



COMUNICAZIONI DI RICERCA

dell'Istituto Sperimentale per l'Assestamento Forestale e per l'Alpicoltura



**INDAGINI BIOMETRICHE, ECOLOGICHE E
SELVICOLTURALI IN BOSCHI CEDUI DEL TRENTINO
E DELLA SARDEGNA MERIDIONALE**

*Biometrical ecological and silvicultural studies for
coppice stands in Trentino and Southern Sardinia*

TAVOLE PER LA DETERMINAZIONE DIRETTA DELLA MASSA LEGNOSA IN PIEDI DEI BOSCHI CEDUI DEL TRENTINO³

Stand volume equations for coppice stands in Trentino

FDC: 524 222 - - 015.5

- 1 Funzionario del Servizio Foreste della Provincia Autonoma di Trento.
- 2 Direttore della Sezione di Biometria forestale dell'Istituto Sperimentale per l'Assestamento Forestale e per l'Alpicoltura.
- 3 Il dott. Lucio Sottovia ha curato l'inquadramento floristico-vegetazionale delle formazioni esaminate; il dott. Giovanni Tabacchi ha condotto l'elaborazione dei dati e l'approntamento dei modelli previsionali. Gli autori ringraziano i dottori Marcello Scutari e Cristina Gandolfo, funzionari del Servizio Foreste della PAT, per la collaborazione fornita in alcune fasi del lavoro e il dott. Giuliano Casagrande, responsabile dell'Ispettorato distrettuale delle foreste di Pergine, per le informazioni fornite sulle modalità del rilevamento inventariale.

1 Introduzione

Tra i metodi di determinazione diretta della massa legnosa dei soprassuoli forestali, in particolare qualora non sia necessario conoscere le sue ripartizioni in termini dimensionali o dendrologici, le tavole di cubatura di popolamento si propongono come uno degli strumenti estimativi più pratici e accurati. In uno dei primi e più consultati testi sugli inventari forestali (SPURR, 1952), un intero capitolo è dedicato a un riassunto della lunga storia - iniziata alla metà del secolo scorso - che caratterizza l'impiego di questo metodo di stima diretta e all'illustrazione delle diverse tavole di popolamento prodotte fino a quel momento soprattutto negli Stati Uniti. Considerevole spazio alla loro descrizione è stato dato in seguito in altri famosi testi di inventari e misurazioni forestali, tra i quali si possono ricordare le opere di LOETSCH *et al.* (1973), di CLUTTER *et al.* (1983), di PARDÉ e BOUCHON (1988).

Diverse esperienze di preparazione e di utilizzo di tavole di popolamento sono descritte anche nella letteratura periodica o in monografie; tra i tanti, si ricordano i lavori di BUCKMAN (1961), di RONDEUX (1977), di EVERT (1983), di DAGNELIE *et al.* (1985), di THAM (1988) e di NAESSET (1993, 1994, 1995). Infine per l'Italia si segnalano i lavori di DEL FAVERO (1980) per boschi cedui a dominanza di faggio della Val Belluna, di BIANCHI (1984) per le fustaie di faggio di origine agamica della Toscana, di TABACCHI e TOSI (1995) per le pinete a pino silvestre italiane.

Un aspetto comune ai diversi contributi prodotti sull'argomento sta nel considerare le tavole di cubatura di popolamento come uno strumento di facile e semplice impiego, tuttavia in grado di permettere il raggiungimento di stime precise e accurate della massa legnosa dei soprassuoli forestali. L'adozione di tale strumento estimativo diventa particolarmente favorevole nelle situazioni in cui non esistano o risulti impraticabile l'impiego di tavole di cubatura per singolo albero, in cui sia possibile adottare procedure speditive per la determinazione dell'area basimetrica unitaria, in cui l'altezza media degli alberi dominanti e codominanti sia un buon indicatore dello spazio epigeo effettivamente occupato. Tali condizioni ricorrono molto spesso nei casi di inventariazione dei boschi governati a ceduo e non sono infrequenti nell'ambito delle determinazioni relative ai soprassuoli governati a fustaia.

A metà degli anni Ottanta, in provincia di Trento è stata avviata un'attività di inventariazione dei boschi privati con l'obiettivo di acquisire su base particellare tutte le informazioni necessarie, unitamente a quelle fornite dai piani di assestamento che interessavano oltre il 70 % della superficie forestale totale, per la formulazione delle politiche di gestione e di sviluppo delle risorse forestali provinciali (CASAGRANDE, *com. pers.*). Questa attività ha comportato tra l'altro la realizzazione di molte aree di saggio che hanno interessato sia i cedui di pro-

prietà privata, che occupano circa il 35 % dell'intera superficie boscata governata a ceduo, che quelli di proprietà pubblica, al fine di migliorare le stime sulle masse legnose in precedenza condotte con valutazioni soggettive. E' stata così raccolta una notevole mole di informazioni che può essere utilmente impiegata per studiare, per alcuni principali tipi di composizione dei soprassuoli cedui del territorio trentino, la relazione esistente tra la massa legnosa a ettaro e le corrispondenti area basimetrica unitaria e altezza dominante, e quindi per predisporre apposite tavole di cubatura di popolamento.

Con la presente nota, dopo una estesa descrizione delle formazioni forestali interessate dal rilevamento dendrometrico e della loro collocazione geografica prevalente, viene illustrata l'analisi statistica condotta per la preparazione dei modelli matematici di previsione della massa legnosa a ettaro, che sono presentati anche nella classica forma tabellare. Lo studio è completato con alcune note sulle modalità di applicazione di tali modelli predittivi e sulla precisione delle stime che è possibile produrre con essi.

2 I popolamenti e il rilevamento campionario

Il rilevamento dendrometrico per aree di saggio è stato condotto in gran parte dei popolamenti forestali governati a ceduo (compresi i soprassuoli interessati dai primi interventi per la conversione in fustaia) in cui, per le diverse necessità estimative collegate alla pianificazione e alla gestione di dettaglio, era opportuno addivenire a valutazioni sufficientemente accurate della massa legnosa presente; non sono state invece interessate dal rilievo tutte quelle formazioni che, per le condizioni stazionali o di accessibilità, non sono soggette ad alcuna attività selvicolturale.

Da un esame preliminare del materiale raccolto, unitamente alla conoscenza diretta dei boschi cedui sottoposti a regolare selvicoltura in provincia di Trento, e in funzione degli aspetti applicativi delle risultanze attese dalla presente indagine, si è ritenuto di individuare quattro tipi vegetazionali prevalenti (i cedui misti termofili, i cedui mesofili di castagno e robinia, i cedui misti di faggio e carpino nero, i cedui puri di faggio); oltre a questi, è stato definito un tipo vegetazionale in cui far affluire le diverse formazioni vegetanti in stazioni riparie, in genere costituite da ontani e da salici, assai spesso mescolati alla robinia.

Di seguito viene riportata una descrizione dei diversi tipi vegetazionali citati, unitamente a una breve illustrazione del rilevamento dendrometrico e del procedimento di elaborazione dei dati impiegato per l'approntamento delle equazioni previsionali cercate.

2.1 I cedui misti termofili

Si tratta di formazioni basali e pedemontane di impronta xerotermodifila a prevalenza di carpino nero ed orniello, variamente consociati alla roverella e ad altre specie minori della fascia submediterranea. Sono popolamenti caratterizzati da notevole rusticità e adattati a vegetare su suoli magri, fortemente drenati ed assai poco evoluti, come frequentemente si riscontra sui ripidi versanti a matrice calcarea o dolomitica della Valle Atesina e delle zone a essa contermini.

Analoghe formazioni, simili per composizione e per tessitura generale del soprassuolo, si ritrovano anche sulle matrici porfiriche dei versanti basali altoatesini, nei pressi di Bolzano.

La distribuzione di questi boschi in provincia di Trento interessa, oltre alla Valle dell'Adige, un ambito geografico più ampio, che va dalle Valli Giudicarie alla Valsugana con punte isolate di penetrazione verso Nord in Val Rendena, in Val di Non ed in Val di Cembra. Nel loro insieme sono in genere stazioni che presentano caratteri pedologici e climatici comuni, od almeno simili, relativi ad assetti edafici scarsamente evoluti (per lo più riferibili a suoli rendziniformi) ed a connotazioni di marcata termofilia. Ai caratteri sfavorevoli della pendenza, generalmente elevata, della forte pietrosità del suolo, talora di vera e propria rocciosità, si accompagnano inoltre estesi caratteri di xericità, ai quali bene si adattano, pur con valenze leggermente diverse, le tre principali specie edificatrici di queste cenosi.

Gli stessi fattori giustificano inoltre la presenza naturale del pino silvestre in popolamenti variamente articolati e sparsi nell'ambito del bosco, semmai maggiormente aggregati in corrispondenza di alvei ghiaiosi e zone detritiche. Al carpino nero è da riconoscere una buona capacità di estendersi anche in zone detritico-rocciose e di spingersi nelle vallate più ombrose, talora nelle incisioni di forra tipiche dei rilievi prealpini; la roverella e l'orniello sembrano adattarsi meglio alle aree relativamente più assolate. Fra i due l'orniello appare maggiormente predisposto al ruolo di pianta pioniera, tuttavia tollera anche le condizioni di estesa copertura degli impianti di pino nero ormai diffusamente insediati nell'ambito di queste stazioni. La roverella può rappresentare in buona misura anche l'espressione ecologica di passaggio alle formazioni più evolute del querceto, segnalando localmente una certa evoluzione del profilo pedogenetico. Essa si adatta tuttavia anche a condizioni di marcata povertà del suolo adottando portamenti cespugliosi e stature assai basse. Frequentemente le mescolanze di carpino nero ed orniello con la roverella assumono il significato di fasi regressive del querceto eliofilo: in tal caso è facile osservare l'invecchiamento delle ceppaie di roverella e l'erosione del suolo degli orizzonti superficiali, a tutto vantaggio delle altre due specie, che si presentano maggiormente affermate e vitali.

Sotto il profilo vegetazionale si tratta di unità caratterizzate dalla presenza generalizzata di specie dell'ordine *Erico-Pinetalia* e comunque da elementi di impronta termo-xerofila. Le aggregazioni di sottobosco più diffuse sono dominate da *Erica herbacea* e *Sesleria varia*, cui si accompagnano in diversa misura entità di analoga valenza, come *Teucrium chamaedrys*, *Geranium sanguineum*, *Anthericum ramosum*, *Hierochloë australis*, *Peucedanum oreoselinum*, *Peucedanum cervaria*, *Calamagrostis varia*, *Carex alba* e *Polygala chamaebuxus*. In condizioni di marcata termofilia e dove sono più critici i valori estivi di siccità e di povertà edafica, compaiono fra le altre *Carex humilis*, *Carex hallerana*, *Bromus condensatus*, *Helianthemum apenninum* mentre, quali indici di litosuoli (rocce emergenti, detriti di falda scoperti, ecc.), sono da considerare *Arctostaphylos uva-ursi*, *Globularia cordifolia*, *Lactuca perennis*, *Rhamnus saxatilis*, *Vincetoxicum hirundinaria*, *Teucrium montanum*. Significato di dettaglio peculiare sotto il profilo ecologico assumono talune singole specie fra cui *Molinia arundinacea*, testimone di periodici scorrimenti ipodermici di pendice, sviluppata particolarmente nelle fasi regressive post-incendio, *Carex flacca*, analogamente legata a fenomeni temporanei di microscorrimento e *Achnatherum calamagrostis*, colonizzatrice di substrati ghiaiosi o sabbiosi. Valori di fertilità crescente, assai spesso correlati ad esposizioni fresche e a modeste pendenze, sono invece espressi da specie come *Aremonia agrimonoides*, *Luzula pilosa*, *Buglossoides purpureocaerulea*, *Rosa arvensis*, *Euphorbia amygdaloides* e *Festuca heterophylla*. Aspetti di evoluzione in senso acidofilo, correlati a lenti di deposito organico o scarsamente mineralizzato od a processi di decarbonatazione e di lisciviazione del suolo, sembrano bene collegarsi a specie, come *Lathyrus niger*, *Asplenium adiantum-nigrum*, *Genista germanica*, indicatrici in tal senso.

Per quanto attiene allo strato arbustivo, assai diffuse ma con maggiore costanza nelle zone più magre sono *Amelanchier ovalis*, *Cotoneaster tomentosus*, *Coronilla emerus*, *Chamaecytisus hirsutus*, *Ligustrum vulgare* e *Viburnum lantana*.

Ad esse si associano in proporzione minore *Cornus mas*, *Juniperus communis*, *Crataegus monogyna* e *Lonicera xylosteum*. Nello strato arboreo, oltre ai tre elementi principali, sono frequenti soprattutto *Sorbus aria*, talora anche *Sorbus torminalis* e *Laburnum anagyroides*, mentre sono decisamente localizzati nelle zone più fresche il carpino bianco (*Carpinus betulus*), il tiglio (*Tilia cordata*) e l'acero campestre (*Acer campestre*). Ancor più sporadico e generalmente legato a substrati costituiti da depositi morenici è il cerro (*Quercus cerris*), tale da costituire, nell'ambito di queste formazioni, un elemento di differenziazione degno di attenzione e di conservazione.

La coltivazione dei cedui misti termofili, soprattutto nelle forme xeromorfe e più povere dal punto di vista

produttivo, è da sempre improntata al taglio raso con rilascio di poche matricine. A tali matricine, il cui rilascio è sancito con specifica disposizione normativa nel numero minimo di sessanta ad ettaro, è attribuita principalmente una funzione di disseminazione anche al fine di rinnovare nel tempo le ceppaie esaurite mediante la sostituzione con quelle di nuove piante nate da seme. Nel corso degli anni sessanta questo modello gestionale è stato perfezionato, nel tentativo di riqualificare queste formazioni sotto il profilo ecologico e funzionale; si sono allungati i turni minimi per un basilare recupero di copertura del suolo, portandoli in alcuni casi fino a 30 anni, e si è posto l'accento sul rispetto delle specie cosiddette nobili, fra le quali primariamente le querce e le rosacee.

Al rilascio delle matricine singole si è poi lentamente sostituito quello di ceppaie intere, effettuando il taglio andantemente sulle specie di maggior capacità pollonifera come il carpino nero e l'orniello. Il coniferamento diretto con pino nero e silvestre - in alcuni casi anche con specie esotiche come *Cedrus atlantica*, *Abies cephalonica* e *Pinus excelsa* - si era imposto nel secondo dopoguerra per finalità di miglioramento e di trasformazione, ma è andato sempre più diminuendo ed ora è abbandonato pressoché ovunque. Attualmente viene posta maggiore attenzione nella gestione delle latifoglie presenti.

2.2 I cedui mesofili di castagno e di robinia

Sono queste le formazioni forestali a ceduo di derivazione più direttamente antropica nell'ambito del territorio provinciale. Si tratta in ampia misura di elementi di origine secondaria assai spesso conseguenti alla regressione evolutiva innescata dai ripetuti tagli a raso, soprattutto nelle zone di tensione con le aree coltivate.

La distribuzione di maggior peso in termini altitudinali si colloca infatti nella fascia altimetrica compresa fra i 400 e gli 800 m s.l.m., cui può farsi corrispondere una parte significativa del mosaico territoriale storicamente abitato e coltivato. Questi boschi occupano l'areale delle latifoglie mesofile, in primo luogo delle querce, come la rovere (*Quercus petraea*) e la farnia (*Quercus robur*), nonché del tiglio e dell'acero campestre. Sono formazioni insediate su terreni evoluti, talora a forte componente argillosa ed in genere portatori di buona fertilità (terre brune forestali); in genere occupano aree localizzate su matrici litologiche metamorfiche o porfiriche e la loro massima distribuzione è in Valsugana e nella Valle del Chiese.

Le condizioni gestionali attuali risultano oltremodo disformi, variabili da zona a zona e rese difficoltose dalla frammentazione estrema di queste cenosi nella vasta costellazione della piccola proprietà privata. Alla frammentazione, fra le altre cause, può senz'altro correlarsi anche un diffuso abbandono, soprattutto nel caso di zone a dominanza di castagno, oppure uno sfrut-

tamento generalmente esteso o mal regolato, in particolare nel caso dei robinieti. Gli aspetti del degrado e della regressione sono evidenziati dalle frequenti invasioni di specie arbustive spinose o rampicanti, dei generi *Rubus*, *Clematis*, *Hedera*, ecc., particolarmente in conseguenza di tagli mal dosati e in suoli ricchi di nutrienti. L'abbandono è decisamente evidente nei castagneti; ad esso si associa in genere l'esplosione della rinnovazione naturale di specie a seme leggero, come l'abete rosso, la betulla e il pioppo tremulo. Qua e là, nei punti più favorevoli di umidità del suolo, anche il frassino maggiore (*Fraxinus excelsior*) e il carpino bianco (*Carpinus betulus*).

