

Accumulo di carbonio e produttività delle piantagioni legnose (*Kyoto forests*) del Friuli Venezia Giulia

Alberti G^{*(1)}, Marelli A⁽¹⁾, Piovesana D⁽¹⁾, Peressotti A⁽¹⁾, Zerbi G⁽¹⁾, Gottardo E⁽²⁾, Bidese F⁽²⁾

(1) Dipartimento di Scienze Agrarie ed Ambientali, Università di Udine, via delle Scienze 208, 33100 Udine; (2) Direzione Centrale risorse agricole, naturali, forestali e montagna della Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia. - *Corresponding author: Giorgio Alberti (alberti@uniud.it).

Abstract: Carbon stocks and productivity in forest plantations (*Kyoto forests*) in Friuli Venezia Giulia (Italy). Above-ground biomass, increment and carbon stock in a 36 forest plantations chronosequence of different ages were quantified. Results have been extrapolated in time using the Richard's model. Maximum carbon stock was measured in 23 years old plantations (37 tC ha⁻¹) and annual carbon stock rate occurs at 9 years (3.4 tC ha⁻¹ year⁻¹). After this age it decreases to reach 0.40 tC ha⁻¹ year⁻¹ at 23 years after plantation.

Keywords: Above-ground biomass, Carbon stocks, Plantations, Friuli Venezia Giulia, Allometry.

Received: Apr 12, 2006 - Accepted: Nov 15, 2006.

Citation: Alberti G, Marelli A, Piovesana D, Peressotti A, Zerbi G, Gottardo E, Bidese F, 2006. Accumulo di carbonio e produttività delle piantagioni legnose (*Kyoto forests*) del Friuli Venezia Giulia. *Forest@* 3 (4): 488-495. [online] URL: <http://www.sisef.it/>.

Introduzione

La Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia, attraverso l'applicazione della misura 06 del Reg. CEE 2080/92 e l'applicazione delle misure h ed i del Piano di Sviluppo Rurale 2000-2006 (PSR), ha favorito la realizzazione di impianti di specie legnose con scopi diversi su terreni agricoli e non agricoli nella pianura friulana. Gli obiettivi di tali misure sono i medesimi (produzione legnosa, assorbimento di CO₂ atmosferica, miglioramento ambientale e paesaggistico, diversificazione dei redditi agricoli, ecc.) se si eccettua il fine specifico della misura h del PSR di ridurre le produzioni agricole eccedenti. Come messo in evidenza da Siardi & Alberti (2005), le misure sopra citate hanno dato la possibilità di spaziare da un approccio di tipo marcatamente produttivo (pioppeti ed arboreti specializzati per la produzione legnosa) ad uno a maggiore valenza paesaggistico-ambientale (impianti misti di latifoglie).

Per quanto riguarda la fissazione della CO₂ atmosferica, le piantagioni così realizzate stanno immagazzinando carbonio nella loro componente epigea (Poulton et al. 2002), mentre non sono ancora completamente chiariti i meccanismi a livello del suolo. Infatti, i fattori più importanti che influenzano i cam-

biamenti del carbonio nel suolo sono il precedente uso del suolo, il clima e il tipo di vegetazione che si instaura dopo la conversione (Paul et al. 2002). Per esempio, Guo & Gifford (2002) riportano un aumento del carbonio nel suolo nel caso di passaggio da terreno agricolo a piantagione forestale, ma riportano una diminuzione nel passaggio da pascolo a bosco di neoformazione. Inoltre, per poter rilevare delle differenze statisticamente significative nello stock di carbonio a livello del suolo, è necessario attendere un periodo che in genere è dell'ordine di 5-10 anni (Post et al. 2001). Il protocollo di Kyoto all'articolo 3.3, prevede la possibilità per i Paesi firmatari di controbilanciare le loro emissioni antropiche attraverso attività di riforestazione o di afforestazione che favoriscano l'accumulo di CO₂ atmosferica sotto forma di biomassa vegetale o di sostanza organica nel suolo. Anderle et al. (2002) hanno stimato che nel periodo 1990-2000 siano stati realizzati circa 148.000 ha di impianti con finanziamento pubblico sull'intero territorio nazionale. Siardi & Alberti (2005), limitatamente al solo Friuli Venezia Giulia, hanno stimato una superficie interessata pari a 916 ha in seguito all'attuazione del Piano di Sviluppo Rurale nel solo periodo 2000-2002. Della superficie riportata in questo ultimo

Tab. 1 - Ettari realizzati per tipologia di intervento pubblico e tipologia di impianto (fonte: Direzione Centrale risorse agricole, naturali, forestali e montagna della Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia).

