

Modelli biometrici previsionali della fitomassa arborea di *Picea abies* e *Larix decidua* in Alto Adige

Stefano Minerbi ¹, Alessandro Cescatti ²

1 – Servizi Forestali, Provincia Autonoma di Bolzano – Alto Adige, Italia

2 - EC, Joint Research Centre, Institute for Environment and Sustainability, Ispra, Italy

Riassunto

Vengono presentati modelli di stima della biomassa epigea ed ipogea di *Picea abies* e *Larix decidua*, desunti mediante analisi di alberi modello selezionati in Alto Adige sulle aree di campionamento dell' "Inventario Nazionale delle Foreste e dei serbatoi forestali di Carbonio" ed analizzati secondo la tecnica del "randomized branch sampling". Le equazioni proposte forniscono uno strumento per la stima della biomassa e del volume cormometrico in piedi a livello di singolo albero e di popolamento.

Lo studio rappresenta quindi un contributo per la stima del contenuto e dei flussi annui di carbonio nei diversi comparti degli ecosistemi rappresentativi delle principali tipologie forestali dell'Alto Adige.

Parole chiave: fitomassa arborea, modelli previsionali, biomassa legnosa.

1. Premessa

Se fino al più recente passato la quantificazione della massa legnosa ritraibile in bosco è stata orientata al prevalente interesse commerciale - pertanto limitatata al classico dato volumetrico provvigionale o per singolo albero (tavole alsometriche e cormometriche) -, la stima della biomassa totale assurge oggi, in quanto "*serbatoio durevole di carbonio*" ad elemento geopolitico, economico e strategico di più ampia valenza.

Di qui la necessità di metodi di stima statisticamente validati, atti a definire più compiutamente consistenza e distribuzione delle biomasse, il contenuto di carbonio organico, la diversa capacità degli ecosistemi forestali di scambiare ed accumulare carbonio in forma organica nel soprassuolo e nel suolo.

L'analisi degli alberi modello rientra in un più ampio progetto avviato nel 2005, volto alla contabilizzazione del *bilancio del carbonio* per le principali formazioni forestali dell'Alto Adige individuate nei macrogruppi della tipologia forestale, secondo ambiti territoriali e/o vegetazionali predefiniti ed a scala temporale adeguata.

L'approccio metodologico adottato (Fig. 1) – ovvero l'integrazione tramite modelli di sintesi e di previsione di un campione probabilistico con *i*) dati biometrici rilevati su aree di riferimento al suolo (foto emisferiche, campioni di suolo, alberi modello), *ii*) dati telerilevati e *iii*) informazioni attinte da banche dati esistenti (sistema informativo territoriale, dati di tipo inventariale, tipologia forestale) - intende pervenire alla spazializzazione dei seguenti parametri biofisici:

- 1) fitomassa totale delle principali specie arboree forestali
- 2) carbonio fissato nei livelli funzionali dell'ecosistema (*pools*)
 - 1 - biomassa epigea
 - 2 - biomassa ipogea
 - 3 - lettiera
 - 4 - necromassa
 - 5 - sostanza organica del suolo (0-30 cm)
- 3) *produttività ecosistemica netta* (NEP), ovvero *carbon-sink* (sequestro annuo di CO₂).

Il metodo di stima della biomassa arborea (pools 1+2) qui descritto - orientato secondo un campionamento statisticamente rappresentativo di **alberi modello**, individuati, sia sulla base di una seriazione diametrica completa, sia in relazione alla distribuzione spaziale delle diverse tipologie forestali - oltre che descrittivo di una realtà inventariale dei soprassuoli a scala

regionale, è altresì complementare rispetto al precedente omologo "inventario del carbonio nei boschi" della vicina provincia di Trento (1), ovvero integrativo del dataset statistico dell' "Inventario Nazionale delle Foreste e dei serbatoi forestali di Carbonio" (INFC 2003-2006), dei quali ha ripreso la metodica, peraltro estesa alla parte ipogea.

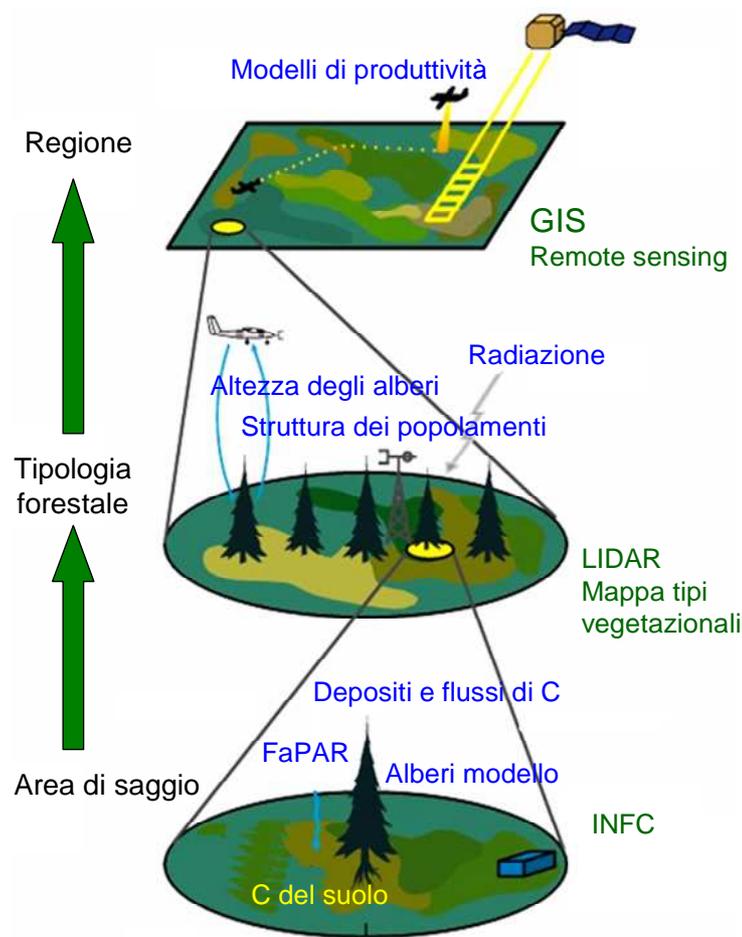


Fig 1 – Dati e strumenti utilizzati nel processo di integrazione spaziale.

2. Siti di campionamento

La scelta dei siti potenzialmente idonei all'analisi degli **alberi modello** ha fatto riferimento alle aree di campionamento materializzate in bosco in **2a fase dell'INFC** e pertanto distribuite sul territorio provinciale in modo sistematico non allineato, sì da usufruire della casualità statistica dettata per la scelta di tali aree. Ciò consente riferimenti diretti con l'INFC come pure l'aggregazione a posteriori dei siti (in quanto georeferenziati) secondo parametri eco-climatico-stazionali arbitrariamente definiti.

Sulla base di queries di ricerca effettuate in ambito GIS, relativi a tematismi vettoriali e raster inseriti nella banca dati provinciale (quota, viabilità, DEM) e ad attributi rilevati in 2a fase dell'INFC (caratteri stazionali, tipo di proprietà), si è quindi proceduto per sottocampionamenti successivi all'individuazione dei siti che assecondano le ipotesi di lavoro, come qui di seguito definite:

- distribuzione rappresentativa degli alberi modello delle principali specie forestali nei tre principali settori bio-geo-ecologici (ovest, centro-sud, est.);
- rappresentatività per quote altimetriche, con distinzione per il solo abete rosso fra i due orizzonti altitudinali montano (1000-1600 m s.l.m.) e subalpino (>1601 m s.l.m.);
- esclusione dei siti ricadenti nella proprietà privata;
- individuazione degli alberi con caratteristiche idonee (v. capitolo 3 – Alberi campione) entro un buffer di 100 metri dal centro del sito INFC (omologhe condizioni stazionali), ma esterno all'area inventariale;
- distanza massima del punto inventariale dalla strada inferiore a 50 m, tale da consentire un agevole accesso con mezzi (Fig. 3);
- aggregazione dei punti con presenza di abete rosso per aree omogenee (clusters) (Fig. 5).

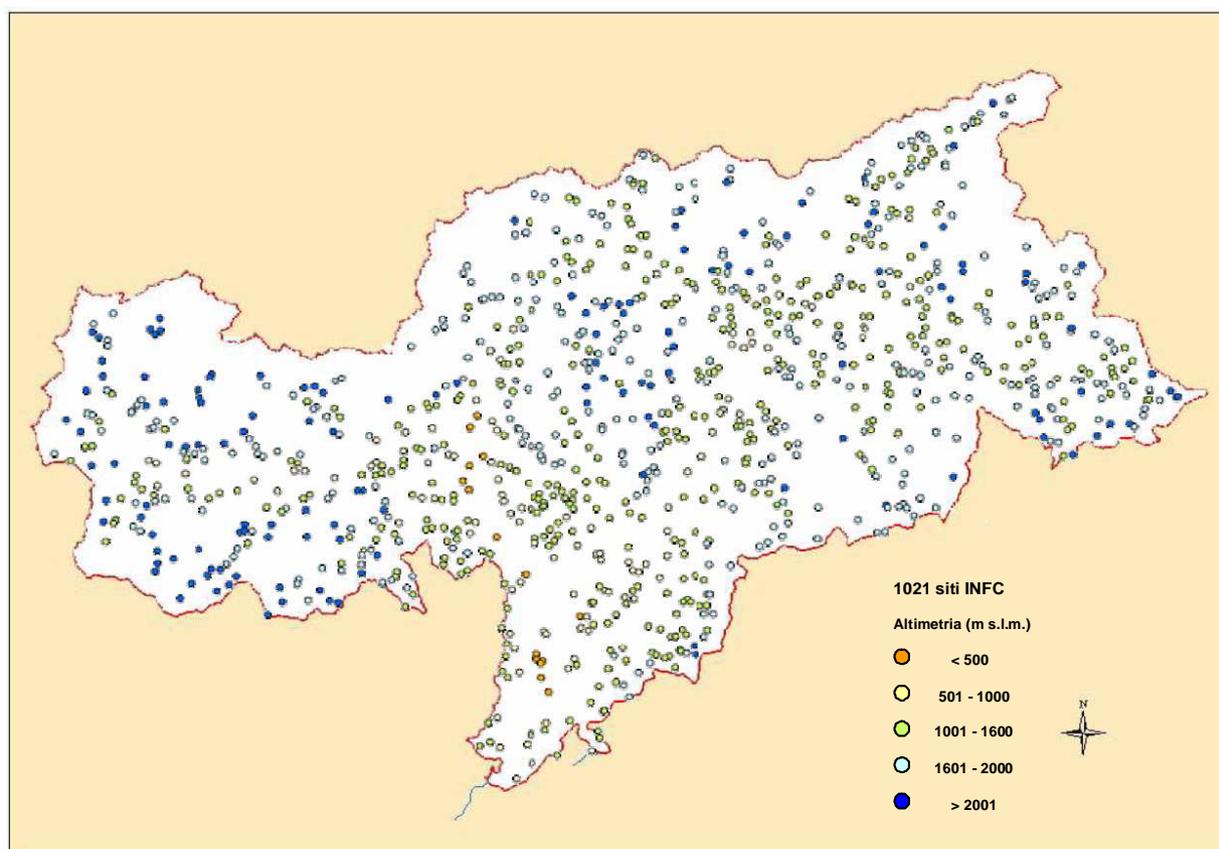


Fig. 2 - 1021 siti INFC di 2a fase.

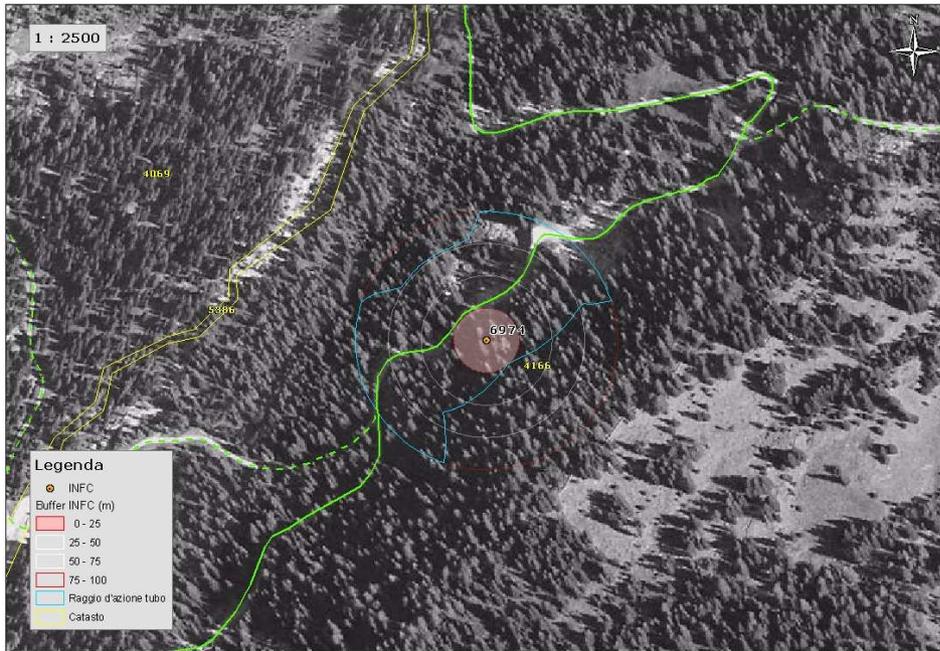


Fig. 3 – Esempio di punto inventariale selezionato con buffer.

In totale sono stati selezionati 98 siti inventariali, così distribuiti (Tab. 1, Fig. 4):

NUMERO DI SITI	ALTITUDINE (M S.L.M.)	ORIZZONTI ALTITUDINALI
47	> 1601	subalpino
38	1001 - 1600	montano
10	501 - 1000	submontano
3	< 500	basale

Tab. 1 – Distribuzione dei siti inventariali per fasce altitudinali.

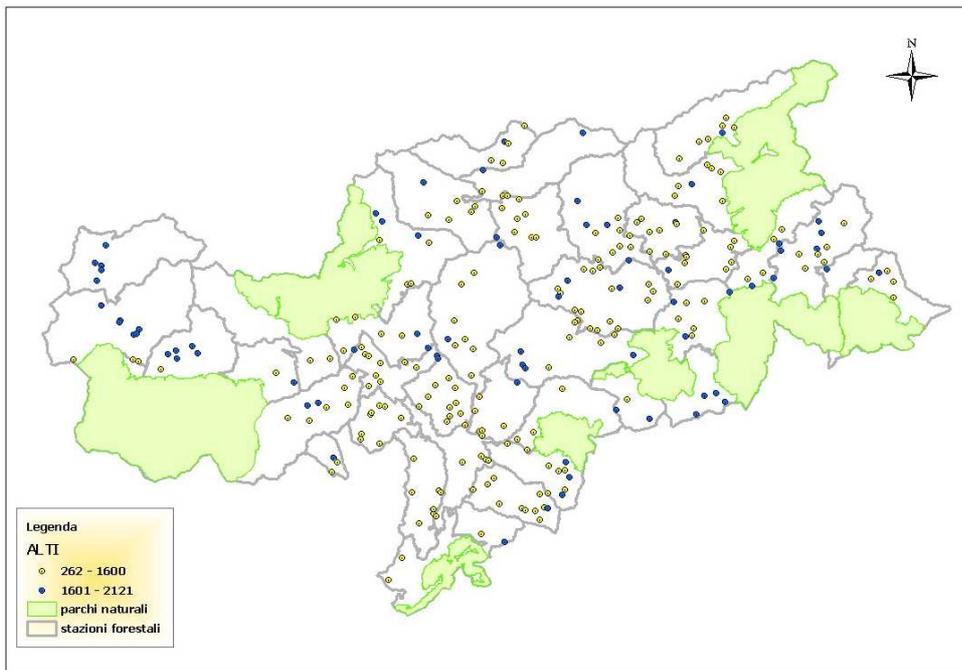


Fig. 4 - 98 siti inventariali selezionati.

