

## L'impiego dei dati assestamentali per la stima dello stock di carbonio ai fini delle richieste poste dal protocollo di Kyoto

Pilli R\*, Anfodillo T

Dipartimento Territorio e Sistemi Agro-Forestali, Università degli Studi di Padova, viale dell'Università, 23 - Agripolis - 35020 Legnaro (PD) - \*Corresponding author: Roberto Pilli (roberto.pilli@unipd.it)

**Abstract:** *Inventory data usage in carbon stock assessment for targeting Kyoto protocol requests.* Parties included in Annex I of the Kyoto Protocol, like Italy, may choose to elect Forest Management as additional human-induced activity to attain the goals of reduction of greenhouse gas emissions. In Italy the majority of areas subjected to forest plans satisfy the definition of Forest Management proposed by the Marakesh Accords. However, the data commonly available from forest compartments cannot be directly used to estimate the total aboveground biomass by allometric equations because the data are not spatially (data differ among compartments) or temporally (data sampled in different years) uniform. This study proposes a methodology for using such non-uniform data, which has been tested on a dataset of forest compartments provided by the Veneto Region (NE Italy). A series of specific diameter distributions was associated to each forest compartment by applying cluster analysis and discriminant analysis. The Bootstrap procedure was applied to update the available data, referring them to the same year. The results satisfied the requirements of the "Good Practice Guidance for Land Use, Land Use Change and Forestry" of The Intergovernmental Panel on Climate Change since the uncertainties were quantified. After the analysis, forest compartment data were suitable for application of allometric equations, without need for further extensive samplings.

**Keywords:** Protocollo di Kyoto, Gestione Forestale, Piano di Assestamento, Equazioni Allometriche.

*Received: Nov 14, 2005 - Accepted: Feb 13, 2006*

**Citation:** Pilli R, Anfodillo T, 2006. L'impiego dei dati assestamentali per la stima dello stock di carbonio ai fini delle richieste poste dal protocollo di Kyoto. *Forest@* 3 (1): 22-38. [online] URL: <http://www.sisef.it/>

### Introduzione

Il Protocollo di Kyoto consente ai Paesi inseriti nell'Annesso I, come l'Italia, di avvalersi delle attività legate alla Gestione Forestale (*Forest Management, FM*) come misura complementare per il raggiungimento degli obiettivi fissati in sede internazionale (Ciccarese et al. 2003). Queste attività, definite come un complesso di pratiche