Misura	Tipologia imboschimento	ha
Reg.to 2080/92	Imboschimenti	2312
	Pioppeti	2044
	Totale	4356
	Arboreti	185
Reg.to 1257/99	Boschi misti	291
	Impianti biomasse	210
	Pioppeti	2241
	Totale	2927
L.r. 65/76	Pioppeti	1029
	Totale	1029
Nessun finanziamento	Pioppeti	1886
	Totale	1886
	Totale Complessivo	10198

studio, circa 139 ha sono rappresentati da impianti misti di latifoglie e 683 ha da pioppeti. I dati più aggiornati forniti dalla Direzione Centrale risorse agricole, naturali, forestali e montagna della Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia riguardo il livello di attuazione dei diversi regolamenti europei nonché delle leggi regionali sono riportati in Tab. 1. Da questi dati si evince che il ruolo delle piantagioni di pianura nel sequestro del carbonio non è quindi da trascurare, ma può rivestire un importante ruolo non solo a livello regionale ma anche nel bilancio nazionale del carbonio (Magnani et al. 2005).

Materiali e metodi

Descrizione dell'area di studio

La ricerca è stata condotta all'interno della pianura udinese (Fig. 1). L'unità di indagine considerata nel presente lavoro è coincisa con singole particelle catastali o insiemi di particelle contigue uniformi dal punto di vista delle caratteristiche del soprassuolo. La scelta del campione ha riguardato le misure 06 del Reg. 2080/92 e la sottomisura h.1 (impianto di boschi misti a ciclo lungo) del Piano di Sviluppo Rurale del Friuli Venezia Giulia. La scelta dei singoli impianti è stata effettuata utilizzando i database messi a disposizione dalla Direzione centrale risorse agricole, naturali, forestali e montagna del Friuli Venezia Giulia (Dir. For.) e seguendo i seguenti criteri:

- diversa età di impianto;
- rappresentazione uniforme delle diverse colloca-

zioni geografiche;

- adeguato numero di repliche per ciascuna età, estensione e collocazione geografica;
- accessibilità e disponibilità della documentazione.

In totale sono stati scelti 36 impianti per una superficie realizzata pari a 102.2 ha (Tab. 2). La maggior parte delle superfici che sono state destinate alla realizzazione degli imboschimenti dai singoli proprietari è rappresentata da seminativi o seminativi arborati (Zerbi et al. 2005).

La temperatura media annua nell'area di indagine è di 13.5°C e le precipitazioni variano da 1100 a 1500 mm anno⁻¹ a seconda della latitudine.

Determinazione dei punti di campionamento

Sulla base delle ortofoto del 2003 messe a disposizione dalla Dir. For., si è proceduto alla georeferenziazione dei singoli imboschimenti. Quindi è stata creata una maglia di punti di 50x50 m da sovrapporre all'intera area di indagine e, per quanto riguarda i punti ricadenti all'interno di ciascun imboschimento prescelto, ne sono stati scelti in maniera casuale 5 evitando le zone di margine in quanto caratterizzate in genere da accrescimenti delle piante diversi da quelli riscontrabili all'interno. In ogni punto dei cin-

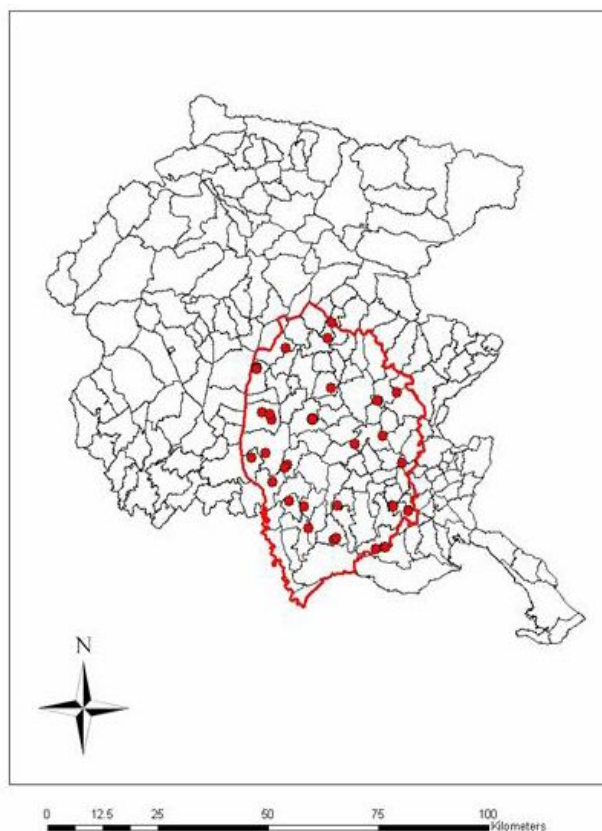


Fig. 1 - Area di studio. I punti indicano gli imboschimenti campionati.

que individuati, è stata realizzata un'area di saggio circolare con raggio di 10 m (superficie = 314 m²) al cui interno si è proceduto ai rilievi dendrometrici esposti di seguito. In totale sono stati campionati 1570 m² per ciascun impianto. Nel caso in cui all'interno della piantagione ricadessero meno di 5 punti, il rilievo è stato condotto sull'intera superficie scartando l'area di margine pari ad almeno 2 file dall'esterno dell'imboschimento.