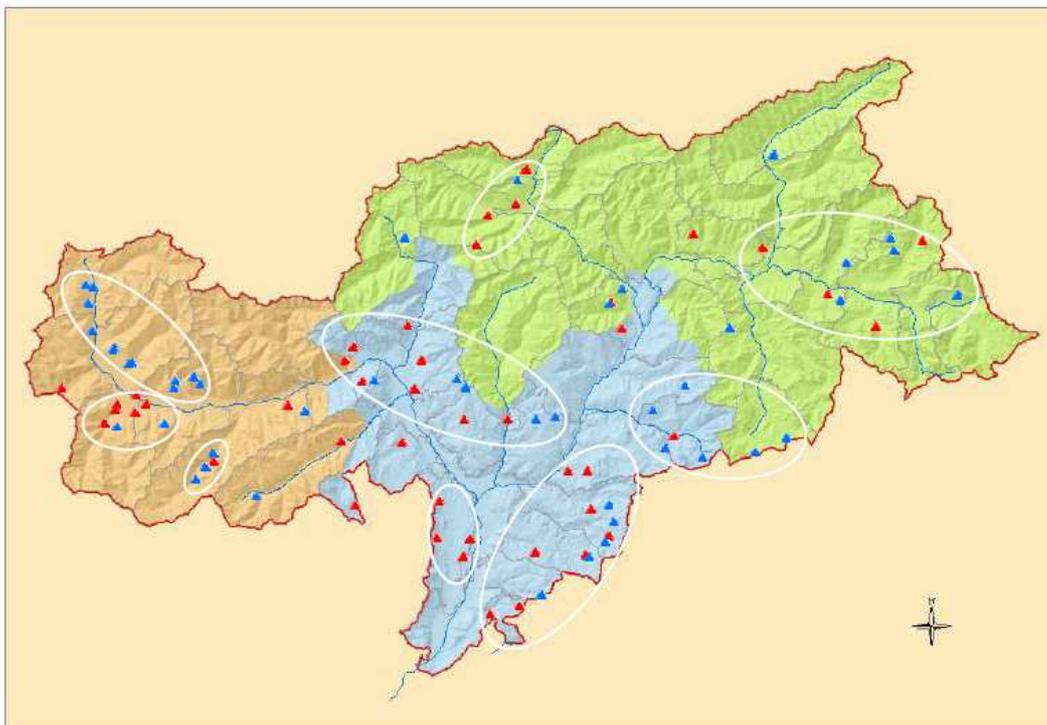


Fig. 5 – Clusters relativi alle aree di campionamento di *Picea abies*.

3. Alberi campione

La selezione, proceduta su base dimensionale con equa distribuzione per classi diametriche a partire dal Ø 5 cm (>4,6 cm) fino a 100 cm e per altezza, ha incluso gli alberi biforcati, con cavità o marciumi interni anche largamente diffusi, mentre sono stati esclusi gli individui in condizioni vegetative particolarmente distanti dalla norma (alberi stroncati, defogliati per vari motivi, secchi in piedi).

L'impianto originale del progetto prevedeva il campionamento di **175** alberi (conifere e latifoglie) per la parte epigea con un sottocampione di **60** per la parte ipogea.

In sede esecutiva si è dovuto ridurre il numero di alberi modello a **120** (°), mentre per solo **21** di questi si è

proceduto all'analisi ponderale degli apparati radicali, ripartiti per specie e settore geografico (Tab. 2).

Alla riduzione del campione relativo a *Picea abies* e *Larix decidua* si è in parte ovviato integrando il database con i dati della Provincia di Trento. Per le altre conifere, essendo il campione statisticamente insufficiente, come per le latifoglie, pure escluse dall'indagine, si rimanda ai modelli previsionali realizzati sempre per la Provincia di Trento (1).

(°) In seguito alle restrizioni economiche a carico del personale introdotte con la Legge finanziaria statale del 23.12.2005, n. 266 comma 213.

Tab. 2 – Distribuzione degli alberi campione per specie e settore.

SPECIE		SETTORE GEOGRAFICO			TOTALE
		OVEST	CENTRO-SUD	EST	
Picea abies	Subalpino	8	25	10	43
	Montano	4	10	10	24
Larix decidua		7	7	6	20
Pinus sylvestris		3	4	4	11
Pinus cembra		5	5	5	15
Abies alba			6	1	7
Latifoglie					0
					120

3.1. Metodologia di campionamento

In conformità allo schema inventariale del Progetto RISELVITALIA cui si rimanda (2), la parte epigea è stata scomposta nei suoi comparti biometrici principali (Tab. 3, Fig. 6), mentre per la parte ipogea è stata applicata una medotica specifica.

Dovendo necessariamente rappresentare la massa fogliare nel momento di massimo sviluppo, i rilievi sono stati condotti durante il periodo estivo fra gli anni 2006 e 2009.

Tab. 3 - Elenco delle variabili biometriche rilevate per singolo albero.

Acronimo	Unità di misura	Descrizione
<i>dbh</i>	cm	diametro a 1,30 m
<i>h</i>	m	altezza
<i>a</i>	anni	età
<i>S_VOL</i>	dm ³	volume cormometrico (svettamento 5 cm)
<i>L_DW</i>	kg (s.s.)	biomassa fogliare*
<i>B_DW</i>	kg (s.s.)	biomassa dei rami vivi
<i>D_DW</i>	kg (s.s.)	biomassa dei rami secchi
<i>S_DW</i>	kg (s.s.)	biomassa del fusto (svettamento 5 cm)
<i>AG_DW</i>	kg (s.s.)	biomassa epigea totale
<i>R_DW</i>	kg (s.s.)	biomassa radicale*

* rilevata su un sottocampione

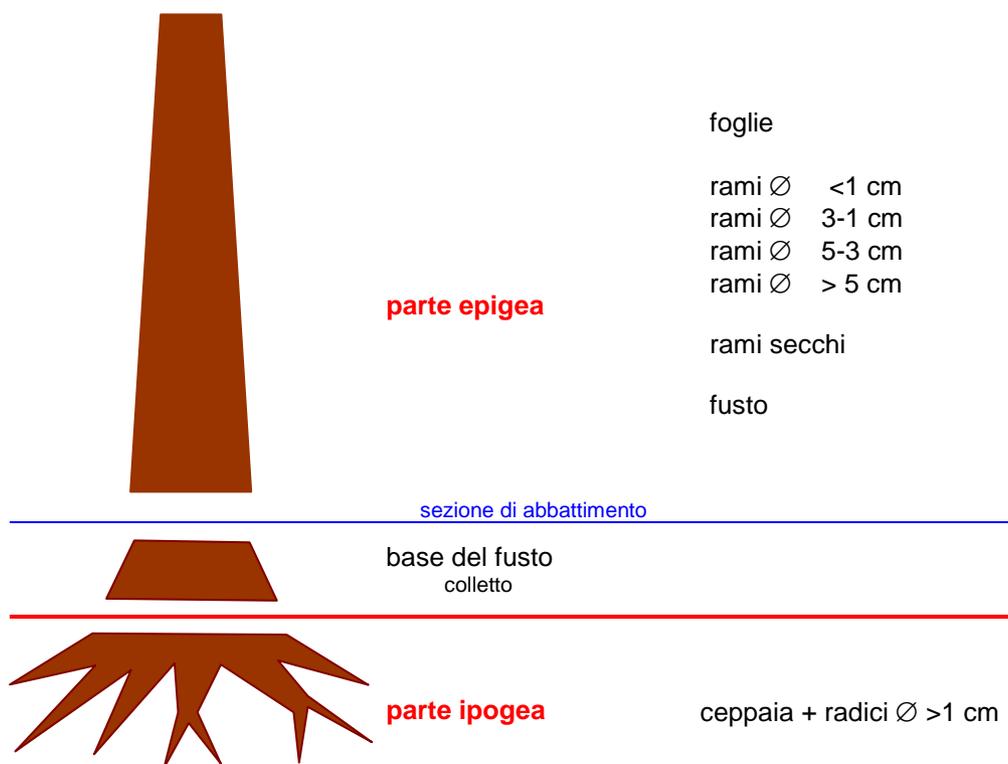


Fig. 6 - Suddivisione della biomassa dell'albero nei differenti comparti.

3.2. Biomassa epigea

Mentre per il fusto e per i rami grossi (diametro in punta $\geq \varnothing 5,0$ cm) il dato di biomassa è stato ottenuto tramite rilievo geometrico (sezionamento), si da preservare il valore commerciale del legname ed ottenere il volume cormometrico come dato accessorio, per tutti gli altri comparti l'approccio è stato di tipo ponderale totale o campionario.

La biomassa della chioma è stata determinata applicando un metodo di campionamento a probabilità condizionata noto come *Randomized Branch Sampling*, che consente di stimare mediante un minimo campionamento sia i valori medi, sia l'intervallo di confidenza delle variabili rilevate (3).

Non essendo stata adottata tale tecnica di stima in Provincia di Trento, l'indagine statistica congiunta degli alberi campione per le due province si limita alla biomassa ed al volume del fusto ed alla biomassa dei rami secchi.

3.3. Biomassa ipogea

Alle particolari difficoltà insite in tale tipo di campionamenti si deve la scarsità di precedenti esperienze e relativi riferimenti bibliografici, specie per scopi inventariali. È stata pertanto elaborata una tecnica di campionamento fattibile in termini di tempi e di mezzi ed al contempo conservativa dell'apparato

radicale, comunque garante della rappresentatività del campione ai fini dell'analisi statistica.

I siti idonei per l'estrazione della porzione ipogea sono stati individuati stratificando ulteriormente un sottocampione dei punti, precedentemente definiti sul territorio per la parte epigea, sulla base dei seguenti requisiti:

- diametro ad 1,30 m dell'albero modello, rappresentativo della seriazione diametrica di ciascuna specie;
- posizione in pendio regolare (terreno sciolto, livellato, senza rocce affioranti), tale da lasciare supporre uno sviluppo simmetrico degli apparati radicali;
- inclinazione sufficiente del pendio, onde facilitare le operazioni di scavo ed il deflusso dell'acqua utilizzata per liberare le radici (Fig. 7).

I dettagli della metodologia di campionamento sviluppata per la stima della biomassa radicale sono riportati in Appendice A.

Per 11 e rispettivamente 4 alberi modello di *Picea abies* e *Larix decidua* sono state elaborate le relative equazioni di biomassa radicale. Nonostante la limitatezza del campione considerato, queste descrivono con sufficiente precisione la distribuzione della biomassa radicale in funzione dei due predittori scelti (diametro ed altezza per R_DW in Tab. 4 - 5 e Fig. 8e - 9e).

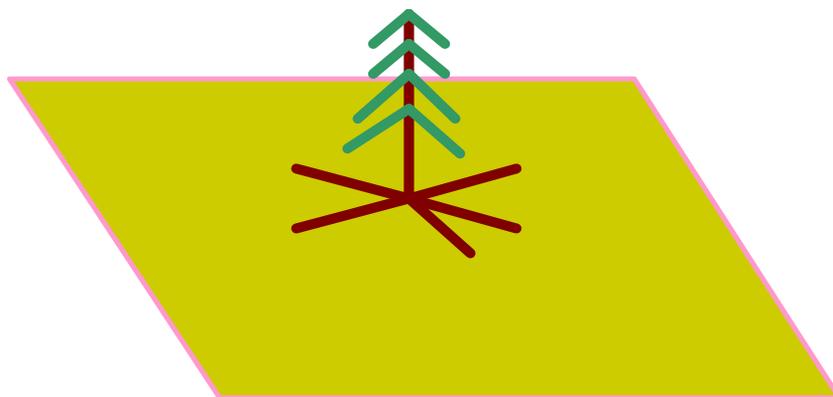


Fig. 7 – Terreno regolare ed in lieve pendio offre condizioni ideali per il campionamento delle radici.

4. Equazioni di Biomassa

Il modello predittivo della biomassa arborea totale secca è di tipo modulare additivo, deriva cioè dalla somma delle equazioni dei singoli comparti, quali discendono dall'equazione generale di forma a due variabili indipendenti, diametro-altezza, e pertanto assimilabile ad una tavola stereometrica regionale a doppia entrata.

Tutte le equazioni sono state stimate analiticamente con la tecnica dei minimi quadrati ed in modalità *stepwise forward*. Nelle equazioni previsionali sono stati inclusi solo i termini con coefficiente significativamente diverso da zero al test t ($p < 0.05$)

$$DW = b_1d + b_2h + b_3dh + b_4d^2h + b_5dh^2 + b_6d^2h^2$$

dove:

- DW peso secco (kg) ovvero VOL = volume (dm³)
- d diametro a 1.30 m (cm)
- h altezza dell'albero (m)
- b_i coefficienti di regressione

Il prodotto dh^2 linearizza la funzione, mentre l'altezza dell'albero come predittore considera la variabilità dovuta al diverso grado di rastremazione di alberi che crescono a quote e densità di popolamento differenti.

Le seguenti tabelle 4 e 5 riportano - separatamente per i diversi comparti della biomassa epigea (foglie, rami, rami morti, fusto) ed ipogea - le singole equazioni riferite al campione di alberi modello di *Picea abies* (67 in provincia di Bolzano e 83 in provincia di Trento) e *Larix decidua* (20 in provincia di Bolzano e 33 in provincia di Trento), nonché per ogni coefficiente il valore atteso, l'errore standard di stima e i risultati del test t .

Data l'aggregazione semplificata delle variabili biometriche adottata in Provincia di Trento - la massa fogliare è stata rilevata assieme alla ramaglia - l'analisi statistica congiunta dei campioni di Bolzano e di Trento si limita ai soli comparti omogenei relativi a biomassa e volume del fusto ed alla biomassa dei rami secchi (_DW_{BZ+TN} in Tab. 4 e 5).

Per tutte le altre specie arboree d'interesse forestale si rimanda allo studio di Fattorini *et al.* (2004) (1), dal quale sono tratti in forma riassuntiva i modelli biometrici ed i coefficienti delle regressioni utilizzati per la stima della biomassa epigea (AG_DW - Total Aboveground Biomass) (Tab. 6).

Tab. 4 – Modelli biometrici e coefficienti delle regressioni per i diversi comparti della biomassa di *Picea abies*.

Comparti		Equazioni	b_i	Std. Err.	t	p-level	Adj. r^2	No. of cases
L_DW _{BZ}	foglie	$b_1 d^2 + b_2 d^2 h$	0.043738	0.005044	8.67133	0.000000	0.90	67
			- 0.000544	0.000157	-3.46560	0.000942		
B_DW _{BZ}	rami	$b_1 d^2 + b_2 dh$	0.171182	0.024573	6.96619	0.000000	0.89	67
			- 0.119155	0.047228	-2.52297	0.014093		
D_DW _{BZ+TN}	rami secchi	$b_1 d^2 + b_2 dh^2$	0.017373	0.002210	7.86251	0.000000	0.67	150
			- 0.000407	0.000123	-3.31075	0.001169		
S_DW _{BZ+TN}	fusto	$b_1 d^2 h + b_2 dh$	0.008272	0.000437	18.92001	0.000000	0.98	150
			0.234490	0.024077	9.73938	0.000000		
R_DW _{BZ}	radici	$b_1 d^2 h$	0.006320	0.000173	36.45965	0.000000	0.99	11
S_VOL _{BZ+TN}	volume fusto $\varnothing > 5$ cm	$b_1 d^2 h$	0.032473	0.000327	99.28937	0.000000	0.98	149

Tab. 5 – Modelli biometrici e coefficienti delle regressioni per i diversi comparti della biomassa di *Larix decidua*.

