err. std. | media        | err. std. |                   |         |        |
| 1  | Abetine pure autoctone         | 0.043     | 0.013     | 0.064   | 0.019     | 0.006        | 0.002     | 0.112             | 156.30  | 156.41 |
| 2  | Abetine pure autoctone         | 0.139     | 0.023     | 0.131   | 0.027     | 0.393        | 0.186     | 0.663             | 95.30   | 95.96  |
| 3  | Faggete submontane             | 0.034     | 0.032     | 0.090   | 0.033     | 0.003        | 0.003     | 0.126             | 135.70  | 135.83 |
| 4  | Faggete submontane             | 0.054     | 0.028     | 0.081   | 0.043     | 0.276        | 0.099     | 0.411             | 38.70   | 39.11  |
| 5  | Faggete submontane             | 0.026     | 0.025     | 0.054   | 0.020     | 0.001        | 0.001     | 0.081             | 136.50  | 136.58 |
| 6  | Faggete submontane             | 0.104     | 0.061     | 0.063   | 0.056     | 0.328        | 0.187     | 0.494             | 44.70   | 45.19  |
| 7  | Cerrete mesofile               | 0.258     | 0.244     | 0.535   | 0.142     | 0.015        | 0.012     | 0.808             | 10.40   | 11.21  |
| 8  | Cerrete mesofile               | 1.435     | 0.393     | 1.061   | 0.178     | 0.564        | 0.250     | 3.060             | 9.80    | 12.86  |
| 9  | Cerrete mesofile               | 1.066     | 0.134     | 0.018   | 0.018     | 0.064        | 0.019     | 1.148             | 84.90   | 86.05  |
| 10 | Cerrete mesofile               | 0.674     | 0.159     | 0.178   | 0.036     | 0.239        | 0.032     | 1.090             | 41.10   | 42.19  |
| 11 | Cerrete mesofile               | 0.126     | 0.076     | 0.014   | 0.014     | 0.063        | 0.038     | 0.203             | 331.80  | 332.00 |
| 12 | Cerrete mesofile               | 0.124     | 0.054     | 0.023   | 0.009     | 0.409        | 0.187     | 0.555             | 85.20   | 85.76  |
| 13 | Pioppo-saliceti ripariali      | 0.646     | 0.564     | 1.465   | 0.237     | 0.000        | -         | 2.111             | -       | -      |
| 14 | Pioppo-saliceti ripariali      | 0.373     | 0.085     | 0.940   | 0.152     | 0.108        | 0.030     | 1.421             | -       | -      |
| 15 | Querceti termofili             | 0.493     | 0.211     | 0.485   | 0.063     | 0.129        | 0.030     | 1.106             | -       | -      |
| 16 | Querceti termofili             | 1.960     | -         | 1.405   | 0.297     | 0.000        | -         | 3.365             | -       | -      |
| 17 | Querceti termofili             | 0.161     | 0.089     | 0.066   | 0.016     | 0.092        | 0.048     | 0.319             | -       | -      |
| 18 | Querceti termofili             | 0.998     | 0.324     | 0.350   | 0.162     | 0.008        | 0.006     | 1.356             | -       | -      |
| 19 | Arbusteti a ginestra secondari | 1.231     | 0.801     | 0.930   | 0.071     | 0.530        | -         | 2.691             | -       | -      |
| 20 | Arbusteti a ginestra secondari | 1.776     | 0.296     | 0.371   | 0.071     | 0.137        | 0.057     | 2.284             | -       | -      |