Rilievi dendrometrici, stima della massa e degli incrementi

Il calcolo della capacità di ciascun imboschimento di sequestrare carbonio è stata quantificata attraverso una tecnica inventariale. Infatti, all'interno di ciascuna area di saggio, si è proceduto all'identificazione delle specie presenti, del numero posti pianta occupati, dell'origine dei fusti (seme, pollone, ricaccio), degli spazi pianta vuoti, al rilievo del diametro ad 1.30 m a partire da 2 cm, alla determinazione dell'altezza totale e dell'altezza della prima biforcazione o del primo ramo di grosse dimensioni ($d > 3$ cm) inserito sul fusto. Il volume legnoso (fusto fino a 3 cm in punta) e la massa legnosa (fusto e rami) sono state stimate attraverso l'utilizzo di equazioni specie-specifiche costruite su un campione di 78 piante distribuite nei diversi imboschimenti di età superiore ai 7 anni e scelte tra le specie più utilizzate negli impianti (23 frassini, 18 ciliegi, 19 noci e 18 aceri). Il modello perequativo utilizzato per la stima della biomassa (M in kg) è stato (eqn. 1):

$$M = aD^b$$

in cui D è il diametro ad 1.30 m (cm) e a e b sono coefficienti.

Il volume di ogni singola pianta è stato determinato attraverso la misura della circonferenza per sezioni di 0.50 m fino a 3 cm in punta e all'applicazione della formula dell'Heyer quindi è stato utilizzato il seguente modello perequativo (eqn. 2):

$$V = f \cdot \frac{\pi}{4} \cdot \left(\frac{D}{100} \right)^2 \cdot H = f G H$$

in cui f è il coefficiente di forma, D è il diametro ad 1.30 m (cm), H è l'altezza totale (m) ed G è l'area basimetrica (m²). I volumi misurati sono anche stati confrontati con quelli stimati attraverso la tavola di cubatura generica per fustaie transitorie di latifoglie del Friuli Venezia Giulia (Del Favero et al. 2000).

Per una trattazione dettagliata sulla metodologia utilizzata per la stima della biomassa e del volume delle singole piante nonché del metodo statistico per

la determinazione dei coefficienti della regressione si rimanda a Zianis & Mencuccini (2004) ed Alberti et al. (2005). Nel presente studio, al fine di evitare una sovrastima di M , è stata utilizzata un'interpolazione non-lineare (Paressol 1999, Zianis & Mencuccini, 2003). I coefficienti a e b dell'equazione 1 sono quindi stati stimati sulla base di una regressione non-lineare utilizzando un metodo iterativo Gauss-Newton modificato in STATA 7.0 (©STATA Corporation, College Station, Texas, USA) (Alberti et al. 2005).

La quantità di carbonio immagazzinata è stata ottenuta moltiplicando la massa legnosa per un coefficiente pari a 0.50. L'andamento del volume e del contenuto totale di carbonio nel tempo è stato descritto attraverso il modello logistico di Richard (Cooper 1983, Hooker & Compton 2003 - eqn. 3):

$$B = B_{max} [1 - \exp(-a \cdot t)]^b$$

in cui B è la variabile di interesse (volume in m³ ha⁻¹ o carbonio in tC ha⁻¹), B_{max} è il valore massimo di quella variabile, a e b sono coefficienti di scala, t è l'età dell'impianto. Sia B_{max} che a e b sono stati stimati usando un metodo iterativo Gauss-Newton modificato in STATA 7.0 (©STATA Corporation, College Station, Texas, USA).

Sulla base dell'equazione 3, sono state determinate le curve di sviluppo dell'incremento medio (i_m) e dell'incremento corrente (i_c) sia per il volume che per il carbonio definite dalle seguenti equazioni (eqn. 4 e eqn. 5):

$$i_m = B_t / t$$

$$i_c = (B_t - B_{t-1})$$

in cui B_t è il valore della variabile considerata (volume o carbonio) all'anno t e B_{t-1} è il valore della variabile considerata l'anno precedente.

Sul campione di 78 piante scelte in occasione degli abbattimenti per la costruzione delle relazioni allometriche, sono state prelevate le rotelle basali al fine di stimare l'età esatta di ciascuna pianta e gli accrescimenti diametrici. Ciascuna rotella è stata opportunamente levigata con mola a carta vetrata per facilitare l'identificazione degli anelli. Attraverso l'utilizzo di un microscopio 2x e il Dendrotab2003 è stata quindi effettuata la lettura degli incrementi secondo un'opportuna direzione radiale mediante il software *T-Tools*. A partire dai dati di incremento diametrico rilevato sulle rotelle prelevate dalle piante abbattute sono state effettuate le seguenti analisi:

- l'incremento diametrico dell'ultimo anno è stato espresso come media degli ultimi tre anni per minimizzare l'incidenza della variabilità del dato do-

Tab. 2 - Numero di impianti campionati e superficie per età di impianto.