Comparti		Equazioni	b_1	Std. Err.	T	p-level	Adj. r^2	No. of cases
L_DW _{BZ}	foglie	$b_1 dh$	0.009514	0.000849	11.210976	0.000000	0.86	20
B_DW _{BZ}	rami	$b_1 d^2$	0.068074	0.005901	11.535233	0.000000	0.87	20
D_DW _{BZ+TN}	rami secchi	$b_1 d^2 + b_2 dh + b_3 h^2$	0.030292	0.004836	6.263450	0.000000	0:76	53
			-0.081967	0.022539	-3.636682	0.000653		
			0.064423	0.025859	2.491330	0.016090		
S_DW _{BZ+TN}	fusto	$b_1 d^2h + b_2 dh$	0.011560	0.000879	13.145712	0.000000	0.98	53
			0.169109	0.056597	2.987952	0.004311		
R_DW _{BZ}	radici	$b_1 d^2h^2$	0.000403	0.008799	113.63904	0.000002	0.99	4
S_VOL _{BZ+TN}	volume fusto $\varnothing > 5\text{cm}$	$b_1 d^2h + b_2 dh^2$	0.021609	0.001792	12.056517	0.000000	0.99	53
			0.017364	0.004017	4.322353	0.000072		

Tab. 6 – Modelli biometrici e coefficienti delle regressioni per la biomassa epigea AG_DW delle principali specie arboree forestali in Trentino - da Fattorini *et al.* (2004).

Specie	Equazione	b_1 / Std. Err.	b_2 / Std. Err.	b_3 / Std. Err.
<i>Picea abies</i>	$b_1 + b_2 d^2h + b_3 dh^2$	8.8297	$1.8760 \cdot 10^{-2}$	$-8.5316 \cdot 10^{-5}$
		$8.5243 \cdot 10^{-1}$	$2.0997 \cdot 10^{-3}$	$2.6360 \cdot 10^{-3}$
<i>Larix decidua</i>	$b_1 + b_2 d^2h + b_3 d$	$1.3245 \cdot 10$	$1.8785 \cdot 10^{-2}$	$2.1401 \cdot 10^{-3}$
		8.6570	$2.1401 \cdot 10^{-3}$	1.1164
<i>Pinus sylvestris</i>	$b_1 + b_2 d^2h$	2.7081	$2.3724 \cdot 10^{-2}$	-
		2.4017	$1.3878 \cdot 10^{-3}$	-
<i>Pinus nigra</i>	$b_1 + b_2 d^2h + b_3 d^2$	$-1.2958 \cdot 10$	$1.3807 \cdot 10^{-2}$	$2.0206 \cdot 10^{-1}$
		2.5941	$2.7837 \cdot 10^{-3}$	$3.4292 \cdot 10^{-2}$
<i>Pinus cembra</i>	$b_1 + b_2 d^2h + b_3 d^2$	-3.4268	$1.0256 \cdot 10^{-2}$	$1.4144 \cdot 10^{-1}$
		1.3511	$1.7403 \cdot 10^{-3}$	$2.7527 \cdot 10^{-2}$
<i>Abies alba</i>	$b_1 + b_2 d^2h + b_3 d^2$	3.3424	$1.6487 \cdot 10^{-2}$	$8.1355 \cdot 10^{-2}$
		3.6804	$2.6407 \cdot 10^{-3}$	$5.2771 \cdot 10^{-2}$
<i>Fagus sylvatica</i>	$b_1 + b_2 d^2h + b_3 d^2$	$-1.0798 \cdot 10$	$1.8017 \cdot 10^{-2}$	$2.5888 \cdot 10^{-1}$
		7.8180	$7.6765 \cdot 10^{-3}$	$1.3606 \cdot 10^{-1}$
<i>Castanea sativa</i>	$b_1 + b_2 d^2h + b_3 d^2$	$1.8104 \cdot 10^{-1}$	$1.0740 \cdot 10^{-2}$	$2.0189 \cdot 10^{-1}$
		1.6333	$3.4309 \cdot 10^{-3}$	$4.2520 \cdot 10^{-2}$

Come atteso, i termini risultati significativi al test t sono diversi per i diversi comparti. Per *Picea abies* la biomassa radicale ed il volume cormometrico sono strettamente correlati al volume cilindrometrico (d^2h), mentre foglie, rami e rami morti sono legati a d^2 ed al prodotto dh .

I coefficienti di determinazione dei diversi modelli variano, per *Picea abies* da un minimo di 0.67 per la biomassa dei rami morti ad un massimo di 0.99 per la parte ipogea, per *Larix decidua* da un minimo di 0.76 per la biomassa dei rami morti ad un massimo di 0.99 per la parte ipogea e per il volume del fusto.

Il basso valore di r^2 per i rami secchi deriva dalla maggiore variabilità insita nel campione.

I diagrammi in Fig. 8 e 9 riportano il confronto fra

valori osservati e predetti dai modelli per i rispettivi comparti in *Picea abies* rosso e *Larix decidua*.

Impostando quindi diametro (a 1,30m) ed altezza come predittori nelle equazioni di Tab. 4 e 5 si ottiene

1 – la **biomassa** dei diversi comparti e dalla loro somma la biomassa totale;

2 – il **contenuto di carbonio** e l'equivalente di CO_2 ;

3 – il **volume cormometrico**.

L'intervallo di confidenza indicato consente infine la stima dell'incertezza a livello di singolo albero, ovvero di popolamento.

I modelli biometrici sono stati stimati su campioni diversi (alberi modello in provincia di Bolzano e di Bolzano+Trento). I risultati del confronto fra modelli sono riportati in Appendice B.

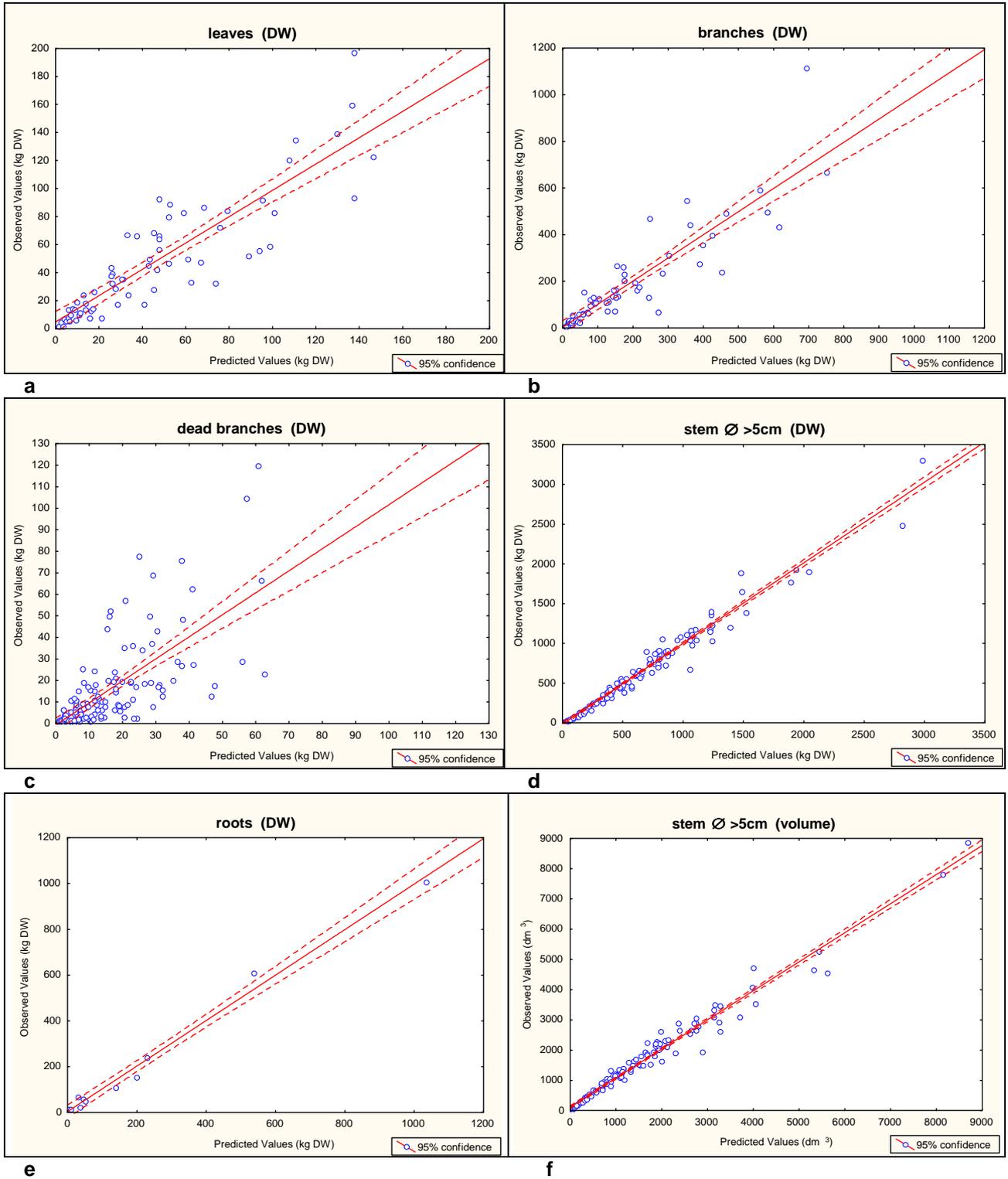


Fig. 8 – Valori predetti vs. osservati per i diversi comparti di *Picea abies*.

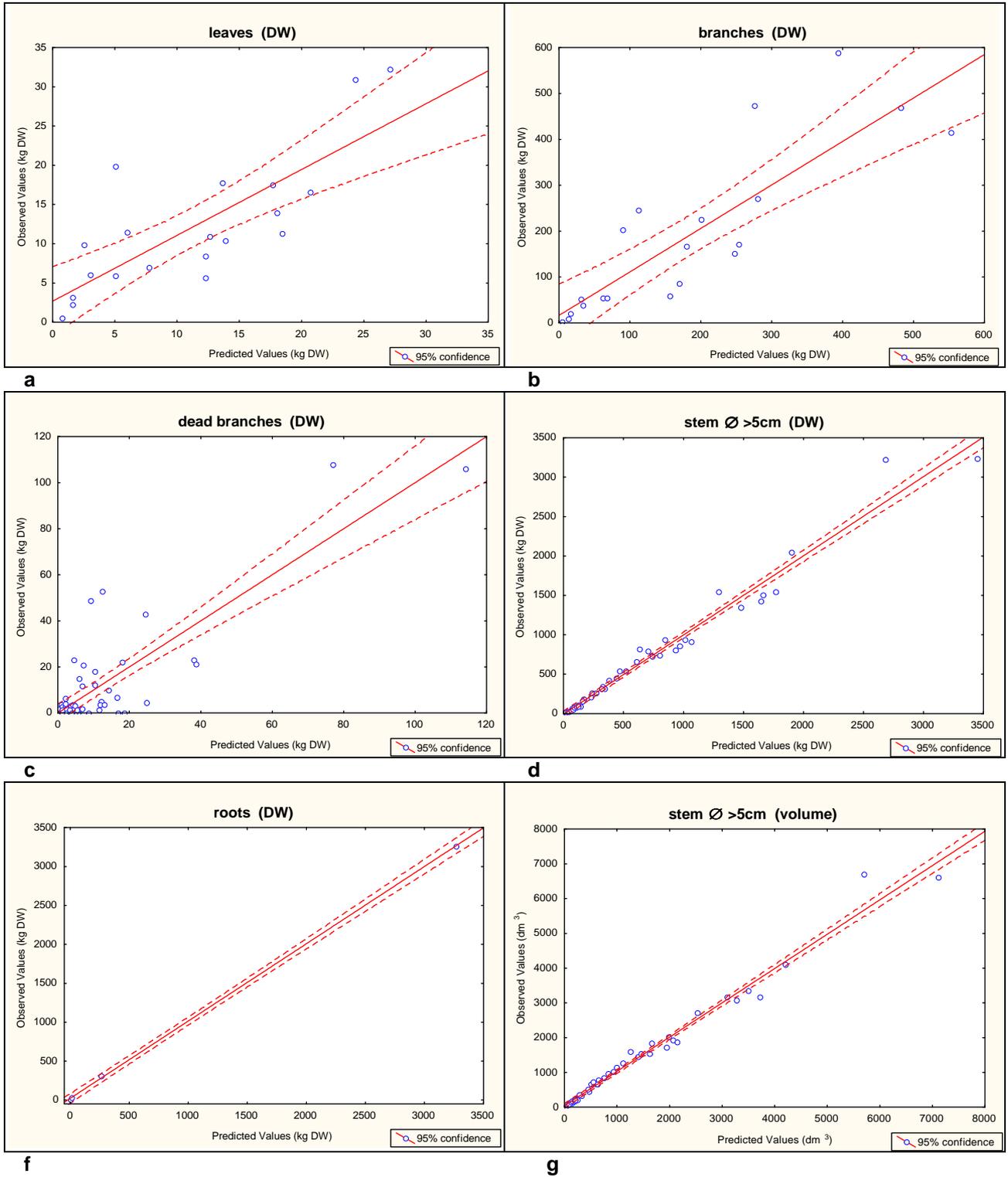


Fig. 9 – Valori predetti vs. osservati per i diversi comparti di *Larix decidua*.

In percentuale la biomassa di *Picea abies* e *Larix decidua* si ripartisce mediamente come segue; rispetto alla biomassa epigea:

Picea abies	%
foglie	6
ramaglia	23
fusto	71

Larix decidua	%
foglie	1
ramaglia	16
fusto	83

rispetto alla biomassa totale:

Picea abies	%
foglie	4
ramaglia	17
fusto	53
radici	26

Larix decidua	%
foglie	0,5
ramaglia	9,5
fusto	50
radici	40

In *Picea abies* la frazione maggiore della biomassa totale è allocata nel fusto (53%), quindi nel sistema radicale (7÷30% in relazione al diametro, media 26%), infine nei rami.

Al contrario, in *Larix decidua* la biomassa è quasi equamente allocata fra fusto e parte ipogea. È evidente per quest'ultimo il minimo apporto in peso della massa fogliare, dovuto alla leggerezza della chioma composta da soli aghi dell'anno, mentre rilevante è il peso dell'apparato radicale compreso fra l'8 ed il 44% in relazione al diametro (media 40%).

Così, rispetto al dato riferito in bibliografia per cui il rapporto fra biomassa totale ipogea (riferita alle radici grosse strutturali, $\varnothing > 2$ mm) ed epigea si colloca

comunemente attorno a $0.20 \div 0.26$ (15,16), il dato sperimentale che emerge evidenzia rapporti superiori per le due specie considerate: **0.35** in media per *Picea abies* ($0.20 \div 0.40$ in relazione al diametro), **0.67** per *Larix decidua* ($0.40 \div 0.80$ in relazione al diametro).

La variazione della biomassa totale, ovvero suddivisa per comparti, espressa come peso secco [kg DW] in relazione al diametro, si evince dai diagrammi in Fig. 10 e 11.

Il 50% circa del peso secco, infine, equivale al contenuto in carbonio organico.

In Appendice C si riporta in forma di tavola a due entrate il modello generale riferito al dataset completo.