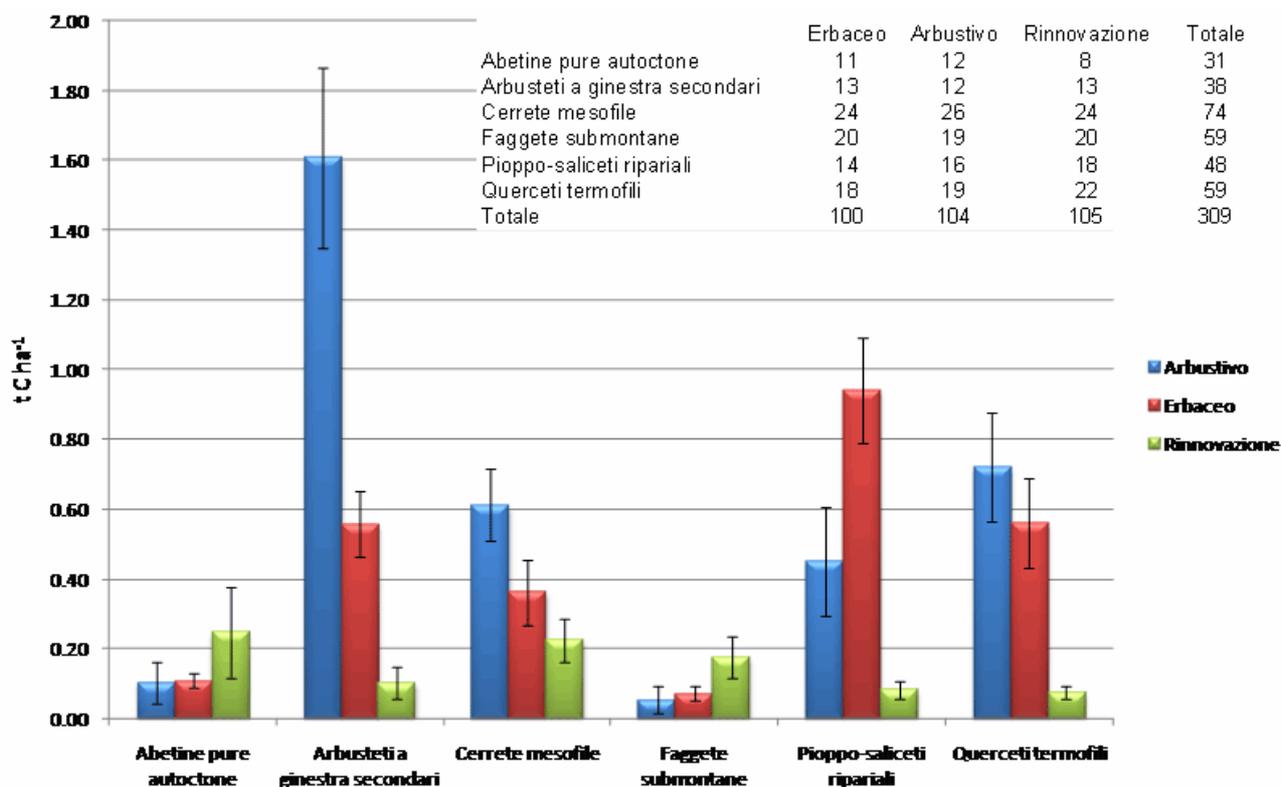


Fig. 3 - Valori medio ed errore standard dello stock di carbonio osservato nelle tre diverse componenti della vegetazione epigea e per le sei diverse tipologie forestali e pre-forestali indagate. Nella tabella in alto a destra il numero di osservazioni su cui si basano i valori riportati.

L'affidabilità dell'IV per la stima della biomassa epigea (e conseguentemente dello *stock* di carbonio) della vegetazione del sottobosco è stata valutata tramite analisi di regressione per le 309 osservazioni disponibili. L'indice di correlazione di Pearson  $r$  riferito a tutto il set di dati è stato pari a 0.82 (Fig. 4), variando tra 0.83 per la componente arbustiva e per la rinnovazione e 0.80 per quella erbacea.