Età di impianto	Numero imboschimenti	Superficie (ha)
3	1	0.90
5	4	8.24
6	11	61.36
7	7	17.93
8	3	1.83
10	8	11.89
23*	2	4.00
Totale	36	106.15

- vuta all'andamento climatico del singolo anno;
- al diametro attuale ($D_{1.30}$) è stato sottratto tale valore di incremento ottenendo il valore del diametro 1 anno prima ($D_{(t-1)}$);
 - utilizzando le equazioni allometriche elaborate è stata determinata la massa legnosa attuale per ogni pianta abbattuta (B_t) e quella corrispondente all'anno precedente ($B_{(t-1)}$);
 - sottraendo il valore di massa legnosa al tempo $t-1$ a quella al tempo t si è ottenuto il valore di incremento di massa legnosa nell'ultimo anno per ogni pianta (ΔB);
 - è stata determinata la relazione tra ΔB e $D_{1.30}$ attraverso l'utilizzo dell'equazione (eqn. 6):

$$\Delta B = a_1 D_{1.30}^{b_1}$$

in cui a e b sono coefficienti di scala.

L'applicazione dell'equazione (6) ai dati diametrici rilevati per ciascuno dei 34 imboschimenti censiti, ha consentito quindi la determinazione dell'incremento reale di biomassa ad ettaro nell'ultimo anno.

Risultati

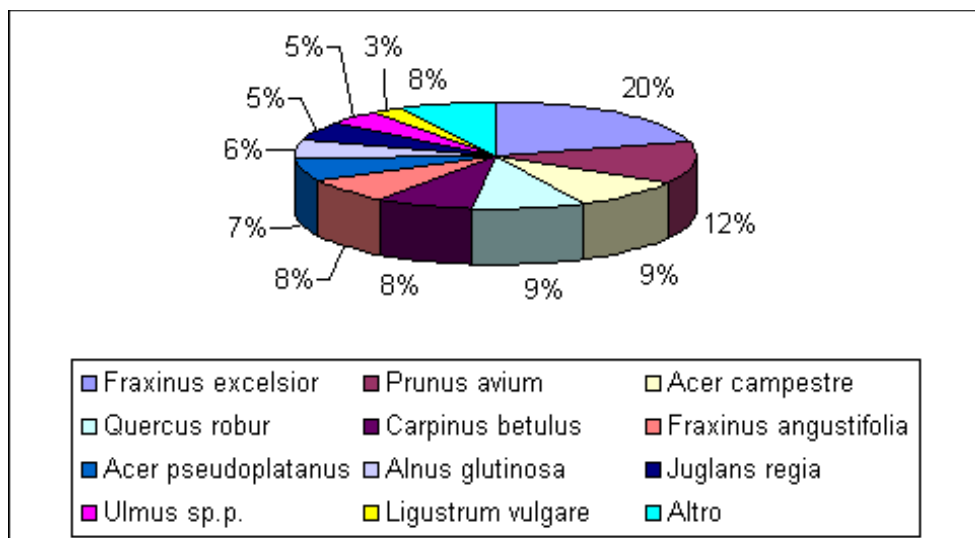
La densità media ad ettaro negli imboschimenti esaminati è pari a 1690 ± 29 ceppaie ha^{-1} . La composizione specifica è piuttosto varia anche se, mediamente, si ha una prevalenza del frassino maggiore (*Fraxinus excelsior* L.), del ciliegio (*Prunus avium* L.), dell'acero campestre (*Acer campestre* L.) e della farnia (*Quercus robur* L. - Fig. 2). L'altezza media delle piante messe a dimora varia linearmente ($R^2 = 0.93$, $P < 0.01$) con l'età dell'impianto andando da 3.2 m a 3 anni fino a 13.5 m a 22 anni e con un incremento medio di 54 cm $anno^{-1}$. Ad eccezione della quercia, le altre specie principali sopra citate hanno pressappoco la stessa altezza alle diverse età dall'impianto (Fig. 3). Allo stesso modo l'altezza di inserzione della chioma varia linearmente con l'altezza totale ($R^2 = 0.94$, $P < 0.01$). La maggiore mortalità è stata registrata a carico dell'ontano nero (*Alnus glutinosa*, 12%) e del platano (*Platanus* sp.p., 18%).

Per quanto riguarda le relazioni allometriche, in Tab. 3 sono riportati i valori dei coefficienti derivanti dai dati sperimentali: in tutti i casi, le relazioni trovate sono statisticamente significative ($P < 0.01$). Il modello esponenziale per la stima della biomassa

Tab. 3 - Coefficienti delle relazioni allometriche per specie.