Conclusioni

I modelli biometrici realizzati per la stima del volume cormometrico, della biomassa e del contenuto di carbonio per i comparti epigei ed ipogei di *Picea abies* e *Larix decidua* rappresentano la premessa per la futura contabilizzazione degli stock e dei sink di carbonio negli ecosistemi forestali dell'Alto Adige a diversi livelli di integrazione spazio-temporale arbitrariamente definiti (settori geografici, tipologie forestali, confini territoriali ed amministrativi, singola proprietà boschiva

o addirittura per singola particella boschiva o catastale, inventari successivi).

Una semplice tabella di calcolo consente quindi di quantificare le grandezze biometriche richieste, sulla base di predittori ipso-diametrici, a livello di singolo albero o di popolamento. Ciò ai fini sia di ricerca, sia gestionali e commerciali (mercato del legname, crediti di carbonio, etc.).

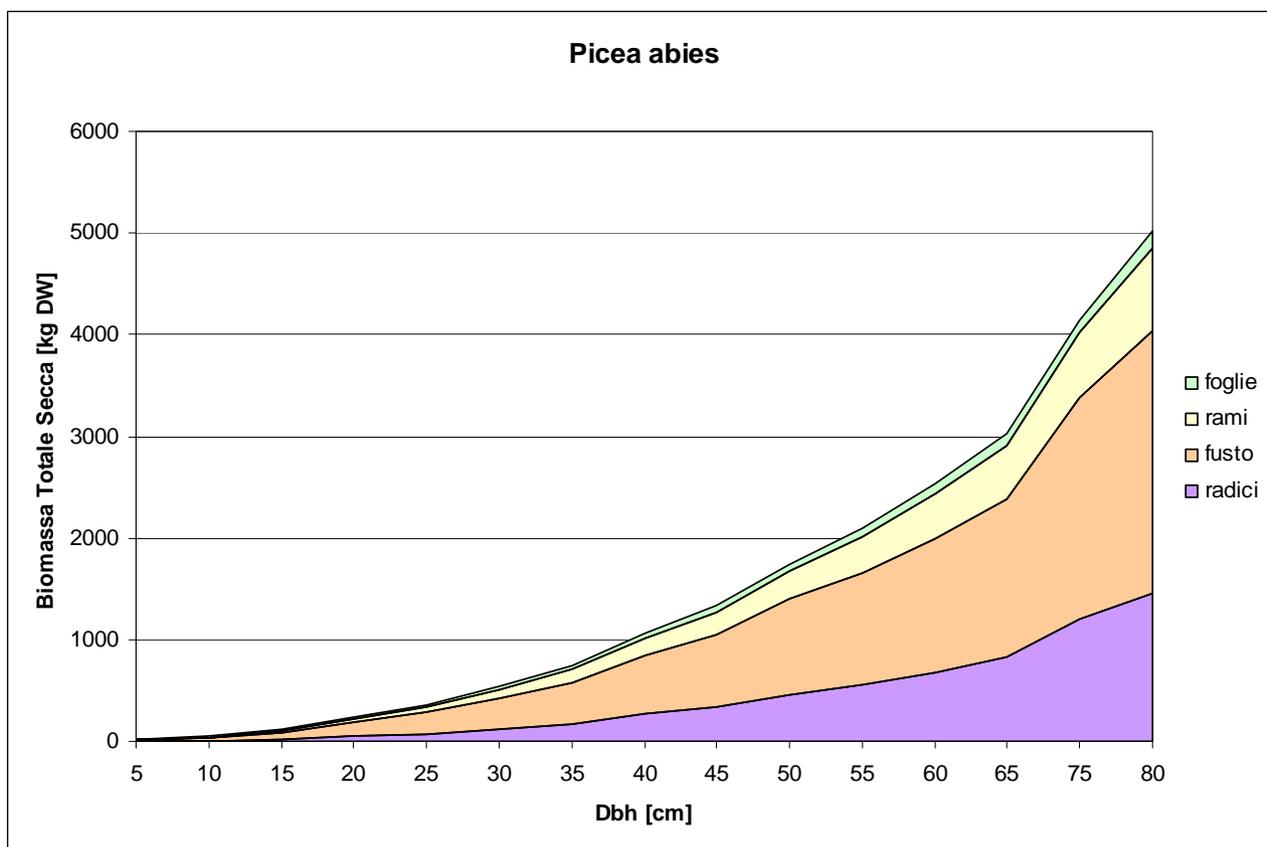


Fig. 10 - Distribuzione media della biomassa totale secca [kg DW] per comparti e classi di diametro per *Picea abies*.

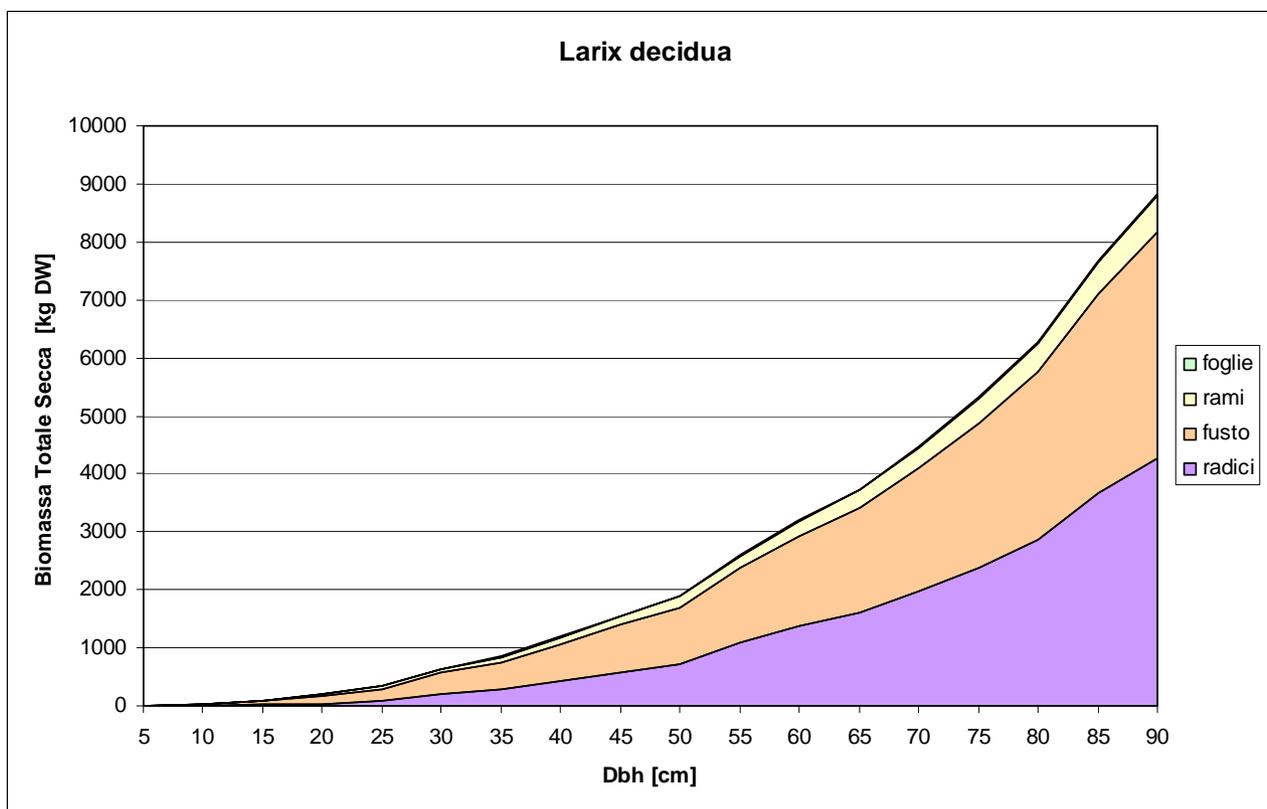


Fig. 11 - Distribuzione media della biomassa totale secca [kg DW] per comparti e classi di diametro per *Larix decidua*.

Causa impedimenti normativi ed amministrativi non è stato possibile estendere l'indagine statistica ad altre specie arboree di interesse forestale, per le quali si rimanda alla bibliografia citata (1). L'impianto metodologico, applicato ad un dataset di alberi modello opportunamente campionati secondo criteri inventariali su tutto il territorio altoatesino, consente comunque di ampliare in futuro il campione e di implementare/integrare l'attuale database, ovvero di estendere la base informativa ad altri livelli funzionali dell'ecosistema (es. suolo, strati arbustivo, erbaceo, lettiera, necromassa, etc.) ai fini di un più compiuto bilancio del carbonio.

Ringraziamenti

Gli Autori ringraziano il personale dei Servizi Forestali della Provincia Autonoma di Bolzano – Alto Adige e le Organizzazioni dei Vigili del Fuoco Volontari dell'Alto Adige per il supporto logistico prestato, indispensabile per i rilievi di campagna.

Un ringraziamento particolare a Pietro Mastroianni per il prezioso e preciso campionamento degli alberi modello, ad Aldo Matteazzi (Centro di Sperimentazione Agraria e Forestale di Laimburg - Alto Adige) ed a Stefano Morelli (Unità di ricerca per il Monitoraggio e la Pianificazione Forestale CRA-MPF - Villazzano/Trento) per le determinazioni del peso secco dei campioni in laboratorio.

Bibliografia

- 1) Fattorini L., Gasparini P., Nocetti M., Tabacchi G., Tosi V., (2004) - **“Above-ground tree phytomass prediction and preliminary shrub phytomass assessment in the forest stands of Trentino.”** - *Studi Trent. Sci. Nat., Acta Biol.*, 81 (2004), Suppl. 1: 75-121, ISSN 0392-0542 - © Museo Tridentino di Scienze Naturali, Trento 2005.
- 2) Tabacchi G., Di Cosmo L., Gasparini P., (2011) - **“Above-ground tree volume and phytomass prediction equations for forest species in Italy”** - Published online: 12 February 2011. Springer-Verlag.
- 3) Valentine, H.T., Tritton, L.M., Furnival, G.M., (1984) - **“Subsampling trees for biomass, volume, or mineral content.”** - *Forest Science* 30, 673–681.
- 4) **Manuale di campagna per il rilievo degli attributi integrativi (Fase 3+) INFC – CRA-MPF e CRA-ABP, FEM, CFS.**
- 5) Monteith, J., (1972) - **“Solar radiation and productivity in tropical ecosystems.”** - *Journal of Applied Ecology* 9: 747-766.
- 6) Monteith, J., (1977) - **“Climate and efficiency of crop production in Britain.”** *Philosophical Transactions of the Royal Society of London, Ser. B:* 277-294.
- 7) Cescatti A., Gianelle D., Marcolla B., Rodeghiero M., Zorer R., (2003). **“Il ciclo del carbonio negli ecosistemi forestali.”** - *Linea ecologica – Economia montana*, n. 4, 15 pp.
- 8) David P. Turner, William D. Ritts, Warren B. Cohen, Stith T. Gower, Steve W. Running, Maosheng Zhao, Marcos H. Costa, Al A. Kirschbaum, Jay M. Ham, Scott R. Saleska, Douglas E. Ahl., (2006) - **“Evaluation of MODIS NPP and GPP products across multiple biomes.”** - *Remote Sensing of Environment* 102: 282-292.
- 9) Fehrmann L., Kuhr M., von Gadov K., (2003) - **“Zur Analyse der Grobwurzelsysteme großer Waldbäume an Fichte [Picea abies (L.) Karst.] und Buche [Fagus sylvatica L.]”** - *Forstarchiv* 74, 96,102.
- 10) Morelli S., Paletto A., Tosi V., (2006) - **“Il legno morto dei boschi: prove di rilevamento campionario a fini inventariali.”**- *Linea Ecologica*, Nr. 3.
- 11) Picard N., Saint-André L., Henry M. (2012) - **“Manual for building tree volume and biomass allometric equations”** - © FAO and the French research centre CIRAD.
- 12) Gasparini, P., Nocetti, M., Tabacchi, G., Tosi, V. (2006) - **“Biomass Equations and data for Forest Stands and Shrublands of the Eastern Alps.”** - IUFRO Conference (Sustainable Forestry in Theory and Practice, 5-8 April 2005 Edinburgh, Scotland UK. In Sustainable Forestry in Theory and Practice USDA General Technical Report PNW-GTR-688.).
- 13) Sinn T., (1988) - **“Zur Ausbildung des Wurzelwerkes bei Bäumen nach morphologischen Gesichtspunkten und die verschiedenen Einflüsse darauf“** - TU Berlin - (<http://www.baumstatik.de/pages/aufsaeetze/thswurzel.htm>)
- 14) 14 Finera L., Ohashib L., Noguchic K., Hirano Y., (2011) - **“Factors causing variation in fine root biomass in forest ecosystems”** - *Forest Ecology and Management* 261, 265–277.
- 15) Lasserre B., Tognetti R, Marchetti M., (2006) - **“Problematice di inventariazione del carbonio nella biomassa forestale ipogea.”** - Sezione Speciale: Atti 5° Congresso SISEF: Foreste e Società - Cambiamenti, Conflitti, Sinergie. Copyright © by the Italian Society of Silviculture and Forest Ecology.
- 16) 16) Viola F., (1985) - **“Aspetti selvicolturali del ciclo biologico della sostanza organica”** - Atti sul 2° Congresso Nazionale della Soc. Italiana di Ecologia 25/26-6-1984, pag. 1.007-1.021, Ed. Zara – Padova.

Appendice A – Stima della biomassa ipogea

A - Campionamento degli apparati radicali: procedura ed operazioni in campo

Completati i rilievi biometrici relativi alla parte epigea abbattuta, la porzione al piede del fusto compresa fra la sezione di abbattimento ed il colletto, generalmente irregolare, viene pesata ed aggregata alla parte epigea.

Successivamente si procede al campionamento dell'apparato radicale sottostante alla sezione del colletto (Fig. 6) secondo la procedura che segue.

1) Ceppaia e radici di 1° ordine vengono liberate e ripulite dal terreno.

Oltre all'uso di strumenti a mano (badile e piccone), particolarmente efficace si è rivelato l'impiego di un idrogetto ad alta pressione (300 bar) rifornito tramite autobotte di 2000-9000 lt, messa a disposizione dal Corpo dei Vigili del Fuoco Volontari di zona (Fig. 12a-c).



Fig. 12a - Estrazione dell'apparato radicale.



12b - Autobotte da 2000-9000 lt.



12c - Pompa Falch R3B-300 bar.

2) Estrazione della ceppaia

Le ramificazioni radicali di 1° ordine, ovvero di ordine superiore (Fig. 13a-b), vengono sezionate nel punto più prossimo alla ceppaia, ortogonalmente al proprio asse, comunque al termine della conicità laddove la radice presenta

- una sezione subcircolare
- una forma subcilindrica con un decremento diametrico regolare (Fig. 13c);

Di conseguenza tutti i contrafforti radicali “irregolari” sopra la sezione di taglio sono assimilati al peso complessivo della ceppaia.

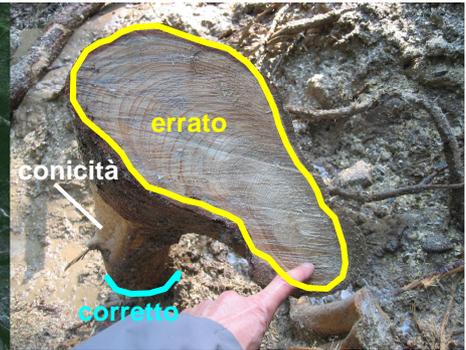
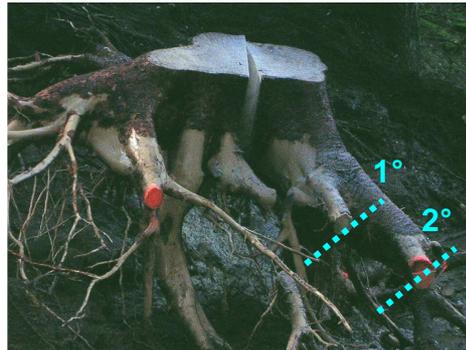
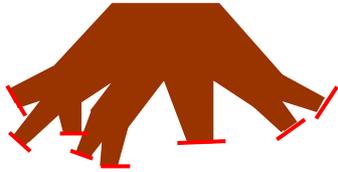


Fig. 13a-b - Sezioni di taglio su radici di 1° e 2° ordine.