### Discussioni e conclusioni

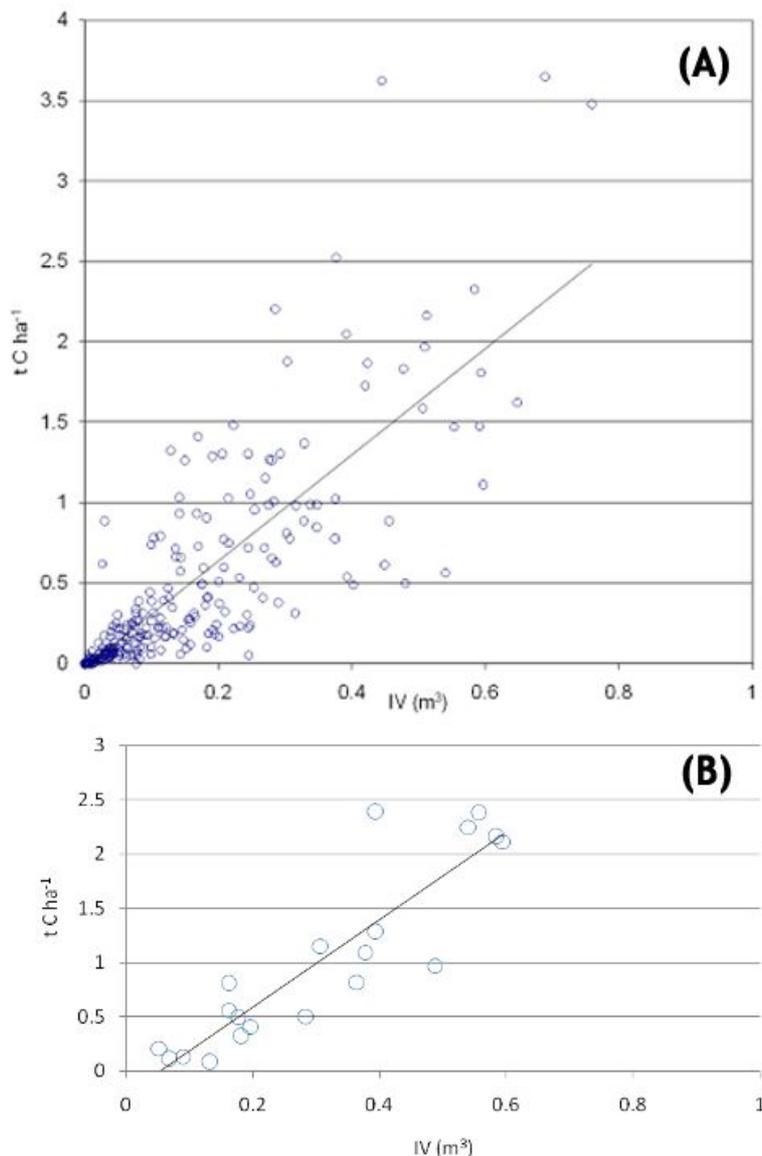
L'approccio metodologico presentato in questo lavoro ha implicato la stima dello *stock* di carbonio in due aree test del Molise.

Lo *stock* di carbonio del sottobosco nelle diverse tipologie forestali dipende da numerosi fattori stazionali e gestionali. Il sottobosco incide sul sequestro complessivo del carbonio epigeo principalmente nei siti in cui la copertura delle chiome è meno densa. Il valore medio di *stock* di carbonio del sottobosco, osservato nelle venti aree campionate, è risultato pari a 1.19 t di C per ettaro. Considerando le sole dodici aree per le quali era disponibile anche lo *stock* complessivo della vegetazione, la componente arbustiva rappresenta in media il 3.2% del totale complessivo

epigeo. I risultati sono, quindi, in linea con quanto riportato da Portè et al. (2005) in una pineta mediterranea (in media 1.75 t C ha<sup>-1</sup>). Dupouey et al. (2000) riporta uno *stock* medio di carbonio del sottobosco delle foreste francesi pari al 4% del totale (in media 2.5 t C ha<sup>-1</sup>). In ambiente boreale Muukkonen & Mäkipää (2006) riportano valori di biomassa in formazioni di Abete rosso di 5527 kg ha<sup>-1</sup> (pari a circa 2.7 t C ha<sup>-1</sup>) e di 1100 kg ha<sup>-1</sup> (circa 0.55 t C ha<sup>-1</sup>) in formazioni di latifoglie contro 0.39 t C ha<sup>-1</sup> rilevati nelle abetine di Abete bianco dell'Alto Molise e 1.1 t C ha<sup>-1</sup> rilevati in media nei siti di latifoglie molisani (faggete, querceti, e pioppo-saliceti).