Specie	Volume		Biomassa anidra		
	f	R^2	a	b	R^2
acero	0.41	0.82	0.05	2.67	0.97
ciliegio	0.57	0.97	0.12	2.33	0.98
frassino	0.74	0.98	0.11	2.49	0.98
noce	0.80	0.97	0.03	2.84	0.98
tutte le specie	0.60	0.92	0.09	2.50	0.92

Fig. 2 - Contributo medio percentuale delle diverse specie alla densità complessiva. La densità media totale di impianto è pari a 1690 ± 29 piante ha^{-1} .



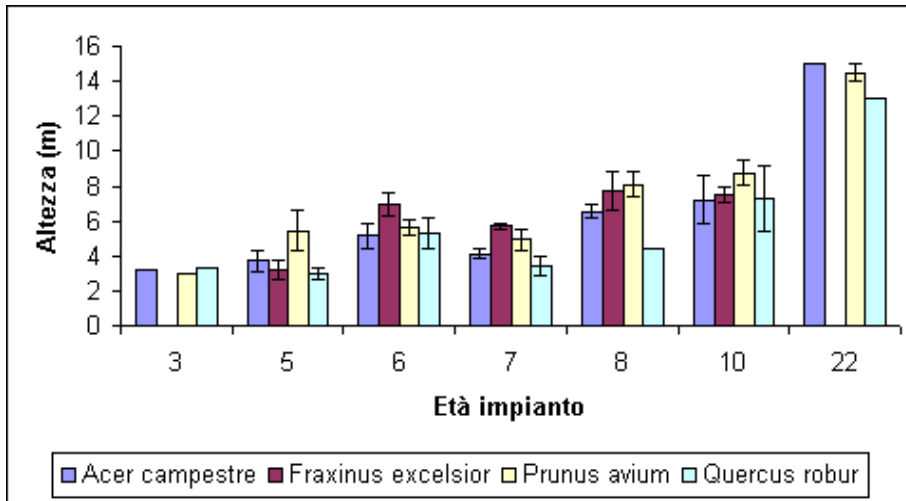


Fig. 3 - Sviluppo dell'altezza delle diverse specie con frequenza > 8%. Media \pm errore standard.

($B=aD^b$) è appropriato poiché la relazione tra il logaritmo del diametro e il logaritmo della biomassa variano linearmente (dati non riportati). Il volume legnoso varia da $3.3 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ a 3 anni di età fino a $138.0 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ a 23 anni (Fig. 5). Secondo il modello applicato, l'incremento medio annuo di volume è massimo a 14 anni ($7.6 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ anno}^{-1}$) mentre l'incremento corrente culmina a 9-10 anni ($13.5 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ anno}^{-1}$) per poi abbassarsi a $1.12 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ anno}^{-1}$ a 23 anni.

Gli incrementi correnti di biomassa legnosa anidra stimati attraverso l'applicazione del modello di Richard sono in genere superiori a quelli misurati nella realtà fatta eccezione per gli impianti più vecchi (Fig. 6). Questa differenza è probabilmente legata al fatto che per la stima degli incrementi reali sono state con-

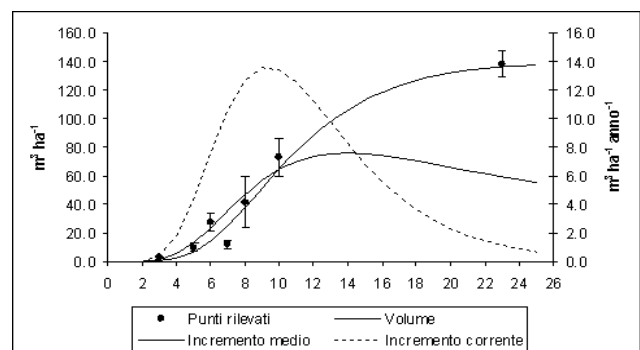


Fig. 5 - Curva di sviluppo del volume, incremento medio ed incremento corrente di volume. Le barre indicano l'errore standard. $V = 140 [1 - \exp(-0.25 \text{ età})]^{9.09}$ ($n = 7$, $R^2 = 0.97$, $P < 0.001$).

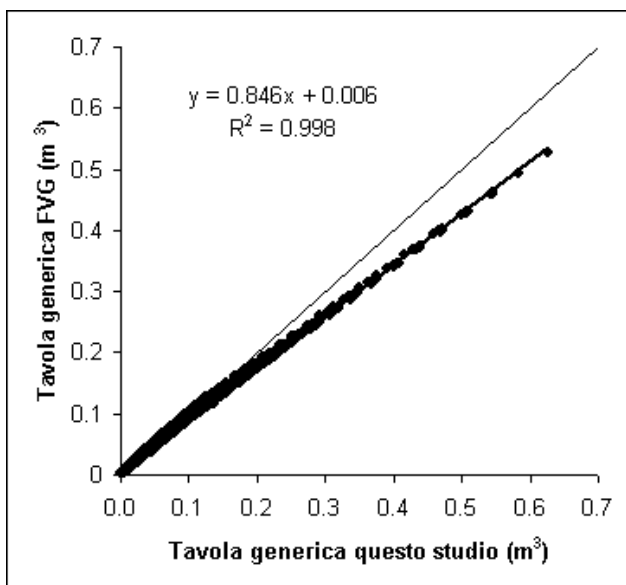


Fig. 4 - Confronto tra la tavola di cubatura realizzata nel presente studio per le piantagioni di pianura e quella riportata da Del Favero et al. (2000) per i boschi misti di latifoglie del Friuli Venezia Giulia.