Fig. 13c

3) Pesatura della ceppaia

Viene impiegato un dinamometro di elevata capacità (fino a 300 kg) e precisione (0,1 kg)(Fig. 14).



Fig. 14

4) Selezione di radici campione

Si individuano **3 radici di 1° ordine** (possibilmente poste a 120° tra loro) e si estraggono dal terreno fino ad un **diametro distale di 1cm** (Fig. 15).

Fig. 15 – Rappresentazione schematica del sistema radicale e delle tre radici campione.

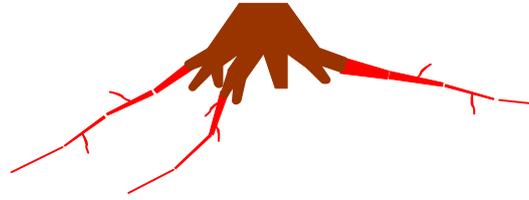


Fig. 16 - Radice campione (18 m) dell'albero modello *Larix decidua* 90_LD_010419. Dalle immagini si evince il notevole sviluppo ed il fitto intreccio degli apparati radicali.

5) Misurazioni

Le tre radici di 1° ordine e le rispettive radici accessorie vengono sezionate in segmenti in corrispondenza di ogni riduzione diametrica di **1cm**.

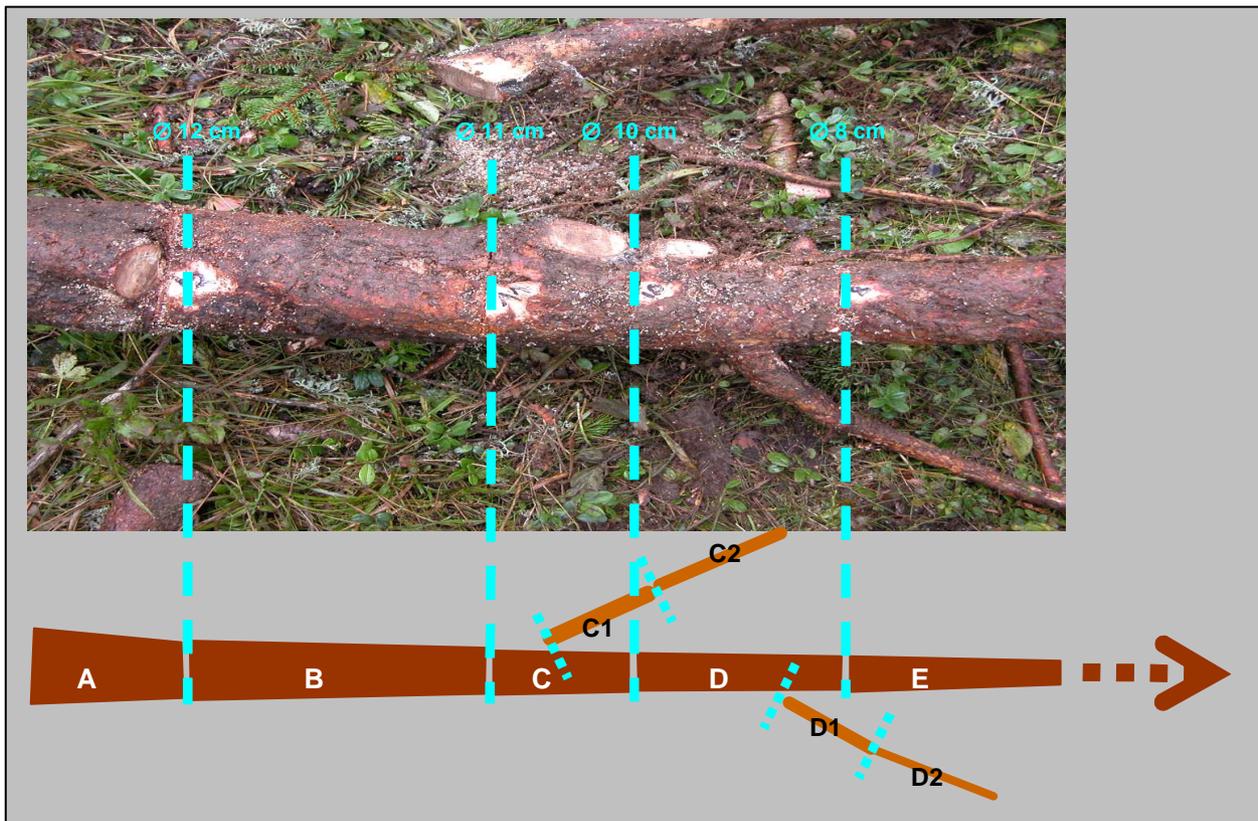


Fig. 17 – Esempio di segmentazione per riduzione diametrica di 1 cm.

Diametro, lunghezza e peso fresco di ogni segmento della radice di 1° ordine vengono misurati procedendo verso l'apice radicale fino al diametro in punta di **1cm**.

La stessa procedura viene applicata alle eventuali radici accessorie (radici di 2°, 3° ordine) di ciascun segmento, registrando l'**ordine** della ramificazione (es. 2) e il **diametro maggiore** del segmento cui afferiscono.

Per l'esempio riportato in Fig. 17 la segmentazione procede dunque secondo la sequenza:

- A
- B
- C
- C1 C2
- D
- D1 D2
- E
- etc.

Le radici con $\varnothing < 1\text{cm}$ presenti sulla radice campione vengono pesate separatamente.

Analogamente si procede per le altre due radici campione di 1° ordine.

Viene inoltre misurato il diametro delle sezioni di taglio sulla ceppaia per tutte le altre radici di 1° ordine NON campionate (Fig. 13a-b).

Un campione rappresentativo di ogni radice viene infine pesato fresco, cartellinato ed inviato al laboratorio per la determinazione del peso secco.

N.B. i parametri biometrici delle radici campione sono stati rilevati con le seguenti approssimazioni:

- 1mm - diametri misurati in due direzioni ortogonali mediante calibro o con banda dendrometrica (Permanent Tree Girth Tape- UMS GmbH · D-81379 München);
- 1 cm - lunghezza segmento;
- 1 g - peso segmento.

B - Stima della fitomassa radicale: metodologia ed analisi statistica

Gli accrescimenti degli apici radicali rispondono a sollecitazioni trofiche di ordine chimico (disponibilità idrica e di nutrienti nel suolo), fisico (presenza di ostacoli, scheletro, substrato geologico), biologico (simbiosi micorrizica, animali) e fisiologico (turnover delle radici fini).

Ne risulta una esplorazione del terreno secondo linee preferenziali, mentre la conformazione dell'apparato radicale, apparentemente caotica e contorta, è comunemente priva di una architettura regolare come è

invece il caso della chioma libera.

La modalità di rastremazione, non lineare, degli assi radicali in seguito a rigonfiamenti, calli, necrosi, ramificazioni ed anastomosi, rende quindi oltremodo difficoltosa una misura delle masse per via volumetrica, mentre anche il peso dei singoli segmenti non risulta direttamente correlato con il rispettivo diametro.

Per ovviare a tali inconvenienti è stata preventivamente regolarizzata la serie dei segmenti di cui è composta ogni radice campione attribuendo a ciascun segmento:

Tab. 7 - Esempio di ripartizione delle masse per segmenti (radice campione albero modello *Picea abies* 53_PA_011296) laddove non sono rilevabili i segmenti relativi ai diametri di 9,7,6,5 cm.

Ø cm	13→12	12→11	11→10	10→8	8→4	4→3	3→2	2→1
Peso kg	6,794	1,515	0,644	0,615	1,486	2,343	0,667	-
Lung. cm	67,0	19,0	9,0	12,5	39,0	214,5	218,0	-

- il proprio peso
- il peso delle radici accessorie afferenti di 2° ordine o superiore
- il peso delle radici con diametro <1 cm (essendo queste distribuite casualmente su tutta la radice il peso viene ripartito in proporzione al peso del segmento)

mentre ai segmenti di radice mancanti o non misurabili (segmenti occulti in quanto non accessibili o distinguibili per l'estrema rastremazione o ramificazione della radice campione, es. Ø 9 cm in Fig. 17 Tab. 7) è stato attribuito un peso ricostruito per via analitica (gap-filling).

È stata quindi ricercata la funzione che correla il **peso secco cumulato** ($R_{DW} = \text{root dry weight}$) dei segmenti sottesi da un diametro prossimale dato (d_i) allo stesso diametro, scelto come predittore.

I modelli sono stati elaborati analiticamente mediante il programma STATISTICA 8.0 applicando la tecnica

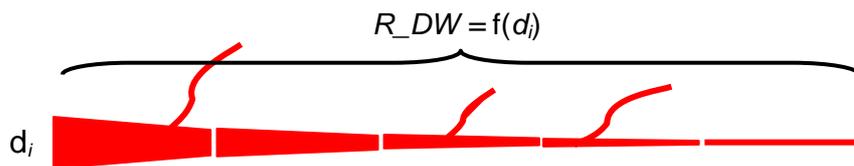
della regressione lineare multipla ai minimi quadrati, con intercetta a zero ed in modalità *stepwise forward*.

Le equazioni previsionali includono solo il predittore (d , d^2 , d^3) più idoneo (t test $p < 0.05$), tale da soddisfare le seguenti condizioni:

- significativo coefficiente di determinazione (r^2);
- i valori predetti devono essere positivi;
- il modello descrive la serie diametrica completa (dalla sezione prossima alla ceppaia fino al diametro di 1 cm in punta);
- valore min predetto con intercetta a 0;
- valore max predetto non deve eccedere il valore massimo osservato;

Queste condizioni prefigurano un approccio di tipo conservativo, ovvero i valori ponderali predetti ottenuti sono per postulato prudenzialmente sottostimati, ma per questo verificati e certi.

Fig. 18 – Restituzione grafica della funzione che integra la rastremazione della radice sopra la sezione di diametro d_i .



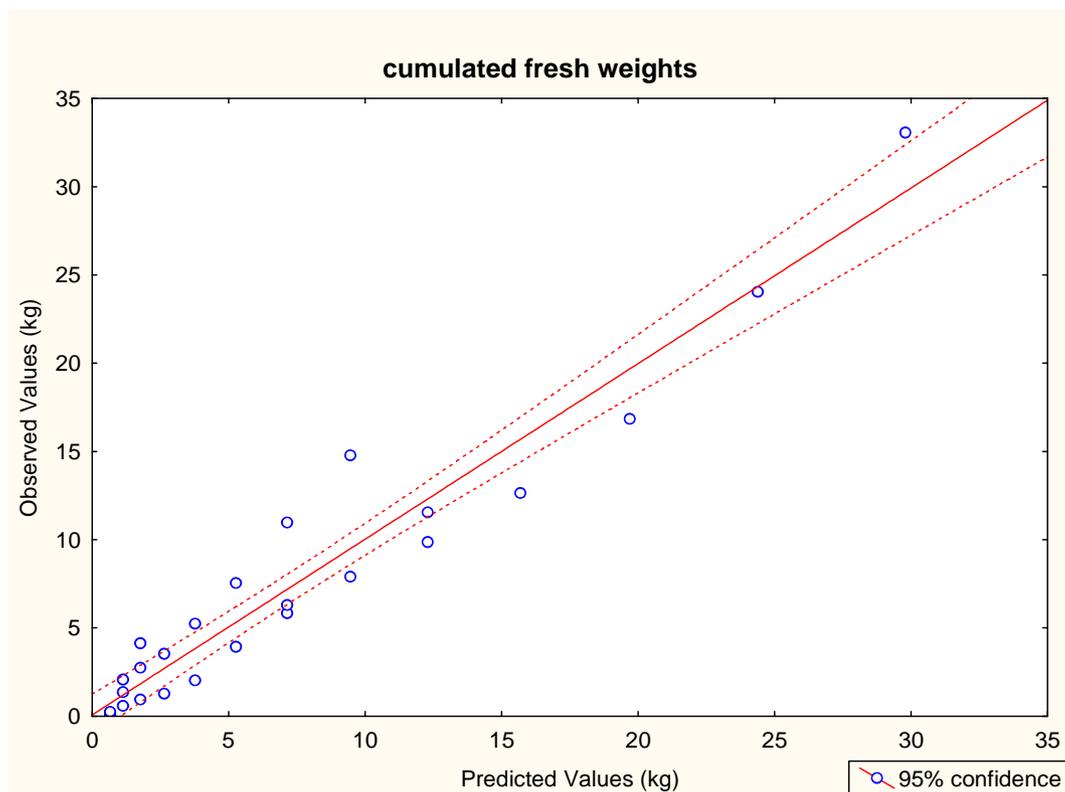


Fig. 19 - valori predetti ed osservati del peso fresco cumulato di tutti i segmenti radicali in funzione del proprio diametro prossimale d_i (albero modello 53_PA_011296).

Ogni equazione risponde al modello generale di forma:

$$\text{Root Fresh Weight } R_{FW} = b_1 d_i + b_2 d_i^2 + b_3 d_i^3$$

dove:

$b_{1,2,3}$ coefficienti di regressione
 d_i diametro della radice

Nel caso esemplare dell'albero modello 53_PA_011296 valgono i seguenti parametri

Tab. 8 – Parametri della regressione ai minimi quadrati per il modello di biomassa (albero 53_PA_011296).

R_{FW} = 0,293991745107125 d + 0,00935812832768314 d³				Adj. R² = ,96111426
	b	Std.Err.	t	p-level
d	0,29399174510712500	0,116219	2,529645	0,018396
d³	0,00935812832768314	0,000971	9,632714	0,000000

Il modello predittivo, ottenuto sulla base dei valori ponderali cumulati in funzione del diametro per 3 radici campione, viene applicato alle altre radici primarie non campionate (delle quali è stato precedentemente misurato il diametro prossimale in campo). Si perviene in tal modo al peso della biomassa ipogea (al netto delle perdite di corteccia) fino al diametro di 1 cm in punta.

Al peso fresco degli assi radicali viene aggiunto il peso fresco della ceppaia e le perdite di corteccia stimate intorno al 10-15% del peso fresco radicale.

Il peso fresco di ceppaia e radici moltiplicate per i rispettivi coefficienti di densità basale, desunti da campioni analizzati in laboratorio, forniscono la biomassa ipogea totale secca del singolo albero modello.

Il modello generale per la stima della biomassa radicale di *Picea abies* e *Larix decidua*, costruito sulla base di $n=11$ ed $n=4$ campioni rispettivamente, è riportato come $R_{DW_{BZ}}$ in Tab. 4 e 5.

Mentre nella regressione relativa a *Picea abies* figura il prodotto d^2h , quale Ogawa et al. (1965) indicano come predittore ai fini di una stima più esatta (15), per *Larix decidua* questi è dato dal prodotto d^2h^2 , ciò che indica una più debole correlazione con il diametro a 1,30 m.

Appendice B – Analisi comparativa fra modelli previsionali alternativi della fitomassa di *Picea abies*

Le equazioni di stima riportate in Tab. 4 e 5 sono il risultato di un'analisi volta ad individuare il modello previsionale più aderente alla realtà altoatesina.