Tonolli & Salvagni (2007) riportano per la Provincia di Trento uno *stock* della componente del sottobosco di 2.3 t C ha<sup>-1</sup> in faggeta (contro 0.30 t C ha<sup>-1</sup> rilevati in Molise), di 1.1 per le abetine (contro 0.39 in Molise) e di 1.9 per le latifoglie meso-termofile (contro 1.38 rilevato in media in Molise nei querceti e nei pioppo-saliceti).

L'IV si è dimostrato una *proxy variable* del contenuto in carbonio delle diverse componenti della vegetazione del sottobosco. L'IV è inoltre di semplice impiego operativo in campagna sebbene la sua valuta-



**Fig. 4** - Relazione tra Indice Volumetrico e stock di carbonio osservato nelle 309 osservazioni inerenti ai 20 *plot* indagati. Nel grafico (A) la relazione per le 309 osservazioni ( $R^2 = 0.681$ ); nel grafico (B) la relazione mediata per i 20 *plot* ( $R^2 = 0.798$ ).

zione abbia un certo margine di soggettività. I risultati della sperimentazione non permettono ancora di poter consigliare l'impiego operativo di questa tecnica per la limitata estensione dell'area indagata ed il ridotto numero di osservazioni. Nel caso in cui venisse confermata la possibilità di modellizzare il contenuto di carbonio attraverso l'IV, nell'ipotesi di voler realizzare un inventario del carbonio su ampie superfici, sarebbe quindi sufficiente il prelievo distruttivo della biomassa in un limitato numero di unità campionarie, nella gran parte delle rimanenti sarebbe invece sufficiente il rilievo speditivo e non distruttivo dell'IV. Inoltre, per la semplicità del metodo, potrebbe essere calcolato, su larga scala, il cambiamento netto dello stock di carbonio a carico del sottobosco, o flusso di carbonio, come differenza dello stock di carbonio fra due successive rilevazioni di-

viso l'intervallo temporale intercorrente, anche se la significatività delle stime dipende e dalla capacità di mantenere entro limiti accettabili la soggettività della valutazione in campagna dell'operatore (Smith et al. 2004).

Il rilievo della biomassa della componente di sottobosco nell'ambito dell'inventariazione delle risorse forestali è particolarmente importante in quanto questa può costituire un'aliquota apprezzabile dello stock complessivo di carbonio epigeo, specie in formazioni forestali aperte o pre-forestali. In tale ambito, l'utilizzo di un indice come quello IV sperimentato è consigliabile per ridurre al minimo il rilievo distruttivo della biomassa e quindi tempi e costi dell'inventario, pur mantenendo una elevata rigorosità delle stime prodotte.

## **Ringraziamenti**

Si ringrazia il Dr. Nicola Pavone dell'Assessorato Agricoltura, Foreste e Pesca Produttiva della Regione Molise per la cortese disponibilità dimostrata nel rendere disponibili gli strati informativi utilizzati nello studio. Si ringrazia un revisore anonimo per il commento critico ad una precedente versione del manoscritto.