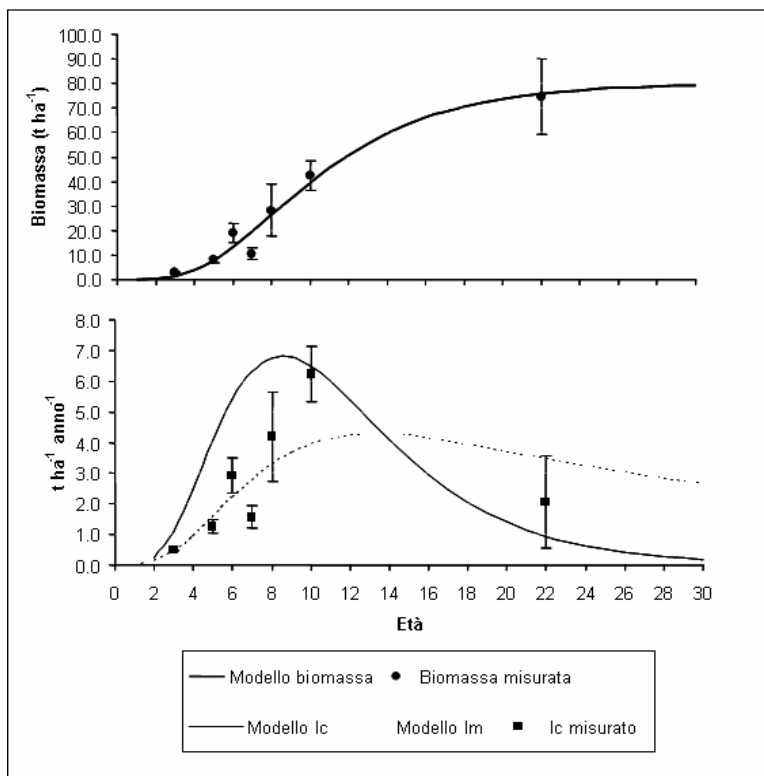
siderate in fase di abbattimento solo le specie principali (frassino, acero, ciliegio e noce) ed i dati sono stati estesi anche alle altre specie, mentre specie a più rapido accrescimento (per es., l'olmo siberiano) che, in alcune piantagioni, erano presenti in numero non indifferente, non sono state campionate e quindi se ne è sottostimato l'accrescimento.

In termini di carbonio, lo stock nella biomassa epigea (fusti e rami) varia da 1.5 a 37.3 tC ha^{-1} rispettivamente a 3 e 23 anni di età (Fig. 7). L'accumulo di carbonio è massimo a 9-10 anni ($3.4 \text{ tC ha}^{-1} \text{ anno}^{-1}$) per poi diminuire gradualmente fino a $0.4 \text{ tC ha}^{-1} \text{ anno}^{-1}$ a 23 anni.

Discussione e conclusioni

I parametri a e b delle relazioni allometriche per la stima della biomassa determinati con l'analisi non lineare, sono simili a quelli riportati da Ter-Mikaelian & Korzukhin (1997) per tutte le specie esaminate ed il coefficiente b è sempre compreso tra 2 e 3 (Zeide 1993). Confrontando la tavola di cubatura realizzata

Fig. 6 - Curva di sviluppo della biomassa in funzione dell'età di impianto (sopra - $B = 80 [1 - \exp(-0.21 \text{ età})]^{5.4}$, $R^2 = 0.97$, $P < 0.001$). Incremento corrente (I_c) e medio (I_m) derivanti dall'applicazione del modello di Richard e valori di incremento corrente misurati (I_c misurato - sotto). Le barre verticali indicano l'errore standard.



nel presente studio raggruppando tutte le specie con quella riportata da Del Favero et al. (2000) si può notare come quest'ultima sottostimi il volume unitario (-15%; Fig. 4) a causa delle differenti condizioni di accrescimento dovute al fatto che essa è stata costruita per boschi montani e non per impianti di pianura.

Il valore di incremento corrente di volume legnoso massimo è comparabile con il valore di 12 m³ ha⁻¹ anno⁻¹ riportato da Schober (1987) per boschi misti di farnia, frassino maggiore e rovere in Germania, ma è molto inferiore ai 42 m³ ha⁻¹ anno⁻¹ riportati per cloni di pioppo in Pianura Padana (Castellani 1982). Se si considera l'incremento medio annuo di volume le-

gnoso, quello massimo stimato nel presente studio (7.6 m³ ha⁻¹ anno⁻¹) è comparabile a quello riportato da Siardi (1998) per boschi misti autoctoni della bassa pianura friulana. La produttività è quindi piuttosto elevata anche se la culminazione dell'incremento avviene piuttosto precocemente probabilmente a causa dell'elevata densità di questi popolamenti che in nessun caso sono stati sottoposti ad interventi di diradamento o di utilizzazione.