L'accuratezza nella stima della biomassa in funzione dei predittori prescelti d h si rende necessaria soprattutto per il comparto del fusto (S_{DW}) che, con oltre la metà del peso complessivo della biomassa totale, rappresenta l'aspetto di più immediato interesse commerciale.

La Fig. 20 riporta a titolo esemplificativo le regressioni lineari relative al rapporto fra il peso secco del fusto di 67 abeti rossi campionati in provincia di Bolzano ed i rispettivi valori predetti secondo due equazioni costruite considerando rispettivamente 150 alberi campionati fra Bolzano e Trento (BZ+TN), ovvero il solo sottocampione di Bolzano (BZ).

Come si evince dal coefficiente di determinazione (r^2) prossimo a 1 fra valori osservati e predetti dai modelli, ambedue le regressioni descrivono coerentemente la variazione lineare della biomassa del fusto.

Il modello predittivo BZ+TN, sia pure con una lieve sovrastima rispetto al dato osservato, risulta essere statisticamente più robusto in virtù del collettivo più numeroso e pertanto applicabile anche al sottocampione di BZ.

Analogamente si è proceduto per la stima della biomassa secca epigea (AG_{DW}), per la quale sono stati costruiti e applicati al campione di Bolzano ($n=67$ alberi) i seguenti modelli:

SUMM – somma dei modelli biometrici dei singoli comparti

BZ+TN – modello di AG_{DW} elaborato sul campione di 150 alberi modello (BZ+ TN)

BZ – modello di AG_{DW} elaborato sul campione di 67 alberi modello di BZ

Fattorini – modello di AG_{DW} proposto in Fattorini et Al. (2004)

Tutti i modelli esprimono coerentemente la variazione del dato ponderale in funzione del diametro fino a 45-50 cm (Fig. 21), soglia sotto alla quali ricade il 93-95% del popolamento di abete rosso censito dall' INFC (\emptyset max. 86 cm).

Il modello **Fattorini** evidenzia relativamente ai diametri superiori scostamenti maggiori e sovrastimati rispetto ai valori osservati di biomassa, ciò evidentemente in quanto tale modello non annovera alberi di grandi dimensioni nel collettivo campione di Trento.

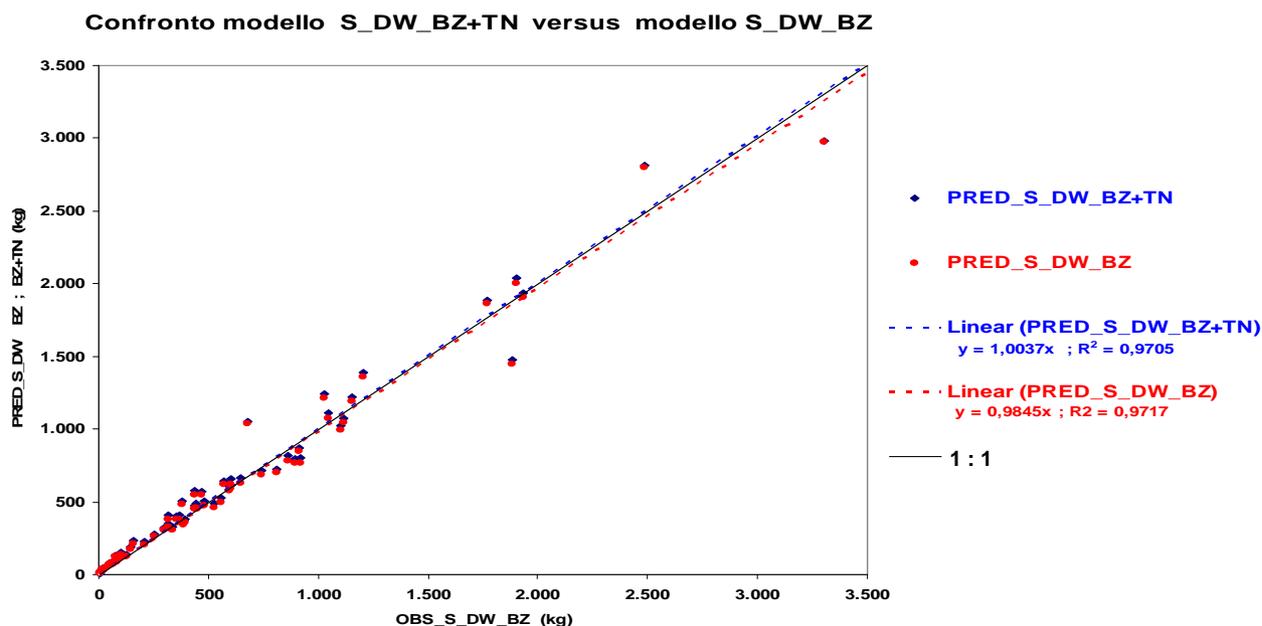


Fig. 20. – Regressione lineare tra la biomassa del fusto osservata in alberi campioni di *Picea abies* di Bolzano (OBS_S_DW_BZ) ed i valori predetti secondo due modelli alternativi (PRED_S_DW BZ+TN e BZ).

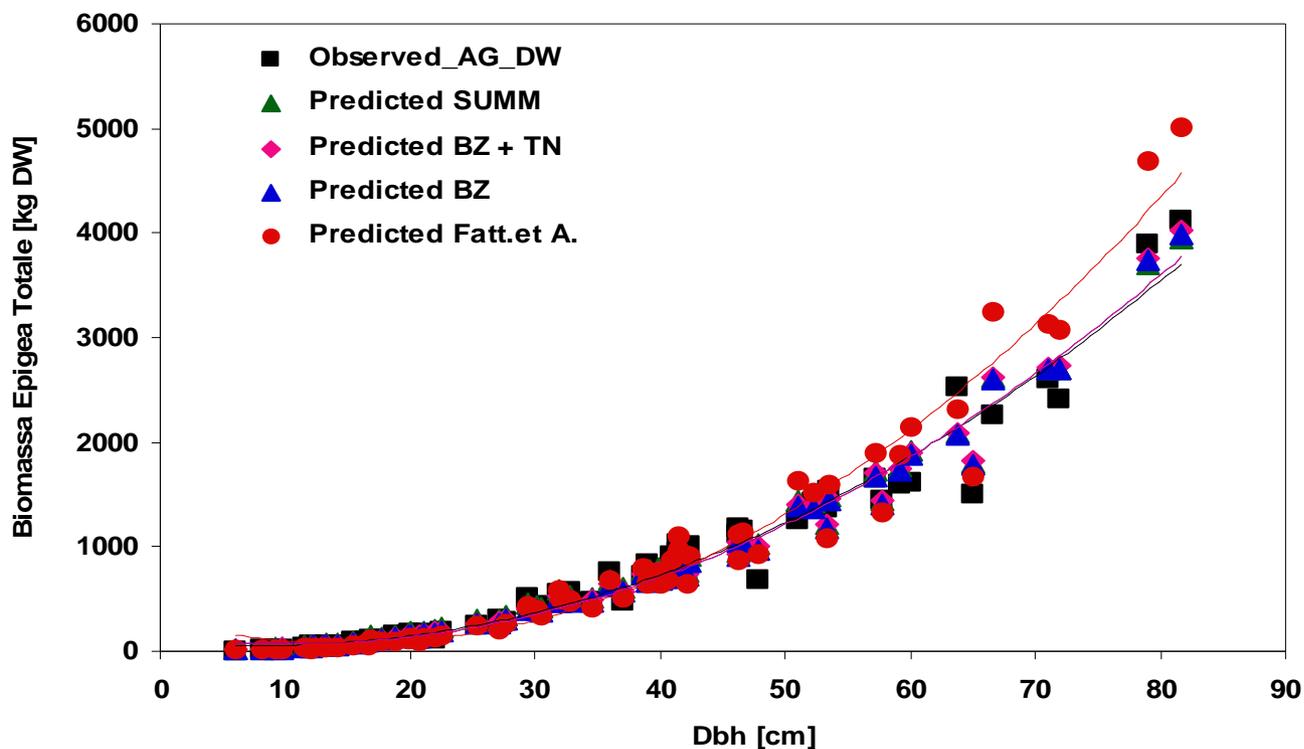


Fig. 21. – Valori predetti di biomassa epigea di *Picea abies* secondo quattro equazioni alternative in funzione del diametro a 1,30 m.

Tale sovrastima della biomassa epigea per i diametri maggiori secondo il modello **Fattorini**, emerge più chiaramente dal confronto fra i valori di biomassa predetti e quelli osservati (Fig. 22).

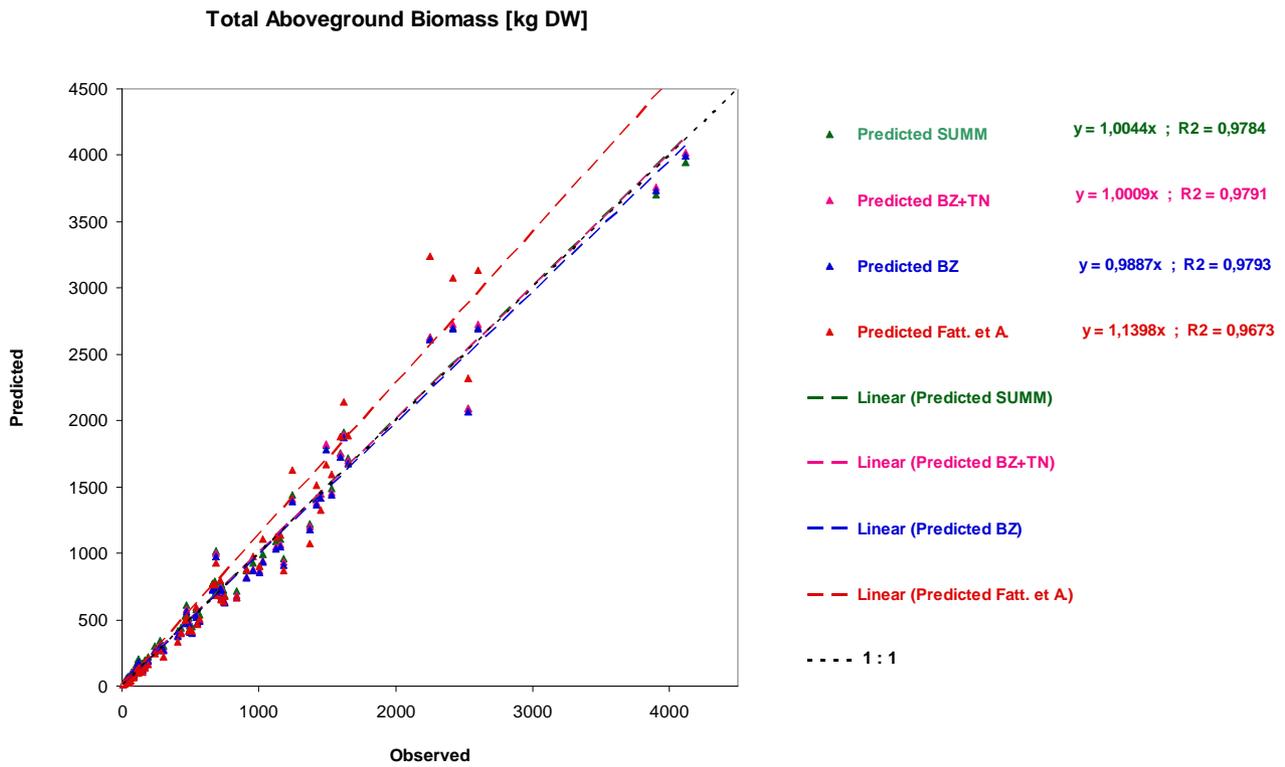


Fig. 22. – Valori predetti vs. osservati di biomassa epigea di *Picea abies* secondo quattro modelli biometrici alternativi.

Il modello additivo (SUMM) si propone, fra le funzioni allometriche analizzate, quale più appropriato per la stima della biomassa epigea di *Picea abies*. Ciò data la sua elevata capacità predittiva (comparabile con i modelli BZ e BZ+TN), l'assenza di errori sistematici (pendenza di 1,0044 in Fig. 22) e la consistenza con i modelli biometrici dei diversi comparti di biomassa, dei quali rappresenta la somma (cfr. paragrafo 4., Tab. 4).

La linearità della correlazione fra valori predetti così definiti e valori osservati rispetto al predittore d^2h si evince in Fig. 23.

Dall'applicazione del modello predittivo per la biomassa epigea (SUMM) e delle equazioni di Tab. 4 e 5, rispettivamente per *Picea abies* e *Larix decidua*, derivano gli elaborati in Appendice C.

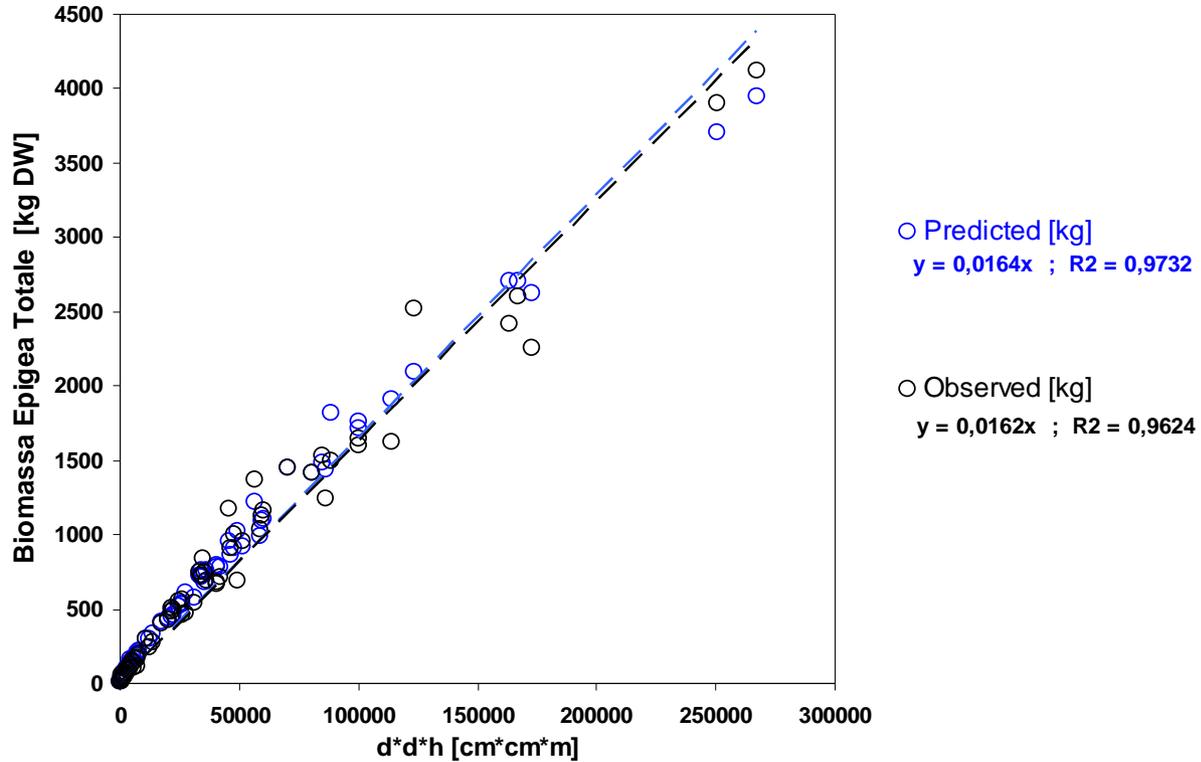


Fig. 23 – Correlazione fra valori predetti e osservati della biomassa totale epigea in funzione del predittore d^2h .

Appendice C: tavole a doppia entrata di biomassa e volume.

Le tavole a doppia entrata (Tab. 9 e 10) ed i grafici (Fig. 24 e 25) esprimono la **biomassa epigea secca [kg DW]** per classi di diametro (Dbh 1,30m) ed altezza (range dei valori definito sulla base del campione di alberi modello di BZ e siti INFC).

Tab. 9 - *Picea abies* - Biomassa Epigea Secca [kg DW]

Height (m)	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40		
5	7	9	10	12	13																	
10		31	35	38	42	46	49	53														
15			73	80	86	93	100	106	113	119												
20					146	157	167	177	187	198	208	218	228									
25					221	236	251	266	281	295	310	324	339	353								
30					312	332	352	373	393	412	432	452	472	491	511	530						
35					418	445	471	497	523	549	575	600	626	651	677	702	727					
40								639	672	705	737	770	802	834	866	898	930	962				
45								799	840	880	920	960	1000	1040	1079	1119	1158	1197				
50										1074	1123	1171	1219	1267	1315	1363	1410	1457	1505			
55										1288	1346	1403	1460	1517	1574	1631	1687	1744	1800			
60										1521	1589	1656	1723	1790	1857	1923	1989	2055	2121	2187		
65											1852	1930	2007	2085	2162	2239	2316	2392	2469	2545		
70																2579	2667	2755	2843	2930		
75																	2943	3043	3143	3243	3343	
80																		3331	3444	3557	3670	3782

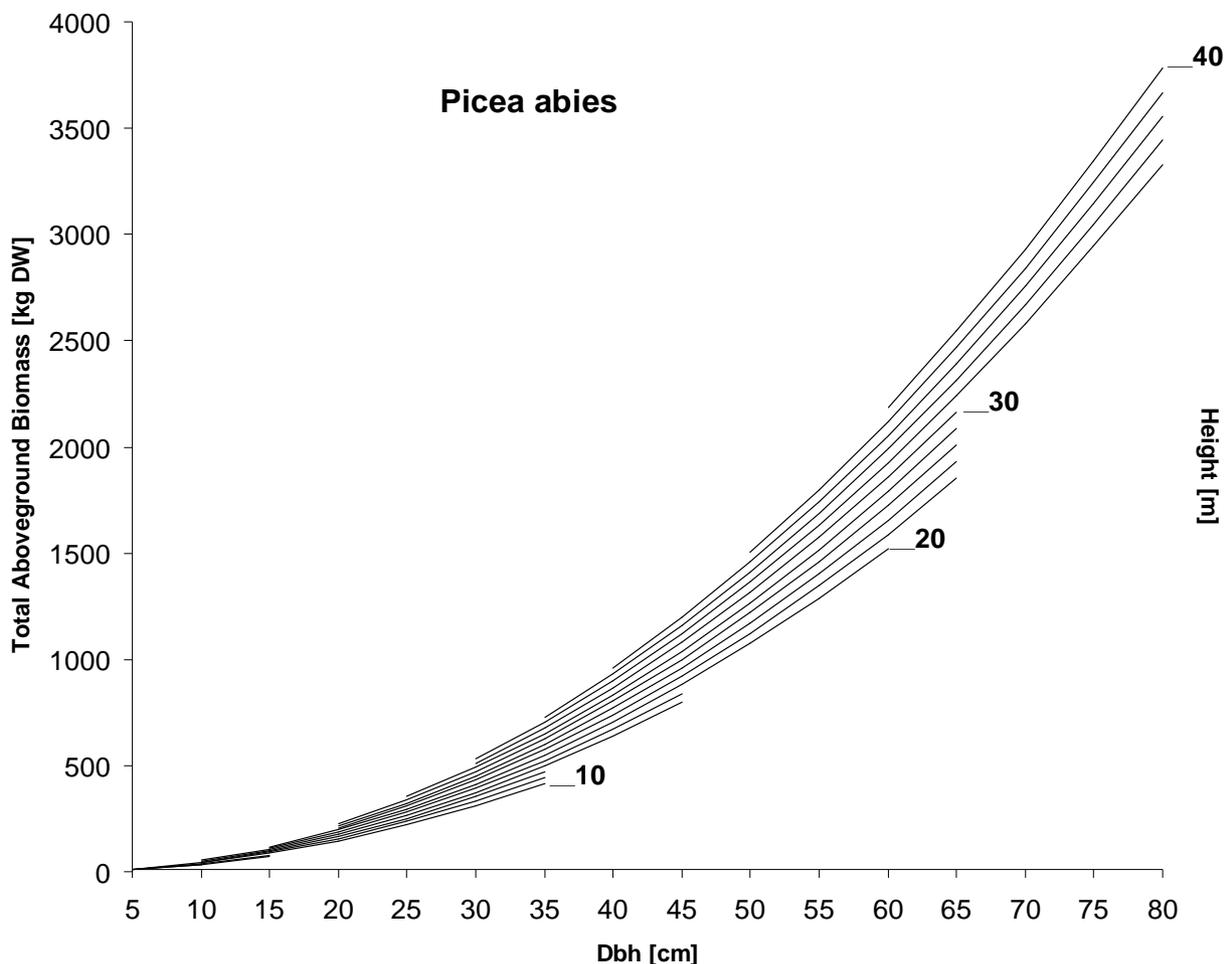


Fig. 24 - *Picea abies* - Biomassa Epigea Secca [kg DW]

Tab. 10- *Larix decidua* - Biomassa Epigea Secca [kg DW]

Height (m)	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40	
5	7	9	13	17																
10	19	25	31	38	45	52														
15	39	49	59	69	80	91	103	116	129											
20			96	111	127	144	161	178	196	215										
25				164	186	209	232	256	280	305	330	356								
30					257	287	318	349	380	412	445	478	512	546	580	615				
35					340	379	418	457	497	538	579	620	662	705	748	791				
40						483	532	581	630	681	731	782	834	886	939	992	1046			
45							660	720	780	841	903	964	1027	1090	1153	1217	1282			
50							802	874	946	1019	1093	1167	1241	1316	1391	1467	1544			
55								1044	1129	1215	1302	1389	1476	1564	1653	1742	1831	1921	2012	
60									1328	1428	1529	1630	1732	1835	1937	2041	2145	2249	2354	
65									1544	1660	1776	1892	2010	2127	2246	2364	2484	2603	2724	
70										1908	2041	2174	2308	2442	2577	2712	2848	2985	3121	
75											2325	2476	2628	2780	2932	3085	3239	3393	3547	
80												2798	2968	3139	3310	3482	3655	3828	4001	
85														3521	3712	3904	4097	4290	4483	
90															4137	4351	4564	4779	4993	

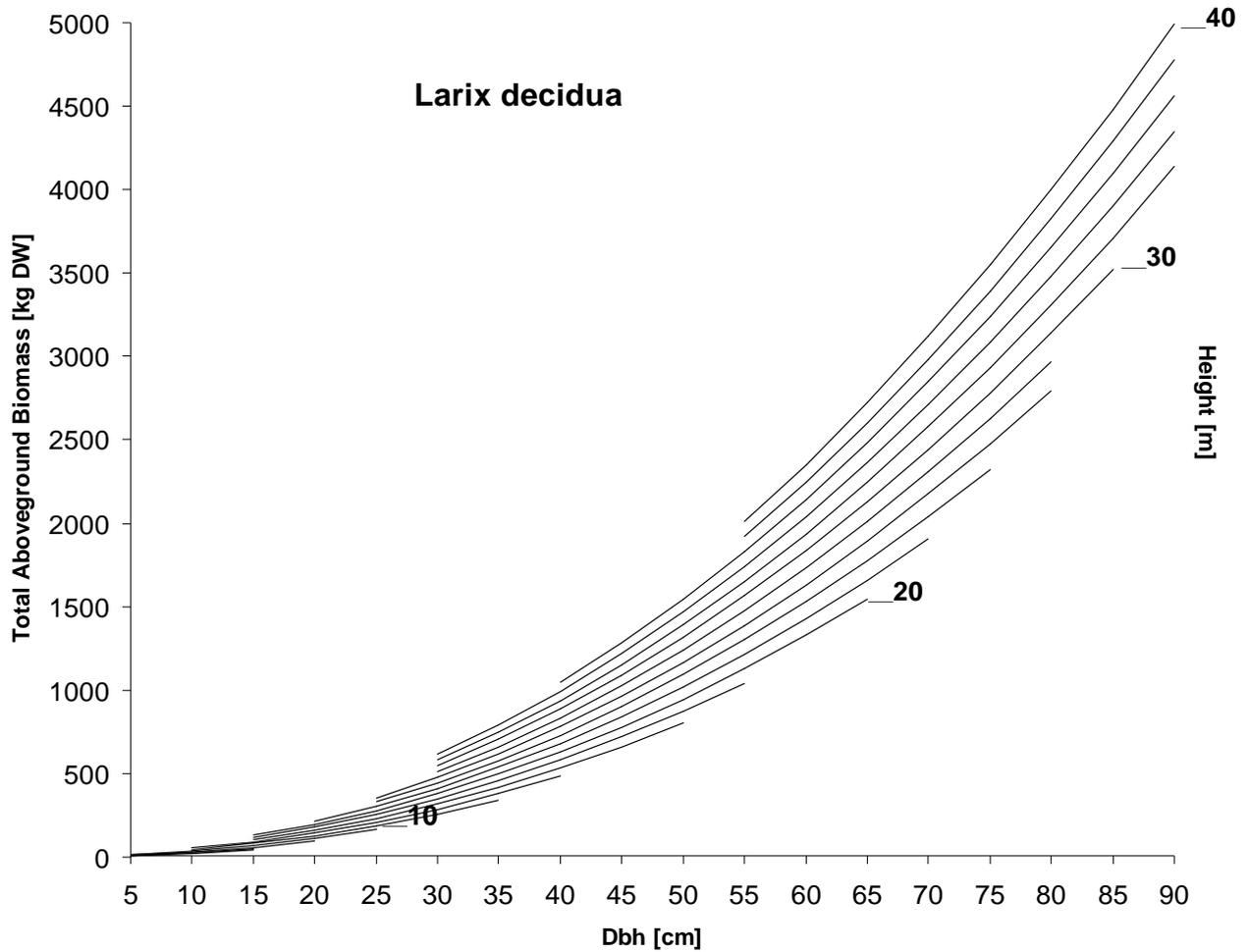


Fig. 25 - *Larix decidua* - Biomassa Epigea Secca [kg DW]

Le tavole a doppia entrata (Tab. 11 e 12) ed i grafici (Fig. 26 e 27) che seguono esprimono la **biomassa totale** (epigea+ipogea) **secca [kg DW]** per classi di diametro (Dbh 1,30m) ed altezza (range dei valori definito sulla base del campione di alberi modello e siti INFC).

Tab. 11 - *Picea abies* - Biomassa Totale Secca [kg DW]

Height (m)	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40	
5	8	9	11	13	15																
10		33	38	43	48	53	58	63													
15			81	91	101	110	120	129	138	148											
20					171	187	202	218	233	248	263	278	293								
25					261	284	306	329	352	374	397	419	442	464							
30					369	401	432	464	495	526	557	589	620	650	681	712					
35					496	537	579	621	662	704	745	786	827	868	909	950	990				
40								801	854	907	960	1012	1065	1117	1170	1222	1274	1326			
45								1004	1070	1136	1202	1267	1333	1398	1463	1528	1593	1658			
50										1390	1470	1550	1630	1710	1789	1868	1947	2026	2105		
55										1671	1766	1862	1957	2053	2148	2243	2337	2432	2526		
60										1976	2089	2202	2315	2427	2539	2651	2763	2874	2986	3097	
65											2439	2571	2702	2833	2963	3094	3224	3354	3484	3613	
70																3570	3720	3870	4020	4169	
75																4081	4252	4423	4594	4765	
80																4626	4820	5013	5207	5400	

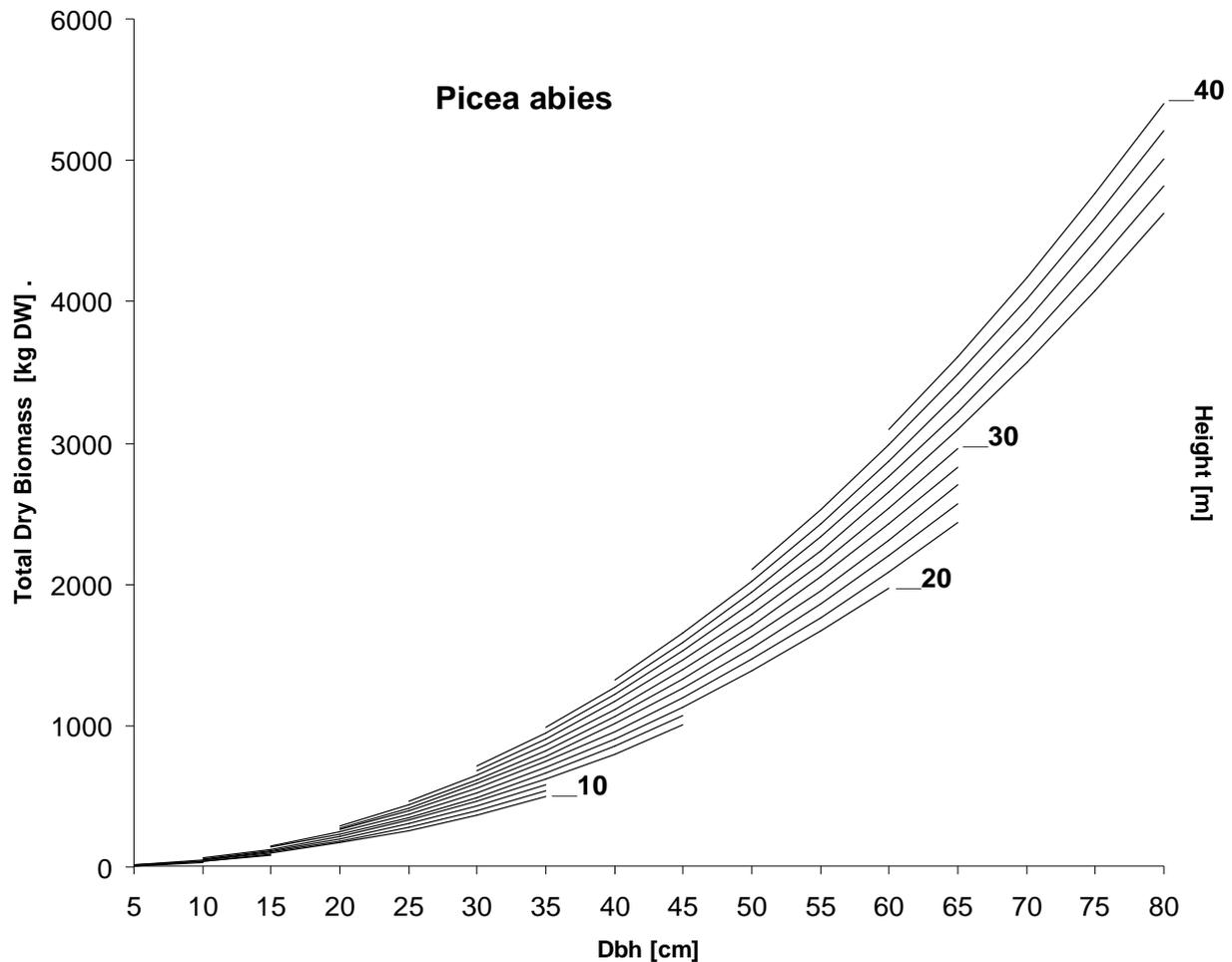


Fig. 26 - *Picea abies* - Biomassa Totale Secca [kg DW]