Sotto il profilo vegetazionale si tratta di formazioni che rientrano nei tipi potenziali dei querceti, dei quercocarpineti e dei carpineti, più specificamente inquadrabili nell'alleanza del *Carpinion betuli* (ordine *Fagetalia silvaticae*), cui corrispondono in buona parte gli assetti forestali di latifoglie mesofile della fascia collinare e pedemontana a suolo fertile. Dal punto di vista floristico le diverse combinazioni di specie riflettono la diversificazione ecologica del suolo, in particolare sotto gli aspetti dell'umidità e della reazione, con tendenza a valori combinati di acidità e aridità in alcuni castagneti. Sono assai frequenti infatti in queste stazioni *Genista germanica*, *Festuca tenuifolia*, *Danthonia decumbens*, *Vaccinium myrtillus*, *Calluna vulgaris*, *Melampyrum pratense*; invece nelle fasi meno espressive di acidità e di oligotrofia compaiono specie relativamente più esigenti, fra le quali *Pteridium aquilinum*, *Melica nutans*, *Brachypodium sylvaticum*, *Melampyrum nemorosum*, *Carex digitata*, *Serratula tinctoria*, *Lathyrus niger*, *Mercurialis perennis*, ecc. Non sono rari aspetti di ulteriore ricchezza in fatto di elementi nutritivi e di umidità del suolo, in special modo nelle compagini dominate dalla robinia, laddove compaiono spesso elementi di più marcata esigenza quali *Sambucus nigra*, *Lamium orvala*, *Aegopodium podagraria*, *Melica uniflora*, *Anemone nemorosa*, *Leucojum vernum*, *Salvia glutinosa*, *Humulus lupulus*. Nello strato arbustivo, oltre a quelle già citate, sono presenti *Lonicera xylosteum*, *Corylus avellana*, *Viburnum opulus*.

Nei cedui di castagno e di robinia il taglio è stato sempre ancorato alle forme semplificate dell'intervento a raso, con turni tecnici o quelli minimi di quindici anni nel caso del castagno. Nessuna prescrizione specifica vige per i robinieti, laddove è tuttora praticabile l'asportazione completa di tutte le piante "cadenti al taglio". Frequenti sono pertanto le situazioni di degrado e di semplificazione e, su alcuni versanti, anche di vera e propria erosione del suolo. Si pone dunque la necessità di una revisione di queste modalità operative, puntando alla riqualificazione compositiva e al contenimento della robinia. Quest'ultimo scopo potrebbe essere perseguito mediante localizzate misure di invecchiamento del soprassuolo e l'introduzione diretta, dopo i tagli, di specie competitive, da seguire con apposite cure

colturali programmate. E' evidente come queste proposte potranno comunque essere realizzate solo nell'ambito di specifici piani di zona e con misure di incentivazione o di sostegno operativo.

2.3 I cedui misti di faggio e carpino nero

In ordine alle diffuse condizioni di oceanicità del clima, alla plasticità ecologica del faggio, nonché alla estesa distribuzione del carpino nero nella fascia altitudinale compresa fra 600 e 1200 m s.l.m., presentano larga distribuzione nell'area montana e submontana consorzi misti di queste due specie, arricchiti di elementi termofili come l'orniello, la roverella, il sorbo farinaccio (*Sorbus aria*) e, nelle microstazioni fresche, l'acero di monte (*Acer pseudoplatanus*) e il tiglio (*Tilia cordata*). Si tratta di formazioni relativamente stabili nel loro assetto tipologico generale, ma variabili a scala minore in relazione alla morfologia di dettaglio, la quale condiziona di volta in volta le possibilità di affermazione dell'una o dell'altra specie, fra loro rapportate da equilibri dinamici di occupazione della superficie. Su tali equilibri ha influito fortemente l'azione antropica, che ne ha orientato il divenire attraverso una gestione che dura almeno da due secoli.

In genere sono boschi strutturalmente articolati, sia in senso verticale che in senso orizzontale, proprio in ragione delle diverse capacità di crescita e della variata distribuzione areale delle due principali specie. Dal punto di vista pedologico la maggior parte delle stazioni presenta suoli magri, rendziniformi, con substrati calcarei ricchi di scheletro, nei quali manca propriamente un orizzonte di accumulo delle argille, ma dove talvolta possono manifestarsi anche apprezzabili valori di fertilità nelle posizioni di colluvio o di maggiore profondità. Quanto alla distribuzione geografica, queste formazioni in provincia di Trento sono predominanti sulle pendici della Valle d'Adige, con estesa dominanza nelle zone meridionali, di appartenenza pressoché esclusiva alle formazioni geolitologiche sedimentarie e di impronta climatica sublitoraneo-equinoziale.

I riferimenti fitosociologici più certi paiono essere quelli sviluppati da alcuni autori slavi che, nell'ambito dell'alleanza *Fagion illyricum* (*Aremonio-Fagion*), prevedono una sottoalleanza *Ostryo-Fagenion* relativa a faggete termofile poste in contatto con i tipi di *Quercetalia pubescentis*. In ordine a questo inquadramento è tuttavia ancora aperto il confronto fra gli studiosi del settore sull'effettiva appartenenza di questi boschi al dominio illirico; per taluni parrebbe infatti trattarsi di una semplice caratterizzazione in tal senso di formazioni comunque ascrivibili all'alleanza del *Fagion silvaticae*, se non proprio di *Quercion pubescenti-petraeae* o affini.

Occasionalmente si riscontrano contatti o qualche margine di interdigitazione con formazioni del *Tilio-*

Acerion, con frequenza maggiore nelle esposizioni a nord.

Dal punto di vista floristico appare in primo luogo una certa sovrapposizione di entità degli ostrieti e di quelle delle faggete, ma con significativa costanza delle specie a valenza ecologica relativamente ampia, come *Euphorbia amygdaloides*, *Aremonia agrimonoides*, *Melica nutans*, *Mycelis muralis*, *Galium laevigatum*, *Carex digitata*, *Viola riviniana*, *Melittis melissophyllum*, *Polygonatum odoratum*, *Luzula nivea* e, nello strato arbustivo, *Lonicera xylosteum*, *Daphne mezereum*, *Viburnum lantana*, *Rosa arvensis*, *Coronilla emerus*, *Euonymus latifolius*. Si tratta in ogni caso di spettri floristici variegati, distribuiti discontinuamente sulla superficie secondo unità più o meno omogenee, fra loro alternate in relazione alle condizioni pedologiche ed ecologiche microstazionali specifiche. Molto spesso si notano aggregazioni assai peculiari come quelle del pino silvestre e dei tappeti erbacei ad *Erica*, *Sesleria* o a *Carex alba*, che rispecchiano forme di regressione o di microcontinentalità; altrove compaiono elementi arborei come tiglio cordato o tasso (*Taxus baccata*) a richiamare espressioni locali di maggior oceanicità, sia in fatto di temperatura che di umidità.

Pressoché ovunque è inoltre evidente il segno delle utilizzazioni, talora anche pesanti, che si sono ripetute nel tempo sotto forma di taglio a ceduo semplice, con progressiva affermazione del carpino nero rispetto alla sua presumibile aliquota originaria di partecipazione.

Col tempo è pure diminuita la capacità di rinnovazione naturale del faggio, sia in ordine alla diminuita disseminazione, sia in relazione ad una tendenziale "decapitazione" dei profili pedogenetici in seguito alle utilizzazioni. Un'ottica equilibrata di gestione dovrebbe pertanto porsi come finalità il recupero e il mantenimento di sufficienti livelli di fertilità del suolo, come elemento imprescindibile per la conservazione del faggio in proporzioni idonee. A tali scopi si confà un taglio con rilascio di almeno duecento matricine ad ettaro, meglio se regolate cronologicamente sui tipi o sull'analogia funzionale d'un ceduo composto.

Nel caso di pendici fortemente asciutte o in situazioni di detrito roccioso appare conveniente il rilascio di matricine di carpino nero o specie minori, non per singoli assi arborei, ma per ceppaie intere, così da ottenere un miglior effetto di copertura nei punti di più marcata esigenza e una più efficace esplorazione del suolo da parte delle radici. I fusti del carpino nero, spesso inclinati o ripiegati, non si prestano del resto ad una piena valorizzazione come elementi individuali d'altofusto.

2.4 I cedui puri di faggio

Nella ampia fascia altimetrica montana, fra 800 e 1400 m s.l.m., con particolare presenza sui ripiani di origine glaciale e sui versanti freschi prealpini, si affer-

ma decisamente la compagine arborea della faggeta pura. In questo caso alla gestione a ceduo si sostituisce in modo progressivamente crescente la conversione attiva alla fustaia, qualche volta nella forma indotta per via indiretta dall'abbandono.

Si tratta di formazioni forestali primarie dominate pressoché interamente dal faggio, specie esclusivista e con forte tendenza alla copertura monopiana. La continuità del bosco è interrotta soltanto in corrispondenza delle diversificazioni fisiche di versante, come le pendici rocciose e i canaloni, dove di volta in volta subentrano entità diverse fra i quali l'acero di monte, il maggiociondolo alpino (*Laburnum alpinum*) ed alcuni arbusti come il pino mugo ed il salicene (*Salix appendiculata*).

Nelle fasce di transizione all'orizzonte subalpino e nelle vallate di passaggio all'area endoalpina, la faggeta, spesso ancora a ceduo, si va mescolando in proporzioni consistenti alle conifere montane (abete rosso, abete bianco e larice), tendenzialmente riducendosi tuttavia allo strato arboreo dominato.

I suoli, ancorché sovente impoveriti negli orizzonti superficiali per effetto dei tagli ripetuti del ceduo, rientrano nel novero delle terre brune, variamente evoluti fino alle forme liscivate e decarbonatate delle zone poste più in alto. Sono terreni in genere ricchi di nutrienti e sufficientemente dotati di argilla; in varie situazioni arricchiti inoltre da deposito di limi e ciottolame di antico trasporto glaciale. Nella distribuzione geografica della cenosi in Trentino si registra la predominanza delle località montane prealpine della Val d'Adige e della bassa Valle del Sarca, tutte su matrice geolitologica calcarea o comunque sedimentaria. Altrove, in aree a matrice silicea di analogo orizzonte altitudinale, si affermano in maniera concorrenziale le formazioni miste d'altofusto con cenosi imperviate sulla rovere, sul pino silvestre o sul castagno. Per quanto attiene all'inquadramento fitosociologico vi è sufficiente certezza nel riferimento all'alleanza *Fagion silvaticae* (ord. *Fagetalia silvaticae* - cl. *Quercus-Fagetea*) cui corrispondono associazioni di stampo bio-ecologico diverse, fra le quali secondo GERDOL e PICCOLI (1980) per l'area del Monte Baldo, sembrano potersi elencare le seguenti:

- faggeta termofila (*Carici - Fagetum*, MOOR, 1952);
- faggeta mesofila (*Dentario - Fagetum*, MAYER, 1969);
- faggeta acidofila (*Luzulo - Fagetum*, ELLÉNBERG e KLÖTZLI, 1972).

La prima si sovrappone in parte all'areale dei cedui di faggio e carpino nero ed è da considerare quella di impronta più termofila; in essa si notano, oltre a *Carex alba* come differenziale, numerose specie di suoli relativamente xerici, ricchi di scheletro e di zone più calde, come *Cotoneaster tomentosus*, *Ilex aquifolium*, *Sesleria varia*, *Erica herbacea*, *Anemone trifolia*, *Polygala chamaebuxus*, *Melampyrum nemorosum*, *Neottia nidus-avis*, ecc.

La seconda cenosi è individuabile in tipologie più fertili, significativamente rappresentate da specie esi-

genti come quelle del genere *Dentaria* (*D. enneaphyllos* - *D. pentaphyllos* - *D. bulbifera*) e da entità sciafile come *Galium odoratum*, *Adoxa moschatellina*, *Myosotis sylvatica* e *Corydalis cava*, nonché da felci come *Dryopteris filix-mas*, *Polystichum aculeatum*, *Gymnocarpium dryopteris* e da megaforbie come *Petasites albus* o *Adenostyles glabra*. E' questa la forma di più spiccata fertilità.

Nel terzo gruppo ricadono quelle formazioni più tipicamente insediate su aree a deposito glaciale con segni di acidificazione del suolo, testimoniati dalla presenza di specie indicatrici in tal senso come *Vaccinium vitis-idaea*, *V. myrtillus*, *Orthilia secunda*, *Luzula pilosa*, *Luzula sieberi* e da altre entità quali *Sanicula europaea*, *Lamium flavum*, *Lathyrus vernus*, *Majanthemum bifolium*, *Calamagrostis arundinacea*, *Milium effusum*, *Ranunculus lanuginosus*, ecc.

Si tratta di unità fra loro abbastanza ben distinte, pur se ammettono estese fasce di sovrapposizione e di mescolanza.

Il ceduo puro di faggio è una forma di gestione intensiva, tuttora in parte usata, che ha radici storiche profonde. Un tempo veniva condotto anche secondo modelli di conservazione ecologicamente appropriati, come lo erano senza dubbio quelli a sterzo tipici della Vallarsa e di molte aree del Monte Baldo. Ora questi sistemi di taglio sembrano del tutto abbandonati ed il ceduo è destinato a venir meno col tempo, per essere ricondotto nell'ambito della gestione a fustaia, forma di governo sicuramente più appropriata per le potenzialità ecologiche e produttive di queste cenosi.

Il mantenimento del ceduo in forme stabili non dovrebbe comunque prescindere da una matricinatura stabilmente impervinata su almeno 150-200 assi arborei ad ettaro, a seconda della minore o maggiore fertilità. Da valorizzare o perseguire è inoltre ogni possibilità di mescolanza, con il rilascio delle specie diverse eventualmente presenti, particolarmente di quelle significative per la riqualificazione ecologica delle cenosi (acero, ciliegio, abete bianco e tasso).

2.5 Le formazioni riparie

Sono queste le formazioni di fondovalle, per lo più localizzate nelle fasce prossime ai corsi d'acqua e ai laghi, oppure in zone con falda idrica superficiale, spesso nelle aree abbandonate dalla coltivazione agricola.

Sono cenosi di volta in volta dominate dai salici, sia arborei che arbustivi, dagli ontani, dalla robinia, da specie comunque esigenti in fatto di umidità e di elementi nutritivi, come il frassino maggiore e l'olmo montano. Frequenti sono le presenze di acero campestre e olmo minore, oltre ad alcuni tipici elementi arbustivi come il sambuco nero (*Sambucus nigra*), la lonicera (*Lonicera xylosteum*), la fusaria comune (*Euonymus europaeus*), lo spincervino (*Rhamnus catharticus*).

Lo strato erbaceo è caratteristicamente dominato dalle specie indicatrici di suoli freschi a umificazione dolce, quali *Myosotis sylvatica*, *Mycelis muralis*, *Vicia sepium*, *Listera ovata*, *Anemone nemorosa*, *Pulmonaria officinalis*, *Actaea spicata*, *Circaea lutetiana*.

Lo spettro floristico generale si arricchisce spesso di specie igroesigenti come *Impatiens noli-tangere*, *Ranunculus ficaria*, *Angelica sylvestris*, *Equisetum telmateja*, *Crepis paludosa* e *Filipendula ulmaria*, in particolare nei punti lambiti dagli scorrimenti d'acqua e intorno alle emergenze di falda. Frequenti sono inoltre le specie che segnalano accumuli di sostanze azotate nel suolo, come *Alliaria petiolata*, *Geum urbanum*, *Chaerophyllum temulum*, *Humulus lupulus*, *Galium aparine*, *Aegopodium podagraria*, *Urtica dioica*, *Solanum dulcamara*. Particolarmente vistosa l'affermazione delle macchie di rovi (*Rubus caesius*) e dell'edera, soprattutto in seguito ai tagli drastici del ceduo.

Nel complesso si tratta di formazioni decisamente interferite, se non proprio determinate, dall'azione antropica, fatta eccezione per taluni saliceti naturali di sponda a *Salix alba* e *Salix triandra* o di alcuni lembi di ontaneta palustre ad *Alnus glutinosa*. In buona misura rappresentano comunque stadi evolutivi di una lenta dinamica ricostitutiva delle formazioni planiziali miste a farnia che presumibilmente costituivano l'origine comune di queste cenosi. Sotto il profilo fitosociologico i riferimenti più certi vanno ad *Alno-Ulmion* e *Carpinion betuli* dell'ordine *Fagetalia sylvaticae* (*Quercio-Fagetea*).

L'utilizzazione di questi boschi, in gran parte di proprietà privata, non risponde in genere a mirati criteri di selvicoltura ed è improntata al libero prelievo delle classi cronologiche mature ed a tagli del tutto occasionali. Si tratta infatti di aree quasi sempre escluse dal vincolo idrogeologico e quindi senza alcuna specifica restrizione normativa. La valenza ecologica di queste formazioni richiederebbe tuttavia attenzioni maggiori, poiché spesso esse costituiscono elementi caratteristici del paesaggio di fondovalle e unità biocenotiche di pregio.