I valori di incremento corrente di massa legnosa anidra derivanti dall'applicazione del modello di Richard e quelli derivanti da misure in campo mostrano lo stesso andamento e mettono in evidenza come,

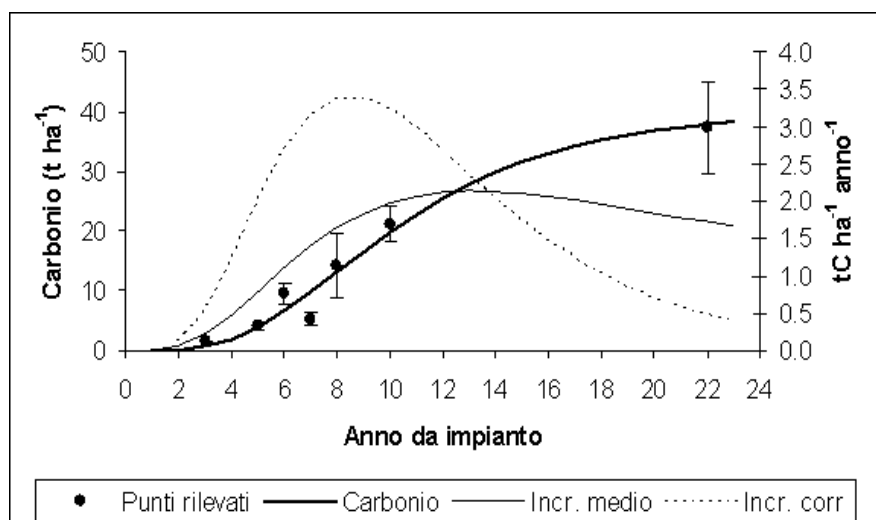


Fig. 7 - Curva di accumulo del carbonio nella biomassa epigea (fusto e rami), incremento corrente ed incremento medio. Le barre indicano l'errore standard. $C = 40 [1 - \exp(-0.21 \text{ età})]^{5.39}$ ($n = 7$, $R^2 = 0.96$, $P < 0.001$).

in assenza di diradamenti / utilizzazioni, la massa a 23 anni sia prossima a quella massima possibile.

Per quanto riguarda la capacità di fissazione del carbonio, Magnani et al. (2005) hanno stimato un accumulo di carbonio nella massa epigea in un bosco misto all'età di 12 anni pari a $1.8 \text{ tC ha}^{-1} \text{ anno}^{-1}$. Gli stessi autori hanno messo in evidenza come i valori di scambio netto dell'ecosistema rilevati all'età di 9-11 anni corrispondano al picco massimo atteso. Nel caso degli imboschimenti esaminati nel presente studio, alla stessa età è stato misurato un tasso annuo di fissazione pari a $2.7 \text{ tC ha}^{-1} \text{ anno}^{-1}$, ma, contrariamente a quanto messo in evidenza nello studio precedentemente citato, il tasso di accumulo annuo è ormai in fase decrescente. Infatti il picco massimo di accumulo si verifica intorno ai 9 anni dall'impianto.

Anderle et al. (2002) nella loro analisi sulla capacità di assorbimento della CO_2 dei rimboschimenti realizzati tra il 1990 ed il 2000 hanno previsto un tasso di accumulo di $0.63 \text{ Mt CO}_2 \text{ anno}^{-1}$ pari a ad un valore di circa $4.25 \text{ tC ha}^{-1} \text{ anno}^{-1}$, molto più elevato dell'incremento medio annuo massimo di C fissato stimato nel presente studio ($2.1 \text{ tC ha}^{-1} \text{ anno}^{-1}$). I valori misurati sono invece simili a quelli riportati da Alberti (2005) in una cronosequenza costituita da popolamenti di neoformazione nelle Prealpi Giulie ($1.8 \text{ tC ha}^{-1} \text{ anno}^{-1}$).

In conclusione, i risultati qui riportati mettono in evidenza l'importanza dell'arboricoltura da legno nel bilancio del carbonio. Tuttavia, è necessario sottolineare come il massimo tasso di accumulo annuo di carbonio si raggiunga piuttosto precocemente in assenza di adeguate cure colturali (diradamenti / utilizzazioni) che dovrebbero consentire un prolungamento della fase di forte accrescimento. Inoltre, i dati riportati nel presente studio suggeriscono come *short rotation* con turni inferiori ai 12 anni riescano a mantenere sempre elevato l'accumulo di massa legnosa e quindi di carbonio nel tempo. Popolamenti di questo genere consentirebbero di ottenere principalmente biomassa per scopi energetici ed andrebbero quindi trattati a ceduo con turni brevi in modo da ottenere un rapido accrescimento in fase giovanile e massimizzare l'incremento corrente. Per quanto riguarda, invece, popolamenti con una composizione specifica caratterizzata da una dominanza di ciliegio, noce e frassino, l'impiego di opportune cure colturali quali diradamenti e potature potrebbero favorire l'ottenimento a fine turno di materiale di elevata qualità e quindi di elevato valore commerciale.