## **Bibliografia**

- Alaback PB (1986). Biomass regression equations for understory plants in coastal Alaska: effects of species and sampling design on estimates. *Northwest Science* 60: 90-103.
- Armand D, Etienne M, Legrand C, Maréchal J & Valette JC (1993). Phytovolume, phytomasse et relations structurales chez quelques arbustes méditerranéens. *Annales des Sciences Forestières* 50: 79-89. - doi: 10.1051/forest:19930106
- Chiarucci A, Wilson JB, Anderson BJ & De Dominicis V (1999). Cover versus biomass as an estimate of species abundance: does it make a difference to the conclusions? *Journal of Vegetation Science* 10: 35-42.
- Dupouey J-L, Pignard G, Badeau V, Thimonier A, Dhôte J-F, Nepveu G, Bergès L, Augusto L, Belkacem S & Nys C (2000). Stocks et flux de carbone dans les forêts françaises. *Revue Forestiers Françaises* LII: 139-154.
- Hughes MK (1970). Ground vegetation and forest litter production. In: "Methods of study in soil ecology" (Philipson J ed). Proceedings of the symposium: "Ecology and Conservation", UNESCO, Paris (France), pp. 145-149.
- Jonasson S (1988). Evaluation of the point intercept method for the estimation of plant biomass. *Oikos* 52: 100-106. - doi: 10.2307/3565988
- Magnani F, Grassi G, Tonon G, Cantoni L, Ponti F, Vicinelli E, Boldreghini P, Nardino M, Georgiadis T, Facini O, Rossi F (2005). Quale ruolo per l'arboricoltura da legno italiana nel protocollo di Kyoto? Indicazioni da una Kyoto forest della pianura emiliana. *Forest@ 2* (4): 333-344. - doi: 10.3832/efor0320-0020333
- McCarthy BC, Small CJ, Rubino DL (2001). Composition, structure and dynamics of Dysart Woods, an old-growth mixed mesophytic forest of southeastern Ohio. *Forest Ecology and Management* 140: 193-213. - doi: 10.1016/S0378-1127(00)00280-2
- Misson L, Baldocchi DD, Black TA, Blanken PD, Brunet Y, Curiel Yuste J, Dorsey JR, Falk M, Granier A, Irvine MR, Jarosz N, Lamaud E, Launiainen S, Law BE, Longdoz B, Loustau D, McKay M, Paw KT, Vesala UT, Vicker D, Wilson KB, Goldstein AH (2007). Partitioning forest carbon fluxes with overstory and understory eddy-covariance measurements: A synthesis based on FLUXNET data. *Agricultural and Forest Meteorology* 144: 14-31. - doi: 10.1016/j.agrformet.2007.01.006
- Muukkonen P & Mäkipää R (2006). Empirical biomass models of understorey vegetation in boreal forest according to stand and site attributes. *Boreal Environment Research* 11: 355-369.
- Muukkonen P, Mäkipää R, Laiho R, Minkkinen K, Vasander H, Finér L (2006). Relationship between biomass and percentage cover in understorey vegetation of boreal coniferous forests. *Silva Fennica* 40: 231-245.
- Porté A, Dulhoste R, Lopez S, Bosc A, Meredieu C, Teissier du Cros R, Trichet P, Bernier F, Denis L (2005). Détermination de la biomasse aérienne du sous-bois de peuplements adultes de Pin maritime: contribution à la quantification des stocks de carbone forestier à l'aide d'indicateurs de couvert. *Carbon, Forêt, Bois* 97, VIII-eme Colloque ARBORA.
- Röttgermann M, Steinlein T, Beyschlag W, Dietz H (2000). Linear relationship between aboveground biomass and plant cover in low open herbaceous vegetation. *Journal of Vegetation Science* 11: 145-148. - doi: 10.2307/3236786
- Smith JE, Heath LS, Woodbry PB (2004). How to estimate forest carbon for large areas from inventory data. *Journal of Forestry* 102: 25-31.
- Tonolli S, Salvagni F (2007). InFoCarb Inventario Forestale del Carbonio della Provincia di Trento. Centro di Ecologia Alpina, Trento (Italia), pp. 1-176.
- Yarie J & Mead BR (1989). Biomass regression equations for determination of vertical structure of major understory species of Southeast Alaska. *Northwest Science* 63: 221-231.