2.6 Le osservazioni campionarie

Nell'ambito di unità gestionali ascrivibili ai tipi vegetazionali appena illustrati, sono stati individuati i punti di sondaggio attorno ai quali sono state realizzate aree di saggio, di forma rettangolare, con estensione pari a 200 m². Il posizionamento dei siti di campionamento non è derivato da precisi schemi distributivi, capaci di configurare rigorosi disegni campionari, ma è stato lasciato alla libera scelta degli operatori, con l'unico vincolo di una sufficiente omogeneità strutturale e compositiva nell'area interessata dall'unità di campionamento.

Per colmare le diverse carenze informative, nelle formazioni di proprietà privata è stata adottata un'intensità di campionamento pari a un'area di saggio ogni

quindici ettari, mentre per quelle comprese nel demanio pubblico l'intensità era leggermente inferiore e pari a un'area campione ogni venti ettari; nell'arco di dieci anni circa sono state così individuate quasi ottocento aree di saggio, la maggioranza delle quali utilizzate per lo studio qui descritto.

In ognuna delle aree campione sono stati misurati gli alberi con diametro uguale o superiore a 2,5 cm a petto d'uomo, classificandoli anche per specie e per dendrotipo (pollone o matricina); in ogni area di saggio è stata inoltre misurata l'altezza di una decina di polloni appartenenti alle varie classi diametriche presenti, oltre a quella dei polloni più grossi in ragione di due ogni 100 m², al fine di individuare la relazione altezza-diametro degli alberi presenti e di stimare l'altezza dominante della frazione di popolamento esaminato. Su alcuni polloni di maggiori dimensioni è stata anche rilevata l'età, contando il numero di anelli annuali in prossimità della loro base. Le matricine e le conifere presenti sono state registrate singolarmente per specie, diametro e altezza totale.

Data la considerevole mole di informazioni ipsometriche ottenute, si è potuto raggruppare le aree di saggio appartenenti a ogni singolo tipo vegetazionale in funzione dell'età del soprassuolo e dell'altezza dominante, al fine di predisporre per ogni gruppo un'unica curva ipsometrica; per le matricine e per i soggetti di conifere è stata preparata una sola curva ipsometrica senza alcuna distinzione per età, per fertilità o per composizione specifica dei soprassuoli. Per la stima del volume degli alberi, e conseguentemente del volume per unità di superficie, sono state utilizzate le tavole di cubatura a doppia entrata predisposte per l'inventario forestale nazionale (CASTELLANI *et al.*, 1984).

Con i dati di base e le successive elaborazioni, si è potuto disporre delle informazioni sufficienti per studiare le relazioni tra volume a ettaro (del fusto svettato a 3 cm), altezza dominante e area basimetrica per unità di superficie. Per evitare qualsiasi incertezza in sede applicativa, si chiarisce che l'altezza dominante riguarda esclusivamente la componente agamica dei soprassuoli, mentre sia l'area basimetrica che il volume unitari sono comprensivi anche delle eventuali matricine e conifere presenti.

Nella tabella 1 sono riassunti alcuni indicatori di posizione e di dispersione relativi alle grandezze osservate, mentre nelle tabelle 2, 3, 4, 5 e 6, sono indicate le numerosità campionarie complessive risultanti per ogni tipo vegetazionale, oltre alla loro ripartizione per classi di altezza dominante e di area basimetrica unitaria. Infine nelle figure 1 e 2 sono evidenziate le distribuzioni, in termini relativi, del numero di aree di saggio per tipo vegetazionale, per distretto geografico e per classe di altitudine.

Tabella 1 - Statistiche delle grandezze osservate per la formulazione dei modelli previsionali e numerosità campionarie, per tipo vegetazionale.

Sample sizes and statistics of the variables observed for elaborating forecast models, for every stand type.

Modello	numero osservazioni	età (anni)	altezza dominante (m)	area basimetrica ad ettaro (m²)	volume ad ettaro (m³)
cedui puri di faggio	188				
min.		17,0	7,0	2,2	11,2
media		41,5	12,7	21,5	141,1
max.		76,0	24,3	41,2	379,8
dev.st.		12,8	2,8	7,7	59,6
CV %		30,9	22,4	36,0	42,3
cedui misti di faggio e carpino nero	115				
min.		16,0	5,3	4,6	15,1
media		34,8	11,3	18,4	104,6
max.		68,0	17,3	34,6	257,4
dev.st.		9,6	2,5	6,7	51,3
CV %		27,6	22,4	36,7	49,0
cedui mesofili di castagno e robinia	92				
min.		8,0	7,0	6,2	20,8
media		22,5	13,3	21,4	143,2
max.		41,0	19,8	53,4	417,9
dev.st.		9,3	2,7	9,1	74,0
CV %		41,3	20,6	42,2	51,7
cedui misti termofili	371				
min.		11,0	4,0	1,4	5,4
media		30,5	9,4	15,0	72,4
max.		63,0	18,7	44,5	311,0
dev.st.		8,3	2,4	7,3	43,5
CV %		27,3	25,9	48,8	60,1
formazioni riparie	11				
min.		13,0	9,5	17,1	87,0
media		23,4	13,6	30,2	185,3
max.		43,0	20,0	45,6	276,2
dev.st.		8,4	3,5	7,8	67,8
CV %		35,8	25,6	25,8	36,6

Tabella 2 - Distribuzione delle osservazioni campionarie per classi di area basimetrica ad ettaro (in m²) e di altezza dominante (in m), relativa ai cedui puri di faggio.

Distribution of the number of sample plots for basal area (m² per hectare) and dominant height (m) classes, related to beech coppices.

H dom.	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	>=20,5	total
A.bas./ettaro																
6	2	-	-	2	-	2	2	-	-	-	1					9
8	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-	1					3
10	-	-	-	2	1	-	1	-	-	-	-					4
12	-	1	-	2	1	1	1	1	1	-	-					8
14	-	-	1	-	-	2	1	3	2	-	-					9
16	2	-	1	4	2	2	3	1	-	1	-	-	1			17
18		-	1	3	-	3	3	-	4	1	2	-	-	-	1	19
20		-	2	4	3	6	-	5	1	1	1	-	-	1	-	23
22		1	4	1	3	1	6	1	2	-	-	-	1	1	-	21
24			1	2	2	1	-	1	-	-	1	-	-	-	-	9
26			-	2	4	3	2	3	2	1	-	-	-	-	1	18
28			-	2	1	-	6	3	1	1	-	1	1	-	-	16
30			1	-	2	-	2	6	1	1	-	-	-	-	-	13
32						4	1	-	1	1	-	-	-	-	-	7
34						1	-	-	-	-	1	-	-	-	-	2
36						1	1	1	-	-	-	-	-	-	-	3
38						2	2	-	-	-	-	-	1	-	-	5
>=39								1	-	-	-	1	-	-	-	2
totale	4	2	11	26	19	29	31	26	15	6	7	3	4	3	2	188

Tabella 3 - Distribuzione delle osservazioni campionarie per classi di area basimetrica ad ettaro (in m²) e di altezza dominante (in m), relativa ai cedui misti di faggio e carpino.
 Distribution of the number of sample plots for basal area (m² per hectare) and dominant height (m) classes, related to beech and European hophornbeam mixed coppices.

H dom.	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	>=16,5	totale
A.bas./ettaro													
6	1	3	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	5
8	-	-	-	-	2	2	-	-	-	-	-	-	4
10	-	-	-	1	-	-	-	1	1	-	-	-	5
12	-	-	2	2	2	-	2	1	-	-	-	-	7
14	-	-	2	1	7	3	1	4	-	-	-	1	19
16	-	-	1	3	3	-	1	-	2	-	-	-	10
18	1	-	2	1	2	2	1	1	2	-	-	2	14
20	-	-	-	3	2	4	4	3	2	2	-	-	20
22	-	-	-	-	3	-	-	-	1	-	-	-	4
24	-	-	-	-	2	1	-	2	-	1	1	-	5
26	-	-	-	-	-	2	2	-	1	-	-	-	5
28	-	-	2	-	-	1	-	-	-	1	2	-	8
30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5
32	-	-	-	-	2	-	-	3	1	-	-	1	5
>=33	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	1	-	2
totale	2	3	9	11	24	16	12	15	10	4	4	5	115

Tabella 4 - Distribuzione delle osservazioni campionarie per classi di area basimetrica ad ettaro (in m²) e di altezza dominante (in m), relativa ai cedui mesofili di castagno e robinia.
 Distribution of the number of sample plots for basal area (m² per hectare) and dominant height (m) classes, related to black locust and European chestnut mesophile coppices.

H dom.	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	>=18,5	totale
A.bas./ettaro													
6	2	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	2
8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1
10	-	1	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	4
12	-	-	1	-	-	2	3	-	-	1	-	-	7
14	1	-	-	-	-	1	2	1	-	2	-	-	7
16	-	1	-	-	2	1	6	-	-	-	-	-	12
18	-	-	-	1	-	-	4	2	2	1	1	1	11
20	-	2	2	3	-	1	1	-	1	-	1	1	12
22	-	-	-	-	-	1	-	-	-	2	-	-	3
24	-	-	1	2	-	-	-	-	1	1	-	-	5
26	-	-	1	1	1	-	2	1	1	-	-	1	8
28	-	-	1	1	-	-	-	-	1	-	-	-	3
30	-	-	1	-	1	-	2	-	-	-	-	-	4
32	-	1	-	-	2	-	1	-	-	-	-	-	4
34	-	-	-	-	-	1	-	-	-	1	-	-	2
36	-	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-	2
38	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	1
40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1
>=41	-	1	-	-	1	-	1	-	1	-	-	-	3
totale	3	6	7	8	8	10	24	4	7	9	3	3	92

Tabella 5 - Distribuzione delle osservazioni campionarie per classi di area basimetrica ad ettaro (in m²) e di altezza dominante (in m), relativa ai cedui misti termofili.
 Distribution of the number of sample plots for basal area (m² per hectare) and dominant height (m) classes, related to mixed thermophile coppices.

H dom.	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	>=16,5	totale
A.bas./ettaro															
2	1	-	2	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4
4	2	2	5	1	3	2	1	1	-	1	-	-	-	-	18
6	-	5	-	5	7	1	1	1	-	-	-	-	-	-	20
8	-	5	1	6	5	6	5	1	1	2	-	1	-	-	33
10	-	1	3	7	8	8	3	2	2	1	3	1	-	-	39
12	-	-	1	10	4	8	6	8	4	1	-	1	-	1	44
14	-	-	1	7	8	13	8	4	2	1	-	2	-	-	46
16	-	1	1	5	7	4	11	6	3	6	1	-	1	-	46
18	-	-	-	2	2	6	9	5	3	2	-	1	-	-	30
20	-	1	1	-	4	2	2	4	4	2	1	-	-	-	21
22	-	-	1	2	1	6	2	3	1	3	1	1	-	-	21
24	-	-	-	-	-	1	-	4	1	-	-	1	-	-	8
26	-	-	-	-	2	3	3	7	-	3	-	-	1	-	16
28	-	-	-	1	1	1	1	1	1	1	-	-	-	-	6
30	-	-	-	-	2	1	2	1	-	1	1	-	1	-	9
32	-	-	-	-	-	-	-	1	1	-	-	-	-	-	2
34	-	-	-	-	-	-	1	1	-	-	1	-	-	-	3
36	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	1
38	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	2
>=39	-	-	-	-	-	-	-	1	1	-	1	-	-	-	2
totale	3	15	16	46	52	62	55	52	24	24	9	8	4	1	371

Tabella 6 - Distribuzione delle osservazioni campionarie per classi di area basimetrica ad ettaro (in m²) e di altezza dominante (in m), relativa alle formazioni riparie.
 Distribution of the number of sample plots for basal area (m² per hectare) and dominant height (m) classes, related to riparian stands.

H dom.	11	12	13	14	15	16	17	18	19	>=20,5	totale
A.bas./ettaro											
18	1	-									1
20	-	-									-
22	-	1									1
24	-	-									-
26	-	-									-
28	1	1	1								3
30	1	-		-	-	-	-	-	1	-	2
32			-	-	-	-	-	-	-	1	1
34			-	-	-	-	-	-	-	-	-
36			-	-	-	-	-	1	-	-	1
38			1	-	-	-	-	-	-	-	1
>=39			1	-	-	-	-	-	-	-	1
totale	3	2	3	-	-	-	-	1	1	1	11

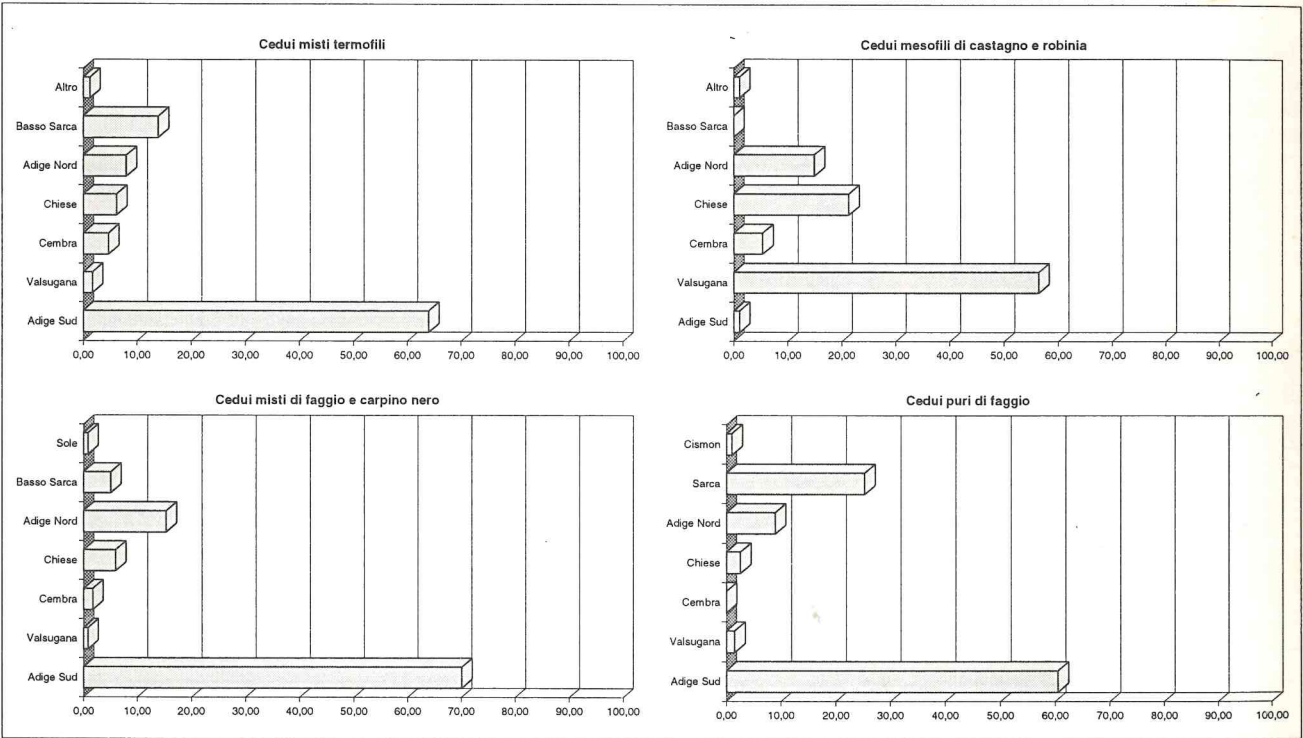


Figura 1 - Distribuzione, in valori relativi, delle aree di saggio per tipo vegetazionale e per distretto geografico.
 Distribution of the number of sample plots, as a percentage, for type of stands and geographic area.

3 I modelli previsionali

Dall'analisi dei lavori indicati nell'introduzione, con ampia conferma che deriva dall'osservazione delle figure 3, 4, 5, 6 e 7, emerge chiaramente che la maggior parte della variabilità del volume ad ettaro dei popolamenti studiati è dovuta alle variazioni dell'area basimetrica ad ettaro e della corrispondente altezza dominante del soprassuolo. Più precisamente, la relazione empirica tra queste variabili è esprimibile con un modello rettilineo in cui la massa legnosa ad ettaro costituisce la variabile dipendente, mentre il prodotto "area basimetrica ad ettaro per altezza dominante" configura

la variabile indipendente:

$$Y = b_0 + b_1 X \quad [1]$$

con Y = volume ad ettaro (in m³) del fusto svettato a 3 cm;

X = area basimetrica ad ettaro (in m²) per altezza dominante (in m);

b_0 e b_1 = coefficienti numerici da stimare con l'analisi di regressione.

In termini matriciali, lo stesso modello appare nella forma $\mathbf{Y} = \mathbf{bX}$, dove $\mathbf{b}$ rappresenta il vettore dei

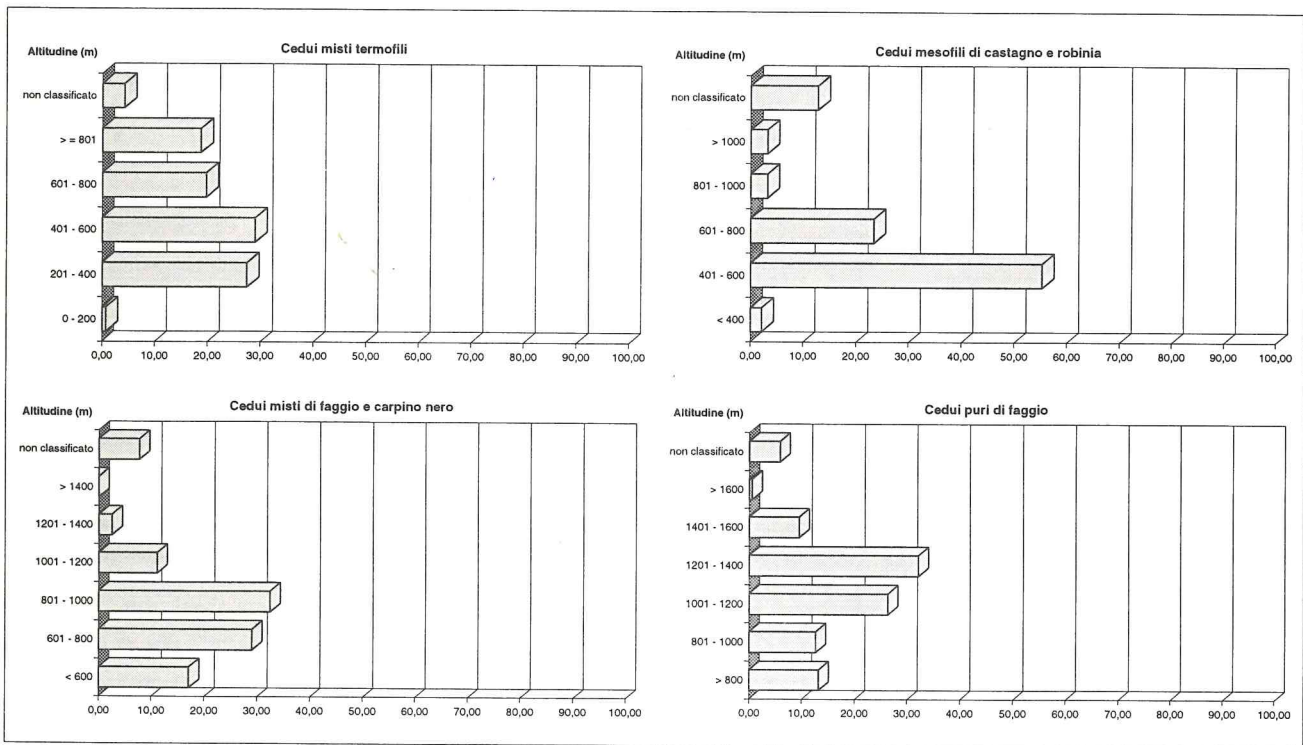


Figura 2 - Distribuzione, in valori relativi, delle aree di saggio per tipo vegetazionale e classe di altitudine. Distribution of the number of sample plots, as a percentage, for type of stands and elevation class.

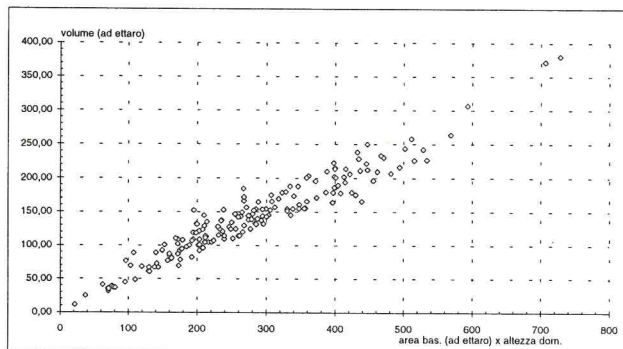


Figura 3 - Valori osservati del volume ad ettaro (in m^3 - fusto sveltato a 3 cm e sopra corteccia) in funzione del prodotto "area basimetrica ad ettaro (m^2) x altezza dominante (m)", per i cedui puri di faggio.

Observed values of volume per hectare (in cubic metres, merchantable stem > 3 - 4 cm, outside bark) depending upon basal area per hectare (m^2) times dominant height (m), related to the beech coppices.

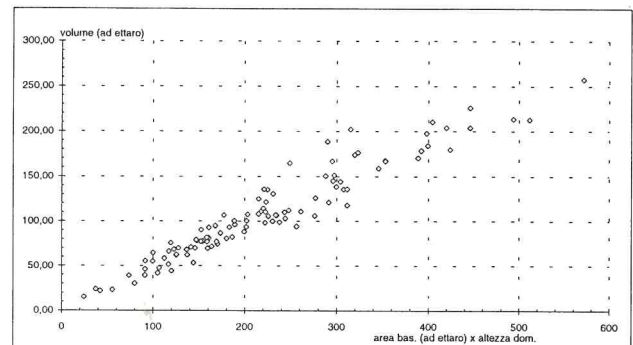


Figura 4 - Valori osservati del volume ad ettaro (in m^3 - fusto sveltato a 3 cm e sopra corteccia) in funzione del prodotto "area basimetrica ad ettaro (m^2) x altezza dominante (m)", per i cedui misti di faggio e carpino nero.

Observed values of volume per hectare (in cubic metres, merchantable stem > 3 - 4 cm, outside bark) depending upon basal area per hectare (m^2) times dominant height (m), related to the beech and European hophornbeam mixed coppices.

coefficienti numerici da stimare, $\mathbf{X}$ la matrice dei valori delle variabili esplicative e $\mathbf{Y}$ il vettore dei valori della variabile dipendente; tale notazione viene introdotta poiché verrà utilizzata nell'illustrazione delle modalità di calcolo delle incertezze delle stime prodotte con i modelli risultanti.

La costruzione delle tavole di cubatura di popolamento avviene attraverso un'analisi di regressione tra le due variabili sopra evidenziate e secondo il modello matematico proposto, con la stima dei coefficienti nu-

merici e delle altre statistiche necessarie per valutare la bontà della perequazione delle osservazioni campionarie e per determinare le incertezze che affliggono le previsioni ottenibili con le equazioni proposte.

Da un'analisi preliminare è risultato che la varianza del volume ad ettaro non rimane pressoché costante all'aumentare della variabile indipendente, ma aumenta proporzionalmente con essa. Lo scostamento significativo dalla omogeneità della varianza della variabile dipendente nell'intero spazio campionario osservato è

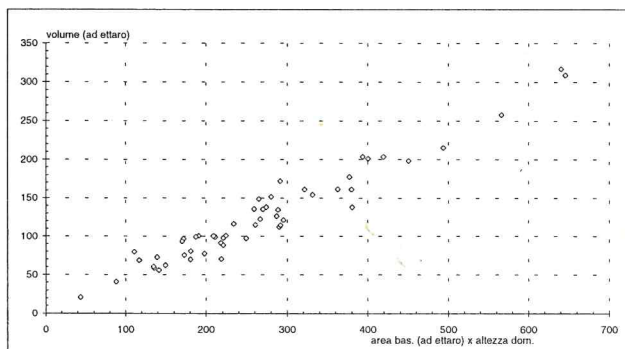


Figura 5 - Valori osservati del volume ad ettaro (in m³ - fusto sveltato a 3 cm e sopra corteccia) in funzione del prodotto "area basimetrica ad ettaro (m²) x altezza dominante (m)", per i cedui mesofili di castagno e robinia.

Observed values of volume per hectare (in cubic metres, merchantable stem > 3 - 4 cm, outside bark) depending upon basal area per hectare (m²) times dominant height (m), related to the black locust and European chestnut mesophile coppices.

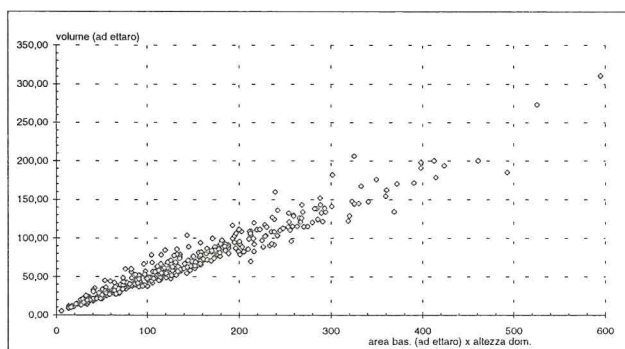


Figura 6 - Valori osservati del volume ad ettaro (in m³ - fusto sveltato a 3 cm e sopra corteccia) in funzione del prodotto "area basimetrica ad ettaro (m²) x altezza dominante (m)", per i cedui misti termofili.

Observed values of volume per hectare (in cubic metres, merchantable stem > 3 - 4 cm, outside bark) depending upon basal area per hectare (m²) times dominant height (m), related to mixed thermophile coppices.

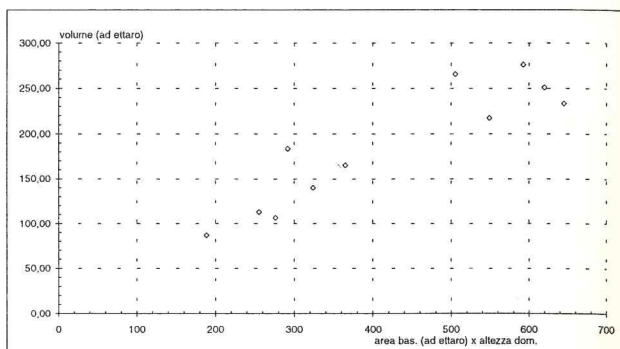


Figura 7 - Valori osservati del volume ad ettaro (in m³ - fusto sveltato a 3 cm e sopra corteccia) in funzione del prodotto "area basimetrica ad ettaro (m²) x altezza dominante (m)", per le formazioni riparie.

Observed values of volume per hectare (in cubic metres, merchantable stem > 3 - 4 cm, outside bark) depending upon basal area per hectare (m²) times dominant height (m), related to the riparian stands.

stato rilevato mediante il test di Goldfeld-Quandt (PERSICO e VINCI, 1981), i cui risultati sono riassunti nella tabella 7, limitatamente ai tipi vegetazionali sufficientemente dotati di osservazioni campionarie.

Avuta l'evidenza dell'eteroschedasticità del fenomeno, i coefficienti numerici sono stati stimati mediante l'analisi di regressione con i minimi quadrati ponderati, al fine di ottenerne determinazioni corrette e a minima varianza. Sulla scorta di quanto osservato relativamente alla relazione tra la varianza del volume e la variabile indipendente, la ponderazione delle osservazioni originarie è avvenuta dividendo tutte le osservazioni relative a ciascuna area di saggio per la radice quadrata del corrispondente valore della variabile esplicativa, secondo una procedura già ampiamente sperimentata (BOUCHON, 1974; CUNIA, 1964, 1973, 1979; PALM, 1981a,b; TABACCHI, 1989a,b). I risultati delle analisi di regressione condotte sui valori così trasformati sono riassunti nella

Tabella 7 - Statistiche relative al test di Goldfeld-Quandt per il controllo dell'omogeneità della varianza della variabile dipendente. Statistics relevant to Goldfeld-Quandt's test to check variance homogeneity of dependent variable.

Composizione soprassuolo		Devianza residua 1	gradi di libertà 1	Devianza residua 2	gradi di libertà 2	Rapporto varianze	F critico $\alpha = 0,05$	F critico $\alpha = 0,01$
cedui puri di faggio								
n. osservazioni	188	12.045,6	61	22.921,1	61	1,90	1,53	1,83
cedui misti di faggio e carpino nero								
n. osservazioni	115	2.788,5	37	15.826,5	37	5,68	1,73	2,20
cedui mesofili di castagno e robinia								
n. osservazioni	92	5.389,9	32	28.633,2	32	5,31	1,81	2,32
cedui misti termofili								
n. osservazioni	371	5.544,4	137	27.052,2	137	4,88	1,32	1,48
formazioni riparie								
n. osservazioni	11	campione poco numeroso						

Tabella 8 - Risultati dell'analisi di regressione per la stima dei coefficienti numerici dei modelli previsionali ricercati, per i cinque tipi vegetazionali prefigurati.
Results of regression analysis for preparing forecast models related to the five types of stands examined.

Modello	coefficienti (b)	varianza residua (S ² _{res})	matrice delle varianze e covarianze dei coefficienti V (b)	R ²
cedui puri di faggio $Y = b_{11} + b_{21} X$	$b_1 = 10,2224$ $b_2 = 0,4708$	1,08339	$\begin{bmatrix} 4,27334 & -1,53719 \times 10^{-2} \\ & 7,60244 \times 10^{-5} \end{bmatrix}$	0,99
cedui misti di faggio e carpino nero $Y = b_{12} + b_{22} X$	$b_1 = 4,0000$ $b_2 = 0,4678$	0,88999	$\begin{bmatrix} 4,35915 & -2,02674 \times 10^{-2} \\ & 1,30213 \times 10^{-4} \end{bmatrix}$	0,98
cedui mesofili di castagno e robinia $Y = b_{13} + b_{23} X$	$b_1 = -2,9641$ $b_2 = 0,5085$	1,33606	$\begin{bmatrix} 14,25214 & -4,95924 \times 10^{-2} \\ & 2,23097 \times 10^{-4} \end{bmatrix}$	0,98
cedui misti termofili $Y = b_{14} + b_{24} X$	$b_1 = 5,0100$ $b_2 = 0,4503$	0,63987	$\begin{bmatrix} 0,35072 & -2,34456 \times 10^{-3} \\ & 2,72029 \times 10^{-5} \end{bmatrix}$	0,98
formazioni riparie $Y = b_{15} + b_{25} X$	$b_1 = 21,0024$ $b_2 = 0,3919$	2,13075	$\begin{bmatrix} 472,27334 & -1,12729 \times 10^0 \\ & 3,15019 \times 10^{-3} \end{bmatrix}$	0,98
con X = area bas. (ad ettaro) x altezza dominante [m ² x m] Y = volume (ad ettaro) [m ³]				

tabella 8, in cui sono evidenziate anche le varianze residue, le matrici di varianza e covarianza dei coefficienti e il rapporto tra devianze dovute alla regressione e devianze totali, per ognuno dei cinque tipi vegetazionali prefigurati.

L'analisi è stata completata con l'osservazione della consistenza e della distribuzione dei residui, mediante la conduzione anche di alcuni appropriati test statistici (TABACCHI, 1985). Analizzando i risultati riportati nella tabella 9, si può concludere che gli indicatori utilizzati non segnalano situazioni di scarsa capacità interpretativa da parte dei modelli predittivi risultanti.

Nella figura 8 sono evidenziati gli andamenti attesi del volume ad ettaro al variare del prodotto "area basimetrica ad ettaro per altezza dominante", per i cinque tipi vegetazionali. L'andamento delle rette perequatrici permette di ipotizzare alcuni possibili accorpamenti, i più interessanti dei quali sono così esplicitati:

- per tutti e cinque i tipi vegetazionali la relazione tra il volume ad ettaro e la variabile indipendente è esprimibile mediante un'unica retta perequatrice; formalmente tale ipotesi si traduce nell'imposizione dei due vincoli ($b_{11} = b_{12} = b_{13} = b_{14} = b_{15}$) e ($b_{21} = b_{22} = b_{23} = b_{24} = b_{25}$);
- subordinatamente, la stessa relazione è espressa da cinque rette separate ma aventi lo stesso termine noto, per cui il vincolo diventa solamente ($b_{11} = b_{12} = b_{13} = b_{14} = b_{15}$);
- subordinatamente, la stessa relazione è espressa

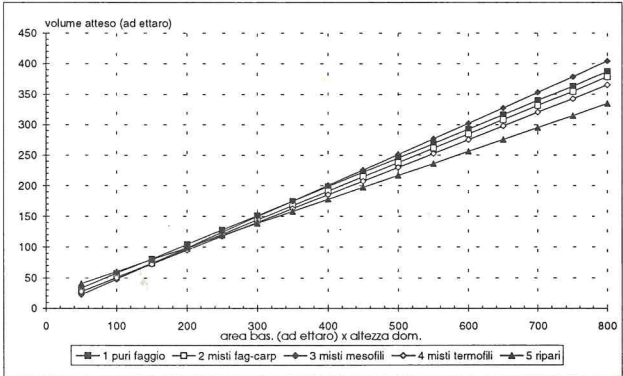


Figura 8 - Variazione del volume medio atteso (in m³ - fusto svettato a 3 cm e sopra corteccia) in funzione della variabile indipendente "area basimetrica ad ettaro (m²) x altezza dominante (m)", per i cinque tipi vegetazionali prefigurati.
Estimated mean volume per hectare (in cubic metres, merchantable stem > 3 - 4 cm, outside bark) depending upon some values of independent variable "basal area per hectare (m²) x dominant height (m)", for the five type of stands examined.

da tre rette fra di loro indipendenti, una relativa ai cedui mesofili, una relativa alle formazioni riparie ed una unica valevole per i cedui puri di faggio, per i cedui misti di faggio e carpino e per i cedui misti termofili; in questo caso i vincoli da inserire diventano ($b_{11} = b_{12} = b_{14}$) e ($b_{21} = b_{22} = b_{24}$).

Le ipotesi così formulate sono state valutate mediante test F, seguendo le procedure suggerite da CUNIA

Tabella 9 - Indicatori della bontà perequativa dei modelli previsionali istituiti per i cinque tipi vegetazionali prefigurati. Indexes of the descriptive capability of forecast models prepared for the five types of stands examined.

	S_m (m^3)	S_q (m^3)	S_{qr} (%)	z_1	z_2	χ^2
cedui puri di faggio	0,00	16,6	13,9	0,95 (1,96-2,58)	1,83 (1,96-2,58)	13,59 (16,92-21,67)
cedui misti di faggio e carpino nero	0,00	14,4	13,6	0,19 (1,98-2,62)	0,65 (1,98-2,62)	10,25 (16,92-21,67)
cedui mesofili di castagno e robinia	0,00	20,6	14,0	0,31(1,99-2,64)	0,61 (1,99-2,64)	14,30 (16,92-21,67)
cedui misti termofili	0,00	10,5	14,8	1,17 (1,96-2,58)	1,78 (1,96-2,58)	12,17 (16,92-21,67)
formazioni riparie	0,01	26,7	15,2	0,60 (2,23-3,17)	1,44 (2,23-3,17)	8,33 (16,92-21,67)

con S_m = media algebrica degli scostamenti, S_q = media quadratica degli scostamenti, S_{qr} = media quadratica degli scostamenti percentuali, z_1 = variabile aleatoria test dei segni degli scostamenti, z_2 = variabile aleatoria test delle successioni dei segni degli scostamenti, χ^2 = variabile aleatoria per il test sulla distribuzione dei segni degli scostamenti ripartiti per classi dimensionali; tra parentesi i corrispondenti valori critici per $\alpha=0,05$ e $0,01$.

Tabella 10 - Risultati dei test F condotti per valutare le ipotesi di aggregazione delle osservazioni appartenenti a tipi vegetazionali diversi.

Results of F tests carried out to assess some hypothesis of aggregation of the data related to the five types of stands examined.

Ipotesi	SS_{regr1}	gl_1	SS_{regr2}	gl_2	SS_{res1}	gl_{res1}	F_{calc}
1°	39.875,6	10	39.810,4	2	699,8	767	8,94
2°	39.875,6	10	39.861,3	6	699,8	767	3,92
3°	39.875,6	10	39.828,0	6	699,8	767	13,06

$F_{0,05; 8 e 767} = 1,95$; $F_{0,01; 8 e 767} = 2,54$; $F_{0,05; 4 e 767} = 2,38$; $F_{0,01; 4 e 767} = 3,35$

SS_{regr1} , gl_1 : devianza della regressione e gradi di libertà per il modello senza vincoli (tutte le cinque rette indipendenti); SS_{regr2} , gl_2 : devianza della regressione e gradi di libertà per il modello vincolato (a seguito dell'ipotesi di aggregazione); SS_{res1} , gl_{res1} : devianza residua e gradi di libertà per il modello senza vincoli.

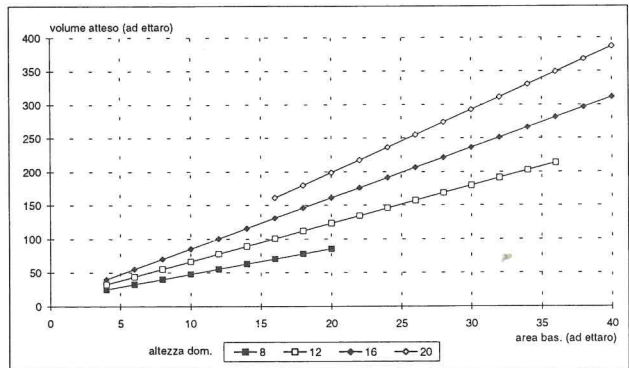


Figura 9 - Valori attesi del volume ad ettaro (in m^3 - fusto sveltato a 3 cm e sopra corteccia) in funzione dell'area basimetrica ad ettaro (m^2) per alcune classi di altezza dominante (m), per i cedui puri di faggio. Estimated mean volume per hectare (in cubic metres, merchantable stem > 3 - 4 cm, outside bark) in relation to the basal area per hectare (m^2) and some values of dominant height (m), for the beech coppices.

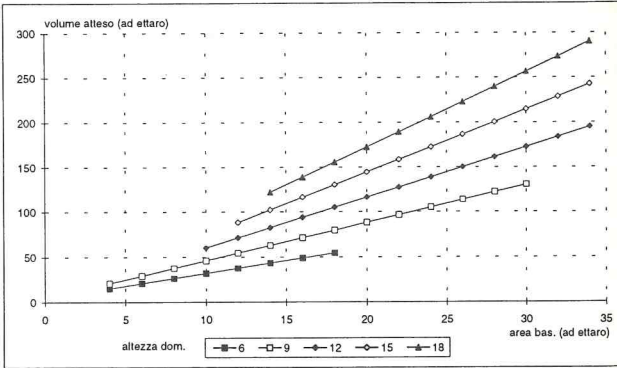


Figura 10 - Valori attesi del volume ad ettaro (in m^3 - fusto sveltato a 3 cm e sopra corteccia) in funzione dell'area basimetrica ad ettaro (m^2) per alcune classi di altezza dominante (m), per i cedui misti di faggio e carpino nero. Estimated mean volume per hectare (in cubic metres, merchantable stem > 3 - 4 cm, outside bark) in relation to the basal area per hectare (m^2) and some values of dominant height (m), for the beech and European hophornbeam mixed coppices.

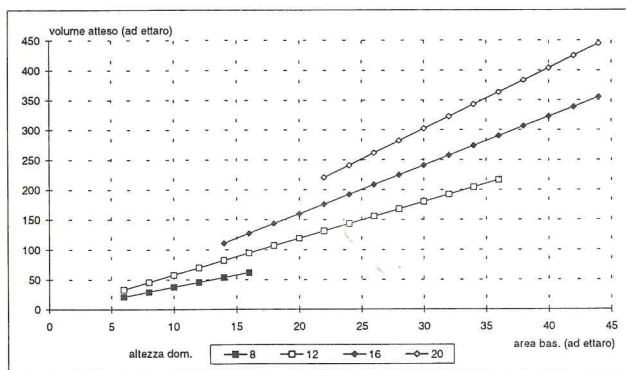


Figura 11 - Valori attesi del volume ad ettaro (in m^3 - fusto svettato a 3 cm e sopra corteccia) in funzione dell'area basimetrica ad ettaro (m^2) per alcune classi di altezza dominante (m), per i cedui mesofili di castagno e robinia. Estimated mean volume per hectare (in cubic metres, merchantable stem > 3 - 4 cm, outside bark) in relation to the basal area per hectare (m^2) and some values of dominant height (m), for the black locust and European chestnut mesophile coppices.

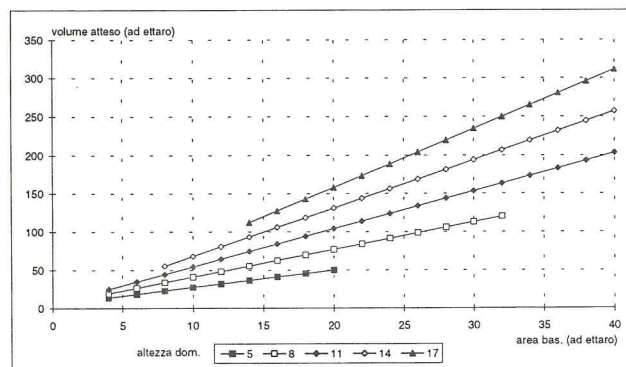


Figura 12 - Valori attesi del volume ad ettaro (in m^3 - fusto svettato a 3 cm e sopra corteccia) in funzione dell'area basimetrica ad ettaro (m^2) per alcune classi di altezza dominante (m), per i cedui misti termofili. Estimated mean volume per hectare (in cubic metres, merchantable stem > 3 - 4 cm, outside bark) in relation to the basal area per hectare (m^2) and some values of dominant height (m), for the mixed thermophile coppices.

(1973, 1987a) per i test di coincidenza e parallelismo fra modelli regressivi riferiti a gruppi di osservazioni diversi. I risultati di questa analisi, riassunti nella tabella 10, comportano il rifiuto di tutte le ipotesi sopra esposte, per cui non appare possibile aggregare tra di loro in alcun modo i modelli risultanti per i cinque tipi vegetazionali. Viene così confermata la bontà della suddivisione inizialmente adottata.

A conclusione di questa fase di modellizzazione del fenomeno esaminato, si riportano nelle figure 9, 10, 11, 12 e 13, gli andamenti attesi del volume ad ettaro, al variare dell'area basimetrica ad ettaro in corrispondenza di alcune classi di altezza dominante, per ciascun tipo vegetazionale. Nelle tabelle 11, 12, 13, 14 e 15,

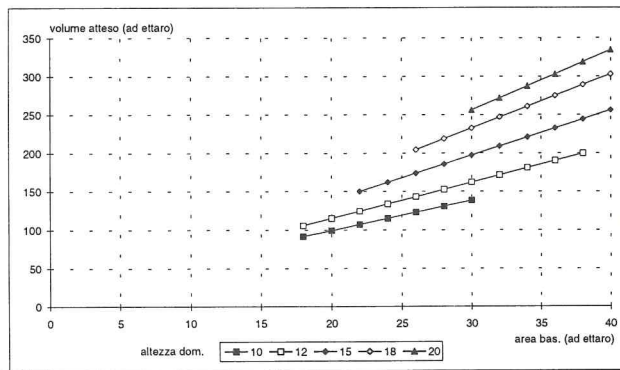


Figura 13 - Valori attesi del volume ad ettaro (in m^3 - fusto svettato a 3 cm e sopra corteccia) in funzione dell'area basimetrica ad ettaro (m^2) per alcune classi di altezza dominante (m), per le formazioni riparie. Estimated mean volume per hectare (in cubic metres, merchantable stem > 3 - 4 cm, outside bark) in relation to the basal area per hectare (m^2) and some values of dominant height (m), for the riparian stands.

sono infine evidenziati i valori medi attesi del volume ad ettaro in corrispondenza di alcune classi di area basimetrica ad ettaro e di altezza dominante per ognuno dei cinque tipi vegetazionali previsti.

4 Applicazione dei modelli

Come già accennato nell'introduzione, le tavole di cubatura di popolamento costituiscono un valido strumento per la stima delle masse legnose qualora non siano richieste sue ripartizioni a carattere dendrologico o dimensionale; in tali situazioni queste tavole risultano di facile impiego e permettono il raggiungimento di stime delle masse legnose complessive con incertezze abbastanza contenute. Di seguito sono riportate alcune indicazioni sulle modalità di applicazione e sulla precisione delle stime formulate con esse.

4.1 Modalità di applicazione

Una tavola di cubatura di popolamento permette di stimare il volume ad ettaro di un soprassuolo a partire dalla conoscenza della sua area basimetrica per ettaro e dell'altezza media delle piante dominanti e codominanti dello stesso.

Per un soprassuolo anche abbastanza esteso ma molto omogeneo dal punto di vista ipsometrico, è possibile stimare la massa legnosa unitaria presente conoscendo l'area basimetrica media del soprassuolo e la sua altezza dominante; è questo il caso di stima della massa legnosa di una particella, di cui è stata misurata l'area basimetrica complessiva, di cui si conosce l'esten-

Tabella 11 - Valori medi attesi del volume ad ettaro (per fusto sveltato a 3 cm), espresso in metri cubi, in corrispondenza di alcuni valori di area basimetrica ad ettaro (espressa in metri quadrati) e di altezza media degli alberi dominanti (espressa in metri), per i cedui puri di faggio.

Estimated mean volume per hectare (merchantable stem > 3 - 4 cm, in cubic metres), for some values of basal area per hectare (in square metres) and dominant height (in metres), related to beech coppices.

H dom. A.bas./ettaro	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
4	23,4	25,3	27,2	29,1	30,9	32,8	34,7	36,6	38,5	40,4	42,2					
6	30,0	32,8	35,6	38,5	41,3	44,1	46,9	49,8	52,6	55,4	58,2					
8	36,6	40,4	44,1	47,9	51,7	55,4	59,2	63,0	66,7	70,5	74,3	78,0				
10	43,2	47,9	52,6	57,3	62,0	66,7	71,4	76,1	80,8	85,6	90,3	95,0				
12	49,8	55,4	61,1	66,7	72,4	78,0	83,7	89,3	95,0	100,6	106,3	111,9	117,6			
14	56,4	63,0	69,5	76,1	82,7	89,3	95,9	102,5	109,1	115,7	122,3	128,9	135,5			
16	63,0	70,5	78,0	85,6	93,1	100,6	108,1	115,7	123,2	130,7	138,3	145,8	153,3	160,9		
18		78,0	86,5	95,0	103,4	111,9	120,4	128,9	137,3	145,8	154,3	162,8	171,2	179,7		
20		85,6	95,0	104,4	113,8	123,2	132,6	142,0	151,5	160,9	170,3	179,7	189,1	198,5	208,0	
22			103,4	113,8	124,2	134,5	144,9	155,2	165,6	175,9	186,3	196,7	207,0	217,4	227,7	
24			111,9	123,2	134,5	145,8	157,1	168,4	179,7	191,0	202,3	213,6	224,9	236,2	247,5	258,8
26			132,6	144,9	157,1	169,4	181,6	193,8	206,1	218,3	230,6	242,8	255,0	267,3	279,5	
28			142,0	155,2	168,4	181,6	194,8	208,0	221,1	234,3	247,5	260,7	273,9	287,1	300,2	
30				165,6	179,7	193,8	208,0	222,1	236,2	250,3	264,5	278,6	292,7	306,8	321,0	
32				175,9	191,0	206,1	221,1	236,2	251,3	266,3	281,4	296,5	311,5	326,6	341,7	
34					202,3	218,3	234,3	250,3	266,3	282,3	298,4	314,4	330,4	346,4	362,4	
36					213,6	230,6	247,5	264,5	281,4	298,4	315,3	332,2	349,2	366,1	383,1	
38						242,8	260,7	278,6	296,5	314,4	332,2	350,1	368,0	385,9	403,8	
40						255,0	273,9	292,7	311,5	330,4	349,2	368,0	386,9	405,7	424,5	

Tabella 12 - Valori medi attesi del volume ad ettaro (per fusto sveltato a 3 cm), espresso in metri cubi, in corrispondenza di alcuni valori di area basimetrica ad ettaro (espressa in metri quadrati) e di altezza media degli alberi dominanti (espressa in metri), per i cedui misti di faggio e carpino nero.

Estimated mean volume per hectare (merchantable stem > 3 - 4 cm, in cubic metres), for some values of basal area per hectare (in square metres) and dominant height (in metres), related to beech and European hophornbeam mixed coppices.

H dom. A.bas./ettaro	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
4	13,4	15,2	17,1	19,0	20,8									
6	18,0	20,8	23,6	26,5	29,3	32,1								
8	22,7	26,5	30,2	33,9	37,7	41,4	45,2							
10	27,4	32,1	36,7	41,4	46,1	50,8	55,5	60,1	64,8					
12	32,1	37,7	43,3	48,9	54,5	60,1	65,7	71,4	77,0	82,6	88,2	93,8		
14	36,7	43,3	49,8	56,4	62,9	69,5	76,0	82,6	89,1	95,7	102,2	108,8	115,3	121,9
16		48,9	56,4	63,9	71,4	78,8	86,3	93,8	101,3	108,8	116,3	123,8	131,2	138,7
18		54,5	62,9	71,4	79,8	88,2	96,6	105,0	113,5	121,9	130,3	138,7	147,1	155,6
20			69,5	78,8	88,2	97,6	106,9	116,3	125,6	135,0	144,3	153,7	163,1	172,4
22			76,0	86,3	96,6	106,9	117,2	127,5	137,8	148,1	158,4	168,7	179,0	189,2
24				93,8	105,0	116,3	127,5	138,7	150,0	161,2	172,4	183,6	194,9	206,1
26				101,3	113,5	125,6	137,8	150,0	162,1	174,3	186,4	198,6	210,8	222,9
28					121,9	135,0	148,1	161,2	174,3	187,4	200,5	213,6	226,7	239,8
30					130,3	144,3	158,4	172,4	186,4	200,5	214,5	228,5	242,6	256,6
32						153,7	168,7	183,6	198,6	213,6	228,5	243,5	258,5	273,5
34						163,1	179,0	194,9	210,8	226,7	242,6	258,5	274,4	290,3

sione e nella quale non esistono difformità,nello sviluppo ipsometrico del soprassuolo.

In genere non è frequente osservare la necessaria omogeneità ipsometrica su superfici di una certa estensione, quali possono essere le particelle forestali, mentre è certamente più agevole constatare tale requisito su superfici più ridotte. Oltre che ad essere più frequente, una situazione del genere è molto più simile alla realtà che è stata osservata, attraverso il campionamento per aree di saggio dislocate in frazioni omogenee dei soprassuoli forestali esaminati, per la costruzione delle tavole stesse. Si può così affermare che l'ambito

applicativo più corretto delle tavole di popolamento è quello del rilevamento campionario, con la misura dell'area basimetrica unitaria del soprassuolo in corrispondenza di punti di sondaggio posizionati all'interno di alcune sue frazioni sufficientemente omogenee sotto il profilo ipsometrico. La massa legnosa per unità di superficie dell'intero popolamento è poi calcolata come media dell'insieme di stime prodotte per l'unità territoriale considerata.

In questo ambito, la determinazione dell'area basimetrica unitaria può avvenire sia mediante aree di saggio che con prove relascopiche, adottando esten-

Tabella 13 - Valori medi attesi del volume ad ettaro (per fusto svettato a 3 cm), espresso in metri cubi, in corrispondenza di alcuni valori di area basimetrica ad ettaro (espressa in metri quadrati) e di altezza media degli alberi dominanti (espressa in metri), per i cedui mesofili di castagno e robinia.

Estimated mean volume per hectare (merchantable stem > 3 - 4 cm, in cubic metres), for some values of basal area per hectare (in square metres) and dominant height (in metres), related to black locust and European chestnut mesophile coppices.

H dom. A.bas./ettaro	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
6	18,4	21,4	24,5	27,5	30,6	33,6								
8	25,5	29,6	33,6	37,7	41,8	45,9	49,9							
10	32,6	37,7	42,8	47,9	53,0	58,1	63,1	68,2						
12	39,7	45,9	52,0	58,1	64,2	70,3	76,4	82,5	88,6					
14		54,0	61,1	68,2	75,3	82,5	89,6	96,7	103,8	110,9				
16		62,1	70,3	78,4	86,5	94,7	102,8	110,9	119,1	127,2	135,3			
18			79,4	88,6	97,7	106,9	116,0	125,2	134,3	143,5	152,6	161,8		
20			88,6	98,7	108,9	119,1	129,2	139,4	149,6	159,8	169,9	180,1	190,3	
22			97,7	108,9	120,1	131,3	142,5	153,7	164,8	176,0	187,2	198,4	209,6	220,8
24			106,9	119,1	131,3	143,5	155,7	167,9	180,1	192,3	204,5	216,7	228,9	241,1
26				129,2	142,5	155,7	168,9	182,1	195,4	208,6	221,8	235,0	248,2	261,5
28				139,4	153,7	167,9	182,1	196,4	210,6	224,8	239,1	253,3	267,6	281,8
30					164,8	180,1	195,4	210,6	225,9	241,1	256,4	271,6	286,9	302,1
32					176,0	192,3	208,6	224,8	241,1	257,4	273,7	289,9	306,2	322,5
34						204,5	221,8	239,1	256,4	273,7	290,9	308,2	325,5	342,8
36						216,7	235,0	253,3	271,6	289,9	308,2	326,5	344,8	363,2
38							248,2	267,6	286,9	306,2	325,5	344,8	364,2	383,5
40							261,5	281,8	302,1	322,5	342,8	363,2	383,5	403,8
42								296,0	317,4	338,7	360,1	381,5	402,8	424,2
44								310,3	332,6	355,0	377,4	399,8	422,1	444,5

Tabella 14 - Valori medi attesi del volume ad ettaro (per fusto svettato a 3 cm), espresso in metri cubi, in corrispondenza di alcuni valori di area basimetrica ad ettaro (espressa in metri quadrati) e di altezza media degli alberi dominanti (espressa in metri), per i cedui misti termofili.

Estimated mean volume per hectare (merchantable stem > 3 - 4 cm, in cubic metres), for some values of basal area per hectare (in square metres) and dominant height (in metres), related to mixed thermophile coppices.

H dom. A.bas./ettaro	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
4	12,2	14,0	15,8	17,6	19,4	21,2	23,0	24,8	26,6					
6	15,8	18,5	21,2	23,9	26,6	29,3	32,0	34,7	37,4	40,1				
8	19,4	23,0	26,6	30,2	33,8	37,4	41,0	44,6	48,2	51,8	55,4			
10	23,0	27,5	32,0	36,5	41,0	45,5	50,0	54,5	59,0	63,5	68,1	72,6		
12	26,6	32,0	37,4	42,8	48,2	53,6	59,0	64,4	69,9	75,3	80,7	86,1	91,5	
14		36,5	42,8	49,1	55,4	61,7	68,1	74,4	80,7	87,0	93,3	99,6	105,9	112,2
16		41,0	48,2	55,4	62,6	69,9	77,1	84,3	91,5	98,7	105,9	113,1	120,3	127,5
18		45,5	53,6	61,7	69,9	78,0	86,1	94,2	102,3	110,4	118,5	126,6	134,7	142,8
20		50,0	59,0	68,1	77,1	86,1	95,1	104,1	113,1	122,1	131,1	140,1	149,1	158,1
22			64,4	74,4	84,3	94,2	104,1	114,0	123,9	133,8	143,7	153,6	163,5	173,4
24			69,9			102,3	113,1	123,9	134,7	145,5	156,3	167,1	177,9	188,7
26				87,0	98,7	110,4	122,1	133,8	145,5	157,2	168,9	180,6	192,3	204,0
28				93,3	105,9	118,5	131,1	143,7	156,3	168,9	181,5	194,1	206,7	219,4
30					113,1	126,6	140,1	153,6	167,1	180,6	194,1	207,6	221,2	234,7
32					120,3	134,7	149,1	163,5	177,9	192,3	206,7	221,2	235,6	250,0
34						142,8	158,1	173,4	188,7	204,0	219,4	234,7	250,0	265,3
36						150,9	167,1	183,3	199,5	215,8	232,0	248,2	264,4	280,6
38							176,1	193,2	210,3	227,5	244,6	261,7	278,8	295,9
40							185,1	203,1	221,2	239,2	257,2	275,2	293,2	311,2

sioni o fattori di numerazione opportuni in funzione delle situazioni di densità dei soprassuoli, delle dimensioni degli alberi da misurare e dei costi operativi connessi. Come già indicato, le osservazioni campionarie utilizzate nel presente lavoro si riferiscono ad aree di saggio di 200 m² e quindi sarebbe opportuno adottare tale estensione delle eventuali aree campione anche nella fase di applicazione. Qualora invece si optasse per un rilievo relascopico, in tali soprassuoli, nei quali il diame-

tro degli alberi a 1,3 m dal suolo in genere non supera i 22-23 cm, l'adozione di un fattore di numerazione pari a 2 permetterebbe di esplorare una superficie di poco superiore ai 200 m², operando così in maniera congruente alle procedure di preparazione dei modelli previsionali. Nel caso di adozione di un fattore pari a 4 la superficie esplorata risulterebbe troppo limitata (circa 100 m²), mentre sarebbe eccessiva (oltre 415 m²) se il fattore di numerazione fosse pari a 1.

Tabella 15 - Valori medi attesi del volume ad ettaro (per fusto svettato a 3 cm), espresso in metri cubi, in corrispondenza di alcuni valori di area basimetrica ad ettaro (espressa in metri quadrati) e di altezza media degli alberi dominanti (espressa in metri), per le formazioni riparie.
Estimated mean volume per hectare (merchantable stem > 3 - 4 cm, in cubic metres), for some values of basal area per hectare (in square metres) and dominant height (in metres), related to riparian stands.

H dom. A.bas./ettaro	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
18	91,5	98,6	105,7								
20	99,4	107,2	115,1	122,9	130,7						
22	107,2	115,8	124,5	133,1	141,7	150,3	159,0				
24	115,1	124,5	133,9	143,3	152,7	162,1	171,5	180,9			
26	122,9	133,1	143,3	153,5	163,7	173,8	184,0	194,2	204,4		
28	130,7	141,7	152,7	163,7	174,6	185,6	196,6	207,5	218,5	229,5	
30	138,6	150,3	162,1	173,8	185,6	197,4	209,1	220,9	232,6	244,4	256,1
32		159,0	171,5	184,0	196,6	209,1	221,7	234,2	246,7	259,3	271,8
34		167,6	180,9	194,2	207,5	220,9	234,2	247,5	260,8	274,2	287,5
36			190,3	204,4	218,5	232,6	246,7	260,8	275,0	289,1	303,2
38			199,7	214,6	229,5	244,4	259,3	274,2	289,1	304,0	318,8
40				224,8	240,5	256,1	271,8	287,5	303,2	318,8	334,5

Tabella 16 - Valori attesi (medi e singoli) del volume per ettaro e i relativi intervalli fiduciari, stimati al livello probabilistico del 95 %, per i cedui puri di faggio.
Individual and mean estimated values of volume per hectare and 95-percent confidence limits for the beech coppices.

A.bas./ettaro (m²)	H.dom (m)	Vol./ettaro ($\hat{Y} = \bar{Y}$) (m³)	I.f. ($\hat{Y}$) $\alpha = 0,05$		I.f. ($\hat{Y}$) $\alpha = 0,05$	
			(m³)	(%)	(m³)	(%)
4	7	23,4	±3,7	±15,6	±11,4	±48,7
6	8	32,8	3,4	10,3	14,5	44,3
8	9	44,1	3,1	7,0	17,6	39,8
10	10	57,3	2,7	4,8	20,6	35,9
12	11	72,4	2,4	3,4	23,6	32,6
14	12	89,3	2,2	2,5	26,5	29,7
16	13	108,1	2,1	2,0	29,5	27,3
18	13	120,4	2,2	1,8	31,3	26,0
20	14	142,0	2,5	1,8	34,2	24,1
22	14	155,2	2,8	1,8	35,9	23,1
24	15	179,7	3,4	1,9	38,9	21,6
26	15	193,8	3,8	2,0	40,5	20,9
28	16	221,1	4,7	2,1	43,4	19,6
30	17	250,3	5,7	2,3	46,4	18,5
32	18	281,4	6,7	2,4	49,4	17,6
34	19	314,4	7,9	2,5	52,4	16,7
36	20	349,2	9,1	2,6	55,5	15,9
38	21	385,9	10,4	2,7	58,6	15,2
40	21	405,7	11,1	2,7	60,2	14,8
40	22	424,5	11,8	2,8	61,7	14,5

Infine, per quanto riguarda il rilievo ipsometrico, è necessaria la determinazione del valore medio dell'altezza di alcuni polloni dominanti e codominanti (e non quello delle matricine) presenti sull'area effettivamente esplorata per la determinazione dell'area basimetrica unitaria. L'adozione di un altro indicatore dello spazio epigeo effettivamente occupato, quale l'altezza di area basimetrica media (BIANCHI, 1984) o l'altezza di Lorey (NAESSET, 1994), risulterebbe difforme nei confronti delle procedure di allestimento delle tavole sopra evidenziate.

4.2 L'incertezza delle previsioni

Per avere un'indicazione sulla precisione delle sti-

me conseguite con le equazioni previsionali proposte, è necessario determinare l'entità dell'intervallo fiduciario sia dei valori medi attesi di volume ad ettaro che dei singoli valori attesi in corrispondenza di alcuni valori delle variabili esplicative, per un determinato livello di sicurezza statistica.

Forse anche più importante è stimare l'intervallo fiduciario del valore medio dell'insieme dei singoli valori attesi di volume a ettaro ottenuti in corrispondenza dei vari punti di sondaggio; in questo caso si tratta di combinare opportunamente l'incertezza (in genere contenuta) che affligge ogni singola previsione a seguito della stima campionaria dei coefficienti numerici dei modelli previsionali con l'incertezza (normalmente piuttosto consistente) connessa alla media campionaria dei valori forniti dai modelli.

Tabella 17 - Valori attesi (medi e singoli) del volume per ettaro e i relativi intervalli fiduciari, stimati al livello probabilistico del 95 %, per i cedui misti di faggio e carpino nero.

Individual and mean estimated values of volume per hectare and 95-percent confidence limits for the beech and European hophornbeam mixed coppices.

A.bas./ettaro (m ²)	H.dom (m)	Vol./ettaro ($\hat{Y} = \hat{Y}$) (m ³)	I.f. ($\hat{Y}$) $\alpha = 0,05$		I.f. ($\hat{Y}$) $\alpha = 0,05$	
			(m ³)	(%)	(m ³)	(%)
4	5	13,4	±3,7	±27,8	±9,1	±67,9
6	6	20,8	3,4	16,5	11,6	55,7
8	6	26,5	3,2	12,2	13,2	49,9
10	7	36,7	2,9	7,8	15,7	42,8
10	8	41,4	2,7	6,6	16,8	40,5
12	9	54,5	2,4	4,4	19,4	35,5
14	10	69,5	2,2	3,1	22,0	31,6
16	10	78,9	2,2	2,7	23,5	29,8
18	11	96,6	2,4	2,4	26,1	27,0
20	12	116,3	2,9	2,5	28,8	24,8
22	13	137,8	3,6	2,6	31,5	22,8
22	14	148,1	4,0	2,7	32,7	22,1
24	15	172,4	5,1	2,9	35,4	20,6
24	16	183,6	5,5	3,0	36,7	20,0
26	16	198,6	6,2	3,1	38,2	19,2
26	17	210,8	6,8	3,2	39,5	18,7
28	17	226,7	7,5	3,3	41,0	18,1
30	17	242,6	8,2	3,4	42,6	17,5
32	18	273,5	9,6	3,5	45,4	16,6
34	18	290,3	10,4	3,6	46,9	16,2

Tabella 18 - Valori attesi (medi e singoli) del volume per ettaro e i relativi intervalli fiduciari, stimati al livello probabilistico del 95 %, per i cedui mesofili di castagno e robinia.

Individual and mean estimated values of volume per hectare and 95-percent confidence limits for the black locust and European chestnut mesophile coppices.

A.bas./ettaro (m ²)	H.dom (m)	Vol./ettaro ($\hat{Y} = \hat{Y}$) (m ³)	I.f. ($\hat{Y}$) $\alpha = 0,05$		I.f. ($\hat{Y}$) $\alpha = 0,05$	
			(m ³)	(%)	(m ³)	(%)
6	7	18,4	±6,3	±34,5	±16,0	±87,0
8	8	29,6	5,8	19,7	19,0	64,4
10	9	42,8	5,2	12,2	22,1	51,7
12	10	58,1	4,6	8,0	25,2	43,5
14	11	75,3	4,0	5,4	28,4	37,7
16	12	94,7	3,6	3,8	31,6	33,4
18	12	106,9	3,5	3,3	33,5	31,3
20	13	129,2	3,7	2,9	36,7	28,4
22	13	142,5	4,0	2,8	38,5	27,0
24	14	167,9	4,8	2,9	41,8	24,9
26	15	195,4	6,0	3,1	45,1	23,1
28	15	210,6	6,8	3,2	46,9	22,3
30	16	241,1	8,3	3,5	50,3	20,9
32	17	273,7	10,1	3,7	53,8	19,7
34	18	308,2	11,9	3,9	57,3	18,6
36	18	326,6	13,0	4,0	59,1	18,1
38	19	364,2	15,0	4,1	62,7	17,2
40	19	383,5	16,1	4,2	64,5	16,8
42	20	424,2	18,4	4,3	68,2	16,1
44	20	444,5	19,6	4,4	70,0	15,7

Con riferimento alla notazione adottata in precedenti contributi (TABACCHI, 1989b; TABACCHI e TOSI, 1993) e alla formulazione in termini matriciali dell'equazione [1], l'intervallo fiduciario relativo al valore medio atteso della variabile dipendente, in corrispondenza di un dato insieme di valori delle variabili indipendenti $\mathbf{X}_0$, è dato da

$$I.f.(\bar{Y}_0) = \hat{Y}_0 \pm t \sqrt{(\mathbf{X}_0' \mathbf{V}(\mathbf{b}) \mathbf{X}_0)},$$

dove t (di Student) ha i gradi di libertà su cui si basa la stima della varianza residua della regressione e per il

livello probabilistico adottato $(1 - \alpha)$. L'intervallo fiduciario del singolo valore atteso è invece dato dalla

$$I.f.(Y_0) = \hat{Y}_0 \pm t \sqrt{(\mathbf{X}_0' \mathbf{V}(\mathbf{b}) \mathbf{X}_0 + s_0^2)},$$

dove $s_0^2 = s^2 X_0$ è la varianza residua stimata in corrispondenza dell'insieme dei valori delle variabili indipendenti (che nel caso in esame è una sola ed è pari al prodotto dell'area basimetrica unitaria per l'altezza dominante).

Nelle tabelle 16, 17, 18, 19 e 20, in corrispondenza

Tabella 19 - Valori attesi (medi e singoli) del volume per ettaro e i relativi intervalli fiduciari, stimati al livello probabilistico del 95 %, per i cedui misti termofili.

Individual and mean estimated values of volume per hectare and 95-percent confidence limits for the mixed thermophile coppices.

A.bas./ettaro (m ²)	H.dom (m)	Vol./ettaro ($\hat{Y} = \hat{Y}$) (m ³)	l.f. ($\hat{Y}$) $\alpha = 0,05$		l.f. ($\hat{Y}$) $\alpha = 0,05$	
			(m ³)	(%)	(m ³)	(%)
4	4	12,2	±1,0	±8,5	±6,4	±52,0
6	5	18,5	0,9	5,1	8,6	46,7
8	5	23,0	0,9	3,9	10,0	43,2
10	6	32,0	0,8	2,5	12,2	38,0
12	7	42,8	0,8	1,8	14,4	33,6
14	7	49,1	0,8	1,6	15,5	31,6
16	8	62,6	0,9	1,4	17,8	28,3
18	9	78,0	1,1	1,4	20,0	25,6
20	9	86,1	1,2	1,4	21,1	24,5
22	10	104,1	1,6	1,5	23,3	22,4
24	11	123,9	2,0	1,6	25,6	20,6
26	11	133,8	2,2	1,6	26,6	19,9
28	12	156,3	2,7	1,7	28,9	18,5
30	13	180,6	3,2	1,8	31,1	17,2
32	13	192,3	3,5	1,8	32,2	16,7
34	14	219,3	4,1	1,8	34,4	15,7
36	15	248,2	4,7	1,9	36,7	14,8
38	16	278,8	5,4	1,9	39,0	14,0
40	16	293,2	5,7	1,9	40,1	13,7
40	17	311,2	6,1	2,0	41,3	13,3

Tabella 20 - Valori attesi (medi e singoli) del volume per ettaro e i relativi intervalli fiduciari, stimati al livello probabilistico del 95 %, per i boschi ripari.

Individual and mean estimated values of volume per hectare and 95-percent confidence limits for the riparian stands.

A.bas./ettaro (m ²)	H.dom (m)	Vol./ettaro ($\hat{Y} = \hat{Y}$) (m ³)	l.f. ($\hat{Y}$) $\alpha = 0,05$		l.f. ($\hat{Y}$) $\alpha = 0,05$	
			(m ³)	(%)	(m ³)	(%)
18	10	91,5	±25,5	±27,8	±46,1	±50,3
18	11	98,6	24,0	24,3	46,9	47,5
20	11	107,2	22,3	20,8	47,9	44,7
22	12	124,5	19,3	15,5	50,3	40,4
24	12	133,9	18,0	13,5	51,8	38,7
24	13	143,3	17,1	11,9	53,3	37,2
26	13	153,5	16,5	10,7	55,1	35,9
28	14	174,6	16,7	9,6	59,1	33,8
28	15	185,6	17,7	9,5	61,2	33,0
30	15	197,3	19,2	9,7	63,7	32,3
30	16	209,1	21,1	10,1	66,2	31,6
32	16	221,6	23,5	10,6	68,9	31,1
32	17	234,2	26,2	11,2	71,7	30,6
34	17	247,5	29,2	11,8	74,7	30,2
34	18	260,8	32,4	12,4	77,8	29,8
36	18	274,9	35,8	13,0	81,2	29,5
36	19	289,0	39,4	13,6	84,6	29,3
38	19	303,9	43,3	14,2	88,2	29,0
38	20	318,8	47,2	14,8	91,9	28,8
40	20	334,5	51,3	15,3	95,8	28,6

di alcuni valori dell'area basimetrica unitaria e dell'altezza dominante sono riportati i valori attesi (medi e singoli) del volume per ettaro e i relativi limiti fiduciari stimati al livello probabilistico del 95%, per i cinque tipi vegetazionali considerati.

Per i cedui di faggio e per i cedui misti termofili, lo scostamento tra valore medio stimato con le equazioni proposte e il valore medio vero incognito è molto contenuto (da 1,5 a 3,0 %, con eccezioni in corrispondenza dei valori più ridotti della variabile dipendente); valori leggermente superiori (tra 2,5 e 5,0 %) si osservano per

i cedui misti di faggio e carpino nero e per i cedui mesofili di castagno e robinia, con le solite eccezioni per le formazioni più rade e con un ridotto sviluppo in altezza. Valori decisamente più alti (raramente inferiori al 10 %) si osservano per le formazioni riparie, a causa del ridottissimo campione disponibile per la stima dei coefficienti numerici del modello previsionale.

Per quanto riguarda gli scostamenti percentuali tra singoli valori (veri e stimati), si possono osservare le stesse analogie anche se questi risultano ben più consistenti (da quattro a venti volte più grandi che non i

precedenti); questa diversa entità degli scostamenti era del tutto attesa e sembra in linea con le osservazioni condotte nel caso delle tavole di cubatura per singoli alberi (TABACCHI, 1989b; TABACCHI e TOSI, 1993).

Come prima illustrato, le tavole di popolamento vanno utilizzate per stimare il volume ad ettaro in corrispondenza di alcuni punti di sondaggio distribuiti all'interno della superficie occupata dal popolamento in esame. Con tali stime viene poi calcolata la massa legnosa media per unità di superficie; infine, la consistenza legnosa complessiva va determinata moltiplicando tale valore medio per la superficie totale interessata. In un siffatto disegno inventariale è possibile individuare due fonti d'incertezza delle stime finali conseguibili, la prima dovuta al rilevamento campionario operato per la stima dei coefficienti numerici dei modelli previsionali della massa legnosa, la seconda dovuta al rilevamento per campioni del soprassuolo da inventariare. Questa procedura può essere formalizzata nelle espressioni che seguono; il volume medio per unità di superficie è pari a

$$\bar{V} = (V_1 + V_2 + \dots + V_n) / n = (\sum V_i) / n$$

dove V_i è il volume per unità di superficie stimato in corrispondenza dell' i -esimo degli n punti di sondaggio. Ogni V_i è ottenuto tramite l'equazione di previsione, per cui

$$\begin{aligned} V &= (b_1 X_{11} + b_2 X_{21} + b_1 X_{12} + b_2 X_{22} + \dots + b_1 X_{1n} + b_2 X_{2n}) / n \\ &= (b_1 \sum X_{1i} + b_2 \sum X_{2i}) / n = b_1 (\sum X_{1i}) / n + b_2 (\sum X_{2i}) / n \\ &= b_1 z_1 + b_2 z_2 \end{aligned} \quad [2]$$

dove, nella fattispecie,

$$z_1 = (\sum X_{1i}) / n = 1 \text{ e } z_2 = (\sum X_{2i}) / n = (\sum X_i) / n$$

con X_i dato dal prodotto tra l'area basimetrica a ettaro per l'altezza dominante osservati nel i -esimo punto di sondaggio.

Secondo l'equazione [2], la stima del volume medio a ettaro del popolamento è ottenuta tramite una combinazione lineare di due vettori, il primo costituito dai coefficienti dell'equazione utilizzata per prevedere la massa legnosa in corrispondenza di ogni punto di sondaggio, il secondo dalle medie dei valori delle variabili esplicative osservati negli stessi punti di sondaggio. Una stima della varianza del volume medio a ettaro $\bar{V}$ è allora ottenibile in via approssimata (CUNIA, 1965, 1982, 1987b) mediante la

$$S_{\bar{V}}^2 = \mathbf{b}' \mathbf{V}(\mathbf{z}) \mathbf{b} + \mathbf{z}' \mathbf{V}(\mathbf{b}) \mathbf{z} \quad [3]$$

dove, oltre alle grandezze il cui significato è già noto, $\mathbf{b}$,

$\mathbf{V}(\mathbf{b})$ e $\mathbf{z}$, la notazione $\mathbf{V}(\mathbf{z})$ identifica la matrice delle varianze e covarianze dei valori medi delle variabili esplicative e i cui termini sono calcolabili con le usuali formule

$$\text{var}(z_k) = [\sum X_k^2 - (\sum X_k)^2 / n] / (n - 1) n \text{ e}$$

$$\text{cov}(z_k, z_h) = [\sum X_k X_h - (\sum X_k \sum X_h) / n] / (n - 1) n$$

Nella [3] il primo addendo raccoglie la varianza connessa al campionamento principale (punti di sondaggio), mentre il secondo rende conto della varianza associata al modello di previsione del volume per ettaro.

Per avere un'idea dell'incertezza associata alla stima del volume medio per ettaro e dell'entità delle sue componenti, sono stati selezionati alcuni campioni a diversa numerosità per ciascuno dei tipi vegetazionali proposti e per essi sono state calcolati alcuni indicatori statistici, tra i quali anche quelli necessari per la determinazione caso per caso dell'errore standard del volume medio a ettaro risultante (cfr. tabelle 21 e 22). Dai risultati esposti in tabella 22, si evince che la componente della varianza legata al campionamento principale è di gran lunga la più consistente variando, per i primi quattro tipi di soprassuoli, dal 97,7 al 99,9 % della varianza totale del volume medio per ettaro. Solamente per le formazioni riparie si osservano valori abbastanza elevati per la varianza legata ai coefficienti numerici dei modelli predittivi, evidentemente per l'esiguo numero di osservazioni su cui si basa la stima di tali coefficienti.

Per completare questa parte dedicata alle incertezze di stima, si chiarisce che l'errore standard percentuale del volume totale stimato per la superficie in esame è esattamente pari all'errore standard percentuale trovato per il volume medio a ettaro se tale superficie è considerata come nota senza errori, altrimenti l'imprecisione della media va combinata con l'imprecisione associata alla stima della superficie secondo le appropriate regole di propagazione degli errori (TAYLOR, 1986).

5 Conclusioni

La realizzazione di un esteso rilevamento campionario, che ha interessato i boschi governati a ceduo della provincia di Trento, ha permesso un'analisi approfondita della relazione esistente tra massa legnosa a ettaro, l'area basimetrica unitaria e l'altezza media degli alberi dominanti e codominanti, al fine di istituire alcuni modelli di previsione da impiegare nei futuri lavori di inventariazione di questi soprassuoli.

Un confronto tra i coefficienti numerici delle equazioni risultanti per i cinque tipi vegetazionali inizialmente prefigurati, condotto con rigorose procedure statistiche, ha permesso di escludere alcuni possibili

Tabella 21 - *Stime del valore medio, della varianza della media e del coefficiente di variabilità, relative alla variabile dipendente (volume ad ettaro) e alla variabile indipendente (area basimetrica ad ettaro per altezza dominante), osservate per campioni a diversa numerosità e per i cinque tipi vegetazionali.*
Estimates of mean, mean variance and coefficient of variation, for dependent (volume per hectare) and independent (basal area per hectare times dominant height) variables, corresponding to some samples of different size and to the five types of stands examined.

Composizione soprassuolo n. osservazioni		$\bar{x}$ (m ² x m)	$S_{\bar{x}}^2$ (m ² x m) ²	CVx (%)	$\bar{y}$ (m ³)	$S_{\bar{y}}^2$ (m ³) ²
cedui puri di faggio						
	5	186,4	3769,1	73,6	98,0	834,9
	10	263,8	2489,0	59,8	134,4	551,6
	20	278,7	866,2	47,2	141,5	192,0
	30	276,9	593,1	48,2	140,6	131,5
cedui misti di faggio e carpino nero						
	5	235,9	1159,1	32,3	114,4	253,3
	10	230,4	1435,6	52,0	111,8	314,2
	20	257,6	762,2	47,9	124,5	166,8
	30	230,4	422,9	48,9	111,8	92,5
cedui mesofili di castagno e robinia						
	5	296,7	4146,5	48,5	147,9	1072,7
	10	306,9	2602,8	52,6	153,1	318,8
	20	302,8	799,8	41,8	151,0	206,8
	30	299,5	757,7	50,3	149,4	195,9
cedui misti termofili						
	5	88,5	113,7	26,9	44,9	22,9
	10	96,6	237,2	50,4	48,5	48,1
	20	144,3	331,7	56,5	70,0	67,3
	30	164,5	353,3	62,6	79,1	71,6
formazioni riparie						
	5	347,5	2915,3	34,7	157,2	448,3
	10	352,2	1659,3	36,6	159,0	254,8
	20	374,9	938,4	36,5	170,0	144,1
	30	376,7	561,8	34,5	168,6	86,3

Tabella 22 - *Stime della varianza legata al modello, della varianza legata al campionamento per aree di saggio, della varianza totale del volume medio ad ettaro e stime dell'errore standard di quest'ultimo, osservate per i campioni descritti nella precedente tabella.*
Estimates of coefficients model variance, plot sampling variance, total variance and standard error of mean volume per hectare, related to samples illustrated in the previous table.

Composizione soprassuolo n. osservazioni		varianza modello (m ³) ²	(%)	varianza aree saggio (m ³) ²	(%)	varianza totale della media ($S_{\bar{v}}^2$) (m ³) ²	(%)	errore standard della media ($S_{\bar{v}}$) (m ³)	(%)
cedui puri di faggio									
	5	1,2	0,1	835,4	99,9	836,6	100,0	28,9	29,5
	10	1,5	0,3	551,7	99,7	553,2	100,0	23,5	17,5
	20	1,6	0,8	192,0	99,2	193,6	100,0	13,9	9,8
	30	1,6	1,2	131,5	98,8	133,1	100,0	11,5	8,2
cedui misti di faggio e carpino nero									
	5	2,0	0,8	253,7	99,2	255,7	100,0	16,0	14,0
	10	1,9	0,6	314,2	99,4	316,1	100,0	17,8	15,9
	20	2,6	1,5	166,8	98,5	169,4	100,0	13,0	10,5
	30	1,9	2,0	92,5	98,0	94,5	100,0	9,7	8,7
cedui mesofili di castagno e robinia									
	5	4,5	0,4	1072,2	99,6	1076,7	100,0	32,8	22,2
	10	4,8	0,7	673,0	99,3	677,8	100,0	26,0	17,0
	20	4,7	2,2	206,8	97,8	211,5	100,0	14,5	9,6
	30	4,6	2,3	195,9	97,7	200,5	100,0	14,2	9,5
cedui misti termofili									
	5	0,2	0,6	23,1	99,4	23,3	100,0	4,8	10,7
	10	0,2	0,3	48,1	99,7	48,3	100,0	6,9	14,3
	20	0,2	0,4	67,3	99,6	67,5	100,0	8,2	11,7
	30	0,3	0,4	71,6	99,6	71,9	100,0	8,5	10,7
formazioni riparie									
	5	69,7	13,5	447,7	86,5	517,4	100,0	22,7	14,5
	10	69,4	21,4	254,8	78,6	324,2	100,0	18,0	11,3
	20	70,2	32,8	144,1	67,2	214,3	100,0	14,6	8,6
	30	70,4	44,9	86,3	55,1	156,7	100,0	12,5	7,4

accorpamenti e ha reso così necessaria l'adozione di un modello predittivo per ciascun tipo di soprassuolo. Viene dunque presentata un'equazione di previsione, e la corrispondente tabella numerica, valevole per i cedui puri di faggio, per i cedui misti di faggio e carpino nero, per i cedui mesofili di castagno e robinia, per i cedui misti termofili e per le formazioni vegetanti in stazioni riparie.

Sul versante applicativo, le tavole di cubatura di popolamento trovano corretta applicazione all'interno di disegni inventariali per campionamento, nell'ambito dei quali evidenziano le loro caratteristiche di praticità e di semplicità operativa, permettendo così di contenere i costi del rilevamento. Anche per quanto attiene la precisione delle stime con esse ottenute, si è potuto constatare che le incertezze di stima collegate alle modalità campionarie del loro approntamento sono decisamente contenute, particolarmente quando derivano da un numero di osservazioni non troppo esiguo (sono necessarie almeno quaranta-cinquanta osservazioni); la fonte maggiore di incertezza rimane infatti legata alle modalità del rilevamento campionario del soprassuolo.

Bibliografia

- BIANCHI M., 1984 - *Una tavola per la determinazione diretta della massa legnosa in piedi nelle faggete della Toscana*. Ricerche sperimentali di dendrometria e di auxometria dell'Istituto di Assestamento Forestale fasc. 10, Firenze.
- BOUCHON J., 1974 - *Les tarifs de cubage*. Ecole nationale du génie rural, des eaux et des forêts, Nancy.
- BUCKMAN R.E., 1961 - *Development and use of three stand volume equations for Minnesota*. Jour. Forestry 59 (8): 573-575.
- CASTELLANI C., SCRINZI G., TABACCHI G., TOSI V., 1984 - *Inventario Forestale Nazionale Italiano. Tavole di cubatura a doppia entrata*. Ministero dell'Agricoltura e delle Foreste, Istituto Sper. Assestamento For. Alpicoltura, Trento.
- CLUTTER J.L., FORTSON J. C., PIENAAR L.V., BRISTER G.H., BAILEY R.L., 1983 - *Timber management. A quantitative approach*. J. Wiley & Sons, New York.
- CUNIA T., 1964 - *Weighted least squares method and construction of volume tables*. For. Sci. 10 (2): 180-191.
- CUNIA T., 1965 - *Some theory on reliability of volume estimates in a forest inventory sample*. For. Sci. 11 (1): 115-128.
- CUNIA T., 1973 - *Dummy variables and some of their uses in regression analysis*. In Proceedings vol. 1 of the June 1973 Meeting, IUFRO Subject Group S4.02, Nancy, France.
- CUNIA T., 1979 - *On tree biomass tables and regression: some statistical comments*. Forest Resources Inventories. Workshop Proceedings, Colorado State University, Fort Collins.
- CUNIA T., 1982 - *On the error of tree volume tables and its effect on the precision of forest inventory estimates*. In Statistics in Theory and Practice, Essays in Honour of Bertil Matérn, Swedish Univ. of Agricultural Sciences, Section of Forest Biometry, Umeå.
- CUNIA T., 1987a - *Use of dummy variables techniques in the estimation of biomass regressions*. In Proceedings of the Workshop on tree biomass regression functions and their contribution to the error of forest inventory estimates, NE-GTR-117, Northeastern Forest Exp. Station, Broomall, Pennsylvania.
- CUNIA T., 1987b - *Error of forest inventory estimates: its main components*. In Proceedings of the Workshop on tree biomass regression functions and their contribution to the error of forest inventory estimates, NE-GTR-117, Northeastern Forest Exp. Station, Broomall, Pennsylvania.
- DAGNELIE P., PALM R., RONDEUX J., THILL A., 1985 - *Tables de cubage des arbres et des peuplements forestières*. Les Presses Agronomiques, Gembloux.
- DALLA FIOR G., 1962 - *La nostra flora*. Editore Monauni, Trento.
- DEL FAVERO R., 1980 - *Sulla stima della massa legnosa dei soprassuoli cedui da sottoporre ad utilizzazione*. Atti Istituto di Ecologia e Selvicoltura vol. 2, Padova.
- DEL FAVERO R., LASEN C., 1993 - *La vegetazione forestale del Veneto*. 2ª edizione. Libreria Progetto Editore, Padova.
- ELLENBERG H., KLÖTZLI F., 1972 - *Waldgesellschaften und Waldstandorte der Schweiz*. Istituto Svizzero di Ricerche Forestali Vol. 48 - Quad. 4.
- EVERT F., 1983 - *An equation for estimating total volume of both stands and single trees of Black Spruce*. Forestry Chronicle 59 (1): 26-29.
- GERDOL R., PICCOLI F., 1980 - *Contributo alla conoscenza delle Faggete del Monte Baldo*. Notiziario della Società Italiana di Fitosociologia 16: 39-45.
- LOETSCH F., ZÖHRER F., HALLER K.E., 1973 - *Forest Inventory*. Vol. II. BLV, München.
- MARCHESONI V., 1962 - *Dal leccio al cembro. Guida-itinerario*. Studi Trentini di Scienze Naturali 39 (3): 1-59.
- MAYER H., 1969 - *Tannenreiche Wälder am Südfall der Mittleren Ostalpen*. BLV Verlagsges., München.
- MOOR M., 1952 - *Die Fagion Gesellschaften im Schweizer Jura*. Beitr. Geobot. Landesaufn., Schweiz. 31: 1-201.
- NAESSET E., 1993 - *The accuracy of the Norwegian stand volume functions*. Skogforsk 46.2, Ås, Norvegia.
- NAESSET E., 1994 - *Stand volume function for Pinus sylvestris in Western Norway*. Skogforsk 47.3, Ås, Norvegia.
- NAESSET E., 1995 - *Stand volume functions for Picea abies in Western Norway*. Scand. J. For. Res. 10 (1): 42-50.
- OBERDORFER E., 1990 - *Pflanzensoziologische Exkursionsflora*. Verlag Eugen Ulmer.

RIASSUNTO

Tra i metodi di determinazione diretta della massa legnosa dei soprassuoli forestali, in particolare qualora non sia necessario conoscere le sue ripartizioni in termini dimensionali o dendrologici, le tavole di cubatura di popolamento si propongono come uno degli strumenti estimativi più pratici e accurati.

L'adozione di tale strumento di stima diventa particolarmente favorevole nelle situazioni in cui non esistano o risulti impraticabile l'impiego di tavole di cubatura per singolo albero, in cui sia possibile adottare procedure speditive per la determinazione dell'area basimetrica unitaria, in cui l'altezza media degli alberi dominanti e codominanti sia un buon indicatore dello spazio epigeo effettivamente occupato. Tali condizioni ricorrono molto spesso nei casi di inventariazione dei boschi governati a ceduo, anche se queste non sono per nulla infrequenti nell'ambito delle misurazioni di soprassuoli governati a fustaia.

A metà degli anni Ottanta, in provincia di Trento è stata avviata un'attività di inventariazione dei boschi privati con l'obiettivo di acquisire su base particellare tutte le informazioni necessarie, unitamente a quelle fornite dai piani di assestamento, per la formulazione delle politiche di gestione e di sviluppo delle risorse forestali provinciali. Questa attività ha comportato tra l'altro la realizzazione di molte aree di saggio che hanno interessato sia i cedui di proprietà privata che quelli di proprietà pubblica, al fine di migliorare le stime sulle masse legnose in precedenza condotte con valutazioni soggettive. È stata così raccolta una notevole mole di informazioni che può essere impiegata per studiare, per alcuni principali tipi di composizione dei soprassuoli cedui del territorio trentino, la relazione esistente tra la massa legnosa ad ettaro e le corrispondenti area basimetrica unitaria e altezza dominante e quindi per predisporre apposite tavole di cubatura di popolamento.

Il rilevamento dendrometrico per aree di saggio è stato condotto in gran parte dei popolamenti forestali governati a ceduo (compresi i soprassuoli interessati dai primi interventi per la conversione in fustaia) in cui, per le diverse necessità estimative collegate alla pianificazione e alla gestione di dettaglio, era opportuno addivenire a valutazioni sufficientemente accurate della massa legnosa presente; non sono state invece interessate dal rilievo tutte quelle formazioni che, per le condizioni stazionali o di accessibilità in cui si trovano, non sono attualmente soggette ad alcuna attività selvicolturale.

Da un esame preliminare del materiale raccolto, unitamente alla conoscenza diretta dei boschi cedui sottoposti a regolare selvicoltura in provincia di Trento, e in funzione degli aspetti applicativi delle risultanze attese dalla presente indagine, si è ritenuto di individuare quattro tipi vegetazionali prevalenti (i cedui misti termofili, i cedui mesofili di castagno e robinia, i cedui misti di

- PALM R., 1981a - *Contribution méthodologique au cubage des arbres et à la construction de tables de cubage et d'assortiments*. Faculté des Sciences Agronomiques, Thèse de Doctorat, Gembloux.
- PALM R., 1981b - *Calcul et choix des équations de cubage d'arbres*. Bull. Rech. Agron. de Gembloux 16 (4): 351-370.
- PARDÉ J., BOUCHON J., 1988 - *Dendrométrie*. ENGREF, Nancy.
- PEDROTTI F., 1981 - *Carta della vegetazione del foglio Trento*. CNR AQ/1/17:1-38 Roma.
- PEDROTTI F., 1987 - *La cartografia della vegetazione forestale del Trentino*. L'Italia Forestale e Montana, 42 (6): 421-428.
- PERSICO P., VINCI S., 1981 - *Principi di econometria*. Liguori Editore, Napoli.
- PIGNATTI S., 1982 - *Flora d'Italia*. Edagricole, Bologna.
- RIZZI LONGO L., 1972 - *Contributo allo Studio della vegetazione forestale dell'alta Anaunia*. Studi Trentini di Scienze Naturali, B, 49-1:178-221.
- RONDEUX J., 1977 - *Construction et utilisation de tarifs de cubage "peuplements" pour l'Epicéa en Ardenne méridionale*. Note technique 72-2, Faculté des Sciences Agronomiques, Gembloux.
- SPURR H.S., 1952 - *Forest inventory*. The Ronald Press Company, New York.
- TABACCHI G., 1985 - *Scelta e determinazione del modello perequativo per la costruzione di tavole di cubatura a singola e a doppia entrata*. Annali Ist. Sper. Assestamento For. Alpicoltura vol. 9, Trento.
- TABACCHI G., 1989a - *I minimi quadrati ponderati nella stima dei coefficienti delle equazioni stereometriche*. Annali Ist. Sper. Assestamento For. Alpicoltura vol. 10, Trento.
- TABACCHI G., 1989b - *Sulla precisione delle stime condotte con tavole di cubatura costruite con metodo analitico*. Annali Ist. Sper. Assestamento For. Alpicoltura vol. 11, Trento.
- TABACCHI G., TOSI V., 1993 - *Modelli di previsione delle masse legnose del pino silvestre nell'Italia settentrionale*. Comunicazioni di ricerca dell'Istituto Sperimentale per l'Assestamento Forestale e per l'Alpicoltura 92/1, Trento.
- TABACCHI G., TOSI V., 1995 - *Tre equazioni per la stima diretta della massa legnosa delle pinete a pino silvestre italiane*. Monti e Boschi 46 (2): 50-55.
- TAYLOR J.R., 1986 - *Introduzione all'analisi degli errori*. Zanichelli, Bologna.
- THAM Å., 1988 - *Stand volume functions for young mixed stands of Norway spruce, silver birch and European birch*. Report 22, Department of Forest Yield Research, Swedish Univ. Agric. Sciences, Garpenberg.



faggio e carpino nero, i cedui puri di faggio); oltre a questi, è stato definito un tipo vegetazionale in cui far affluire le diverse formazioni vegetanti in stazioni riparie, in genere costituite da ontani, salici, assai spesso mescolati alla robinia.

I vari tipi di ceduo sono descritti nelle loro caratteristiche floristico-vegetazionali, fornendo anche qualche indicazione selvicolturale. Viene altresì illustrato il rilevamento dendrometrico e il procedimento di elaborazione dei dati raccolti per la predisposizione della base informativa necessaria per l'approntamento delle equazioni previsionali cercate.

Dall'analisi condotta emerge chiaramente che la maggior parte della variabilità del volume ad ettaro dei popolamenti studiati è dovuta alle variazioni dell'area basimetrica ad ettaro e della corrispondente altezza dominante del soprassuolo. Più precisamente, la relazione empirica tra queste variabili è esprimibile con un modello rettilineo in cui la massa legnosa ad ettaro costituisce la variabile dipendente, mentre il prodotto "area basimetrica ad ettaro per altezza dominante" configura la variabile indipendente.

La costruzione delle tavole di cubatura di popolamento avviene allora attraverso un'analisi di regressione tra le due variabili sopra evidenziate e secondo il modello matematico proposto, con la stima dei coefficienti numerici e delle altre statistiche necessarie per valutare la bontà della perequazione delle osservazioni campionarie e per la determinazione delle incertezze che affliggono le previsioni ottenibili con le equazioni proposte.

Dall'analisi preliminare è risultato che la varianza del volume ad ettaro non rimane pressoché costante all'aumentare della variabile indipendente, ma essa aumenta proporzionalmente con quest'ultima. Avuta l'evidenza della eteroschedasticità del fenomeno in esame, i coefficienti numerici sono stati stimati mediante l'analisi di regressione con i minimi quadrati ponderati, al fine di ottenerne determinazioni corrette e a minima varianza. Con test di parallelismo e di coincidenza sono state anche valutate alcune ipotesi di accorpamento dei modelli relativi a tipi vegetazionali diversi, ma i risultati ottenuti hanno evidenziato l'opportunità di mantenere separati i modelli previsionali originariamente proposti.

Per quanto attiene il loro impiego, si può affermare che l'ambito applicativo più corretto delle tavole di popolamento è quello del rilevamento campionario, con la misura dell'area basimetrica unitaria del soprassuolo in corrispondenza di punti di sondaggio posizionati all'interno di alcune sue frazioni sufficientemente omogenee sotto il profilo ipsometrico; la massa legnosa per unità di superficie dell'intero popolamento è poi calcolata come media dell'insieme di stime prodotte per l'unità territoriale considerata.

Infine per quanto attiene la precisione delle stime ottenute con i modelli previsionali, si è potuto constatare che le incertezze di stima collegate alle modali-

tà campionarie del loro approntamento sono decisamente contenute, particolarmente quando derivano da un numero di osservazioni non troppo esiguo, mentre la fonte maggiore di incertezza rimane comunque legata alle modalità del rilevamento campionario del soprassuolo.

SUMMARY

Amongst the methods for the direct assessment of the woody mass of the stands, the stand volume tables have been suggested as one of the most practical and accurate evaluation instruments, especially if we do not need to find out its distribution in dimensional or dendrological terms.

The adoption of this evaluation instrument is particularly favourable firstly in situations in which there are no volume tables for individual trees, or when it is unfeasible to use such tables. Secondly, when it is possible to adopt quick, effective procedures for the assessment of the unitary basal area, and finally in situations in which the average height of the dominant and co-dominant trees is a good indicator of the effectively occupied epigeous space. These conditions very often occur when an inventory of the coppice stands is taken, even if these are not at all infrequent in the area of taking measurements of the high forest stands.

In the mid 1980s, in the province of Trento, inventories of private forests were begun, the aim being to acquire, on a stand basis, all the necessary information and, together with information supplied by the local management plans, to thus draw up a management and development policy for the province's forest resources. This operation involved, among other things, the making of many sample plots, which have been of interest to both private and state-owned coppices. These sample plots were made in order to improve evaluations of the woody mass, previously carried out using subjective evaluations. Thus a substantial amount of information has been collected, which could be used to study (in the main composition types of coppice stands in the Trentino region) the relationship between the woody mass per hectare and the corresponding unitary basal area and dominant height, and then to prepare appropriate stand volume tables.

The dendrometric survey by sample plots was mainly conducted in the coppice stands (including stands involved in the first operations for conversion into high forest) in which, due to the various assessment needs linked to detail planning and management, it was timely to obtain sufficiently accurate evaluations of the woody mass present. On the other hand, all those areas which, due to site conditions or inaccessibility, are not at present subject to any kind of forestry, were not involved in the survey.

On a preliminary examination of the material collected, together with direct knowledge of coppice stands that are subject to regular forestry in the province of Trento, and depending on the applicative aspects of the awaited findings from the present investigation, four types of prevalent vegetation were identified (mixed thermophile coppices, mesophile coppices of chestnut and false acacia, mixed coppices of beech and black hornbeam, pure coppices of beech). In addition to these, a vegetation type has been defined where the various vegetation formations in riparian sites, consisting of alders, willows and quite often mixed with false acacia, can be grouped together.

The various types of coppice are described in terms of their floral and vegetational characteristics, which also include any indication of forestry. Likewise, the dendrometric survey and the procedure for the elaboration of the data collected for the preparation of the required forecast models are also illustrated.

By the analysis carried out, it can be clearly seen that most of the variability in volume per hectare of the stands studied is due to variations in the basal area per hectare and in the corresponding dominant height of the stands. To be more precise, the empirical relationship between these variables can be explained using a rectilinear model in which the woody mass per hectare represents the dependent variable, while the product "basal area per hectare time dominant height" represents the independent variable.

The construction of the stand volume tables is therefore done using regression analysis between the two above-mentioned variables and according to the mathematical model suggested, with the estimate of the numerical coefficients and other statistics needed to evaluate the effectiveness of the fitting of the sample

observations and to evaluate the uncertainties that follow the forecasts which can be obtained with the suggested equations.

The preliminary analysis shows that the variance in volume per hectare doesn't remain wholly constant as the independent variable is increased, but it increases proportionately with the latter. Having got the evidence of heteroschedasticity of the phenomenon under examination, the numerical coefficients were estimated via regression analysis with weighted least squares, in order to obtain correct evaluations with minimum variance. With parallelism and coincidence tests, some amalgamation hypotheses of the models concerning different vegetational types were also assessed, but the results obtained showed the need to keep the forecast models which were originally proposed separate.

Concerning the way in which they are employed, it can be pointed out that the most correct applicative area for the stand tables is the sample survey, with the measurement of the unitary basal area of the stand corresponding to survey points positioned within some of its fractions which are sufficiently homogeneous under the hypsometric profile. The woody mass per surface unit of the whole stand is then calculated as the mean value of all the estimates made for the territorial unit under consideration.

Finally, concerning the precision of the estimates obtained using the forecast models, we have been able to establish that the uncertainties in the estimate linked to the sample methods for their preparation are limited, especially when they are derived from a not too small number of observations. In any case, the majority of uncertainties are linked to the methods of the sample survey for stands.

Finito di stampare
nel mese di dicembre 1996
dalla Tipografia Cumer - Cunevo
per conto della
SBS Servizi sas - Mezzolombardo

ISAF A

Istituto Sperimentale per l'Assestamento Forestale e per l'Alpicoltura
38050 Villazzano di TRENTO - piazza Nicolini, 6 - Tel. 0461/381111
Fax 0461/381131 e-mail: isafa@tqs.it

Forest and Range Management Research Institute
I - 38050 Villazzano di TRENTO - piazza Nicolini, 6 - Tel. +39-461-381111
Fax +39-461-381131 e-mail: isafa@tqs.it