Ringraziamenti

Si ringraziano il personale della Direzione centrale risorse agricole, naturali, forestali e montagna della Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia, i proprietari degli imboschimenti oggetto dell'indagine e Diego Chiabà per la collaborazione durante l'esecuzione dei rilievi in campo.

Bibliografia

- Alberti G (2005). Secondary successions on agricultural land: structure, dynamics and carbon stocks in a forest chronosequence. Tesi di Dottorato. Facoltà di Agraria, Università di Udine.
- Alberti G, Candido P, Peressotti A, Turco S, Piussi P, Zerbi G (2005). Aboveground biomass relationships for mixed ash (*Fraxinus excelsior* L. and *Ulmus glabra* Hudson) stands in Eastern Prealps of Friuli Venezia Giulia (Italy). *Annals of Forest Science* 62: 831-836.
- Anderle A, Ciccarese L, Dal Bon D, Pettenella D, Zanolini E (2002). Assorbimento e fissazione del carbonio nelle foreste e nei prodotti legnosi in Italia. Rapporto 21/2002 APAT, Roma, pp. 58.
- Castellani C (1982). Tavole stereometriche ed alsometriche costruite per i boschi italiani. Istituto Sperimentale per l'Assessment Forestale e per l'Alpicoltura, Trento, pp. 810.
- Cooper CF (1983). Carbon storage in managed forests. *Canadian Journal of Forest Research* 13: 155-166.
- Del Favero R, Bortoli PL, Solari V, STAF Snc, Vanone G, Moro E (2000). Direttive per i piani di gestione delle proprietà forestali nella regione Friuli Venezia Giulia. Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia, Direzione regionale delle foreste: 256 pp.
- Guo LB, Gifford RM (2002). Soil carbon stocks and land use change: a meta analysis. *Global Change Biology* 8 (4): 345-360.
- Hooker TD, Compton JA (2003). Forest ecosystem carbon and nitrogen accumulation during the first century after agricultural abandonment. *Ecological Applications* 13 (2): 299-313.
- 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.
- Parresol BR (1999). Assessing tree and stand biomass: a review with examples and critical comparisons, *Forest Science* 45: 573-593.
- Paul KI, Polglase PJ, Nyakuengama JG, Khanna PK (2002). Change in soil carbon following afforestation. *Forest Ecology and Management* 168: 241-257.
- Poulton PR, Pye E, Hargreaves PR, Jenkinson DS (2003).

- Accumulation of carbon and nitrogen by old arable land reverting to woodland. *Global Change Biology* 9: 942-955.
- Post WM, Izaurralde RC, Mann LK, Bliss N (2001). Monitoring and verifying changes of organic carbon in soils. *Climatic Change* 51: 73-99.
- Schober R (1987). Ertragstafeln wichtiger Baumarten bei verschiedener Durchforstung. J.D. Sauerlaender's Verlag, Frankfurt a.M., pp. 166.
- Siardi E, Alberti G (2005). Imboschimenti realizzati con il Piano di Sviluppo Rurale. Prime valutazioni in Friuli Venezia Giulia. *Sherwood* 117: 39-44.
- Ter-Mikaelian MT, Korzukhin MD (1997) Biomass equations for sixty-five North American tree species. *Forest Ecology and Management* 97: 1-24.
- Tomat E, Alberti G, Assolari S, Peressotti A, Gottardo E, Zerbi G (2005). Aspetti produttivi di rimboschimenti di pianura in Friuli Venezia Giulia. *Forest@* 2 (3): 306-310.
- Zeide B (1993). Analysis of growth equations. *Forest Science* 39: 594-615.
- Zerbi G, Peressotti A, Alberti G, Marelli A (2005). Indagine su impianti arborei non da frutto (escluso i pioppeti) effettuati con finanziamento pubblico nella pianura friulana. Rapporto finale. Regione Friuli Venezia Giulia, Direzione Centrale per le Risorse Agricole, Naturali e Forestali e della Montagna.
- Zianis D, Mencuccini M (2003). Aboveground biomass relationships for beech (*Fagus Moesiaca* Cz.) trees in Vermio Mountain, northern Greece, and generalised equations for *Fagus*. *Annals of Forest Science* 60: 439-448.
- Zianis D, Mencuccini M (2004). On simplifying allometric analyses of forest biomass. *Forest Ecology and Management* 187: 311-332.