Tab. 12 - *Larix decidua* - Biomassa Totale Secca [kg DW]

Height (m)	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40		
5	7	10	13	18																	
10	20	26	34	42	50	60															
15	41	52	64	78	93	109	127	145	165												
20			106	127	151	175	202	231	261	293											
25				190	223	258	297	338	381	427	475	526									
30					310	359	411	466	526	588	654	723	796	872	952	1035					
35					411	476	544	617	695	777	863	954	1050	1149	1254	1362					
40						610	697	790	888	993	1103	1218	1340	1467	1600	1738	1882				
45							869	984	1107	1236	1373	1516	1667	1825	1990	2161	2340				
50								1060	1201	1350	1507	1673	1848	2031	2223	2424	2633	2850			
55									1439	1617	1805	2004	2213	2432	2662	2902	3152	3412	3683	3964	
60										1909	2131	2365	2612	2870	3141	3424	3719	4026	4345	4676	
65											2225	2484	2757	3044	3345	3661	3990	4334	4692	5063	5449
70												2865	3179	3510	3857	4221	4600	4997	5409	5838	6283
75													3631	4009	4406	4821	5255	5707	6178	6668	7176
80														4542	4991	5462	5953	6466	6999	7554	8130
85																6143	6696	7272	7872	8497	9145
90																	7482	8126	8797	9495	10219

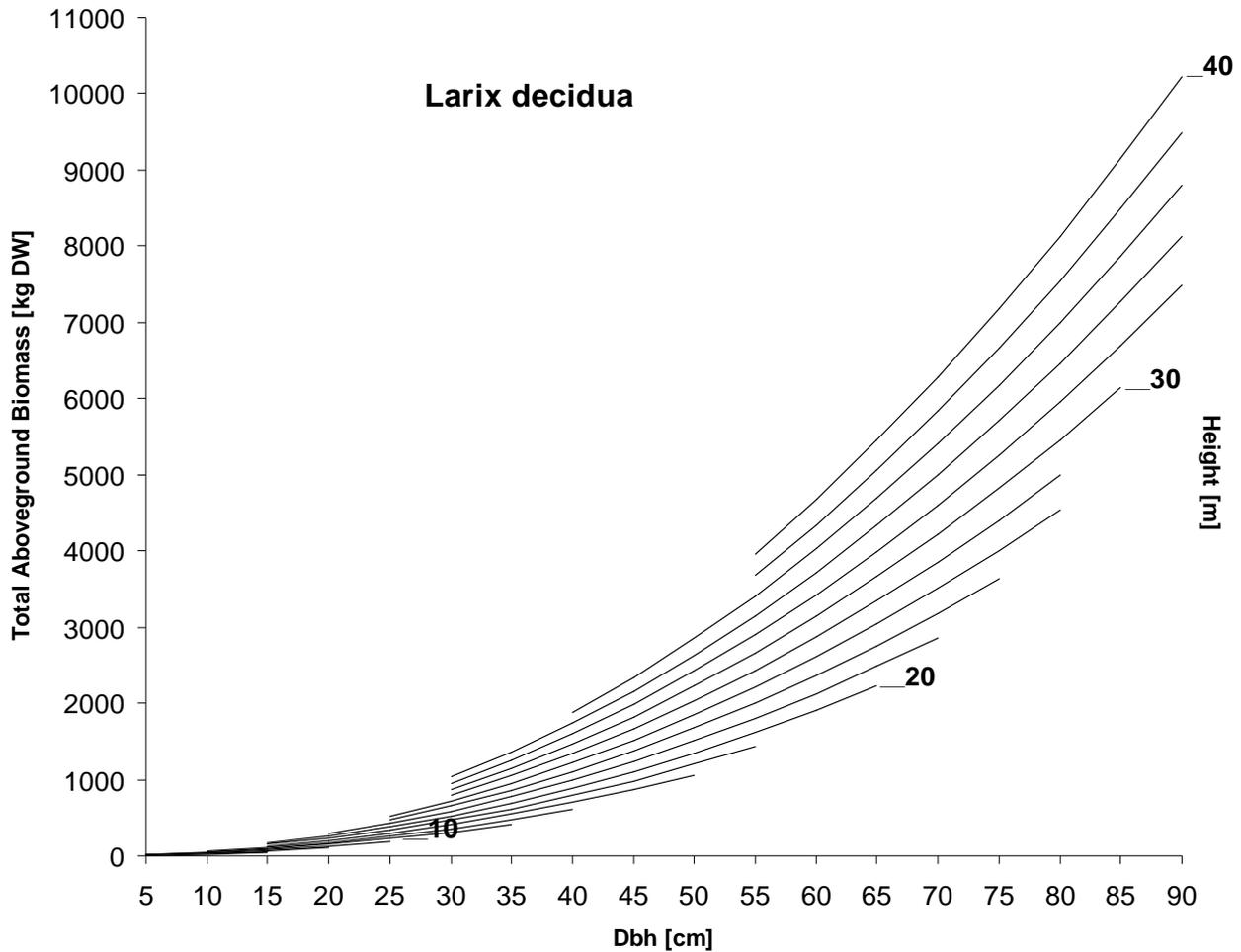


Fig. 27 - *Larix decidua* - Biomassa Totale Secca [kg DW]

Le tavole a doppia entrata (Tab. 13 e 14) ed i grafici (Fig. 28 e 29) che seguono esprimono il **volume cormometrico** [dm^3] per classi di diametro (Dbh 1,30m) ed altezza (range dei valori definito sulla base del campione di alberi modello e siti INFC).

Tab. 13 - *Picea abies* - Volume Cormometrico [dm^3]

Height (m)	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40	
5	2	3	5	6	8																
10		13	19	26	32	39	45	52													
15			44	58	73	88	102	117	132	146											
20					130	156	182	208	234	260	286	312	338								
25					203	244	284	325	365	406	447	487	528	568							
30					292	351	409	468	526	585	643	701	760	818	877	935					
35					398	477	557	636	716	796	875	955	1034	1114	1193	1273	1352				
40								831	935	1039	1143	1247	1351	1455	1559	1663	1767	1870			
45								1052	1184	1315	1447	1578	1710	1841	1973	2104	2236	2367			
50										1624	1786	1948	2111	2273	2435	2598	2760	2923	3085		
55										1965	2161	2358	2554	2750	2947	3143	3340	3536	3733		
60										2338	2572	2806	3039	3273	3507	3741	3975	4208	4442	4676	
65											3018	3293	3567	3842	4116	4390	4665	4939	5213	5488	
70																5092	5410	5728	6046	6365	
75																5845	6210	6576	6941	7306	
80																6650	7066	7482	7897	8313	

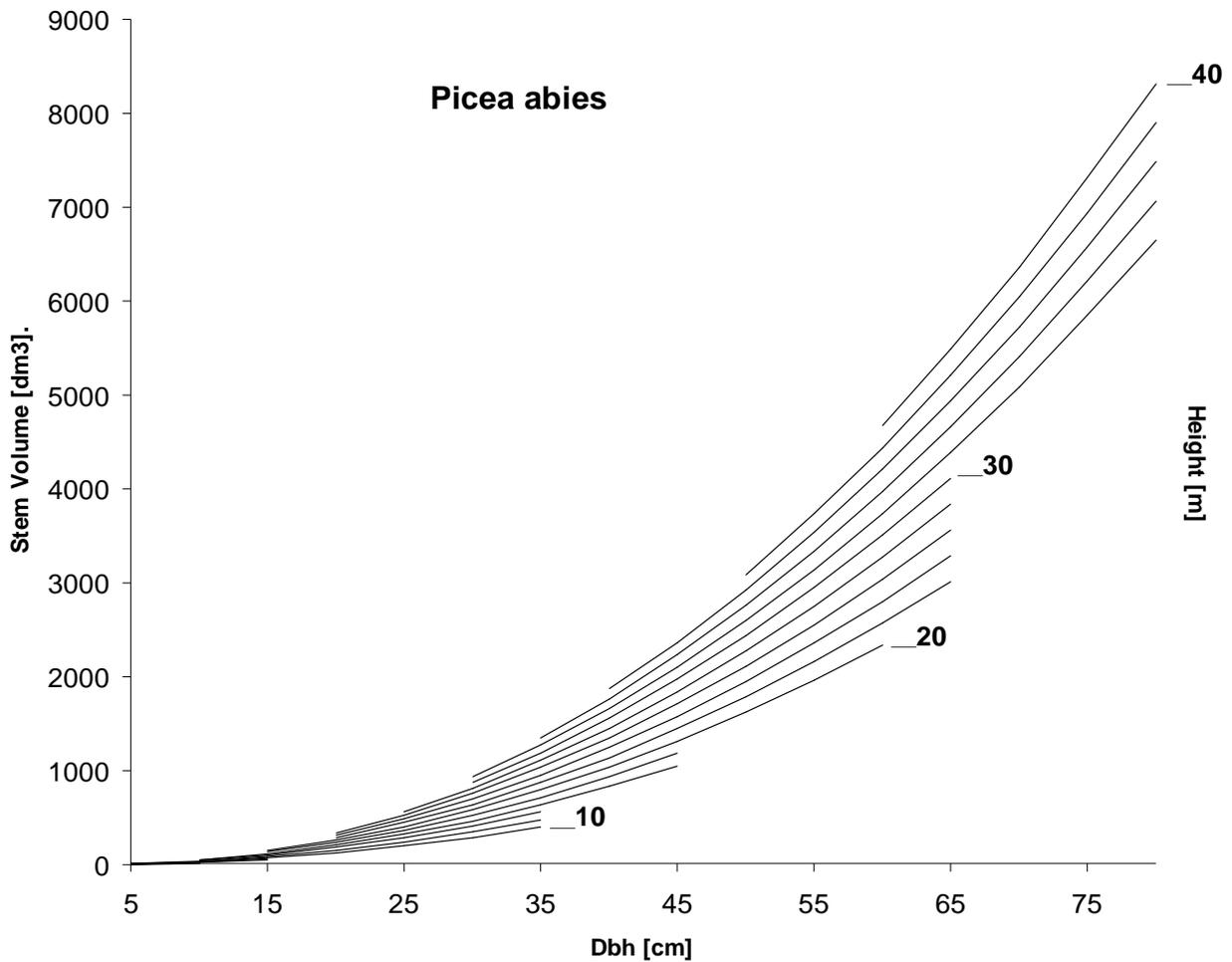


Fig. 28 - *Picea abies* - Volume Cormometrico [dm^3]

Tab. 14 - *Larix decidua* - Volume Cormometrico [dm³]

Height (m)	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40	
5	4	6	10	14																
10	11	19	28	39	51	64														
15	24	39	56	75	96	119	144	172	201											
20			91	121	154	189	227	268	312	358										
25			178	225	274	327	384	444	507	574	645									
30				308	374	445	519	597	680	767	858	953	1052	1156	1263					
35				405	490	579	673	773	877	985	1099	1218	1341	1469	1603					
40					620	731	847	969	1097	1230	1368	1513	1662	1818	1978	2145				
45						900	1041	1188	1341	1500	1666	1838	2016	2200	2391	2588				
50						1087	1254	1428	1609	1797	1991	2193	2402	2618	2840	3070				
55							1486	1689	1900	2119	2345	2579	2821	3070	3327	3591	3863	4143		
60								1973	2216	2467	2727	2995	3271	3556	3849	4151	4461	4779		
65								2277	2555	2841	3137	3441	3755	4077	4409	4749	5099	5458		
70									2918	3241	3575	3918	4270	4633	5005	5387	5779	6180		
75										3667	4041	4424	4819	5223	5638	6064	6499	6946		
80											4535	4961	5399	5848	6308	6779	7261	7755		
85													6012	6507	7014	7533	8064	8607		
90														7201	7758	8327	8908	9502		

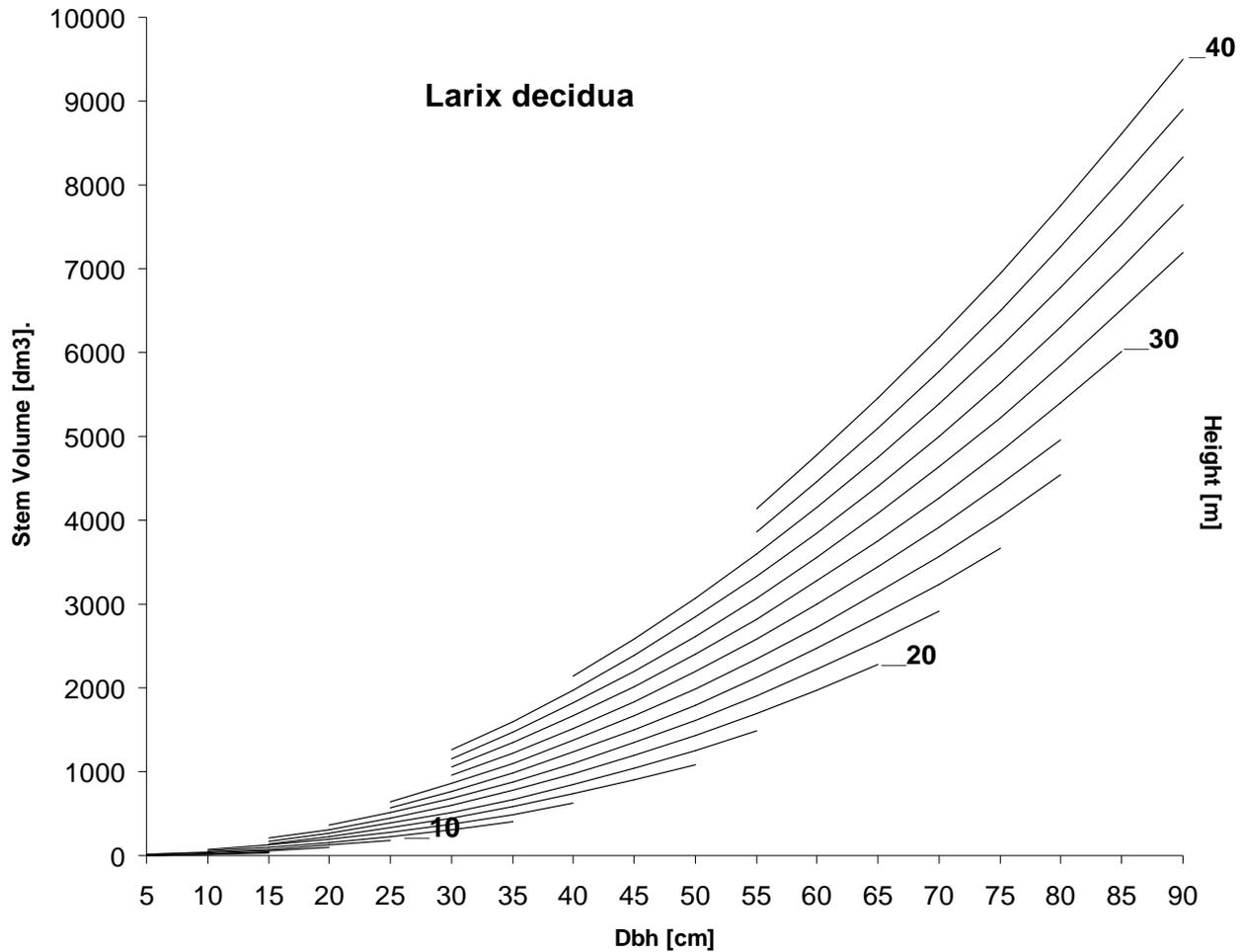


Fig. 29 - *Larix decidua* - Volume Cormometrico [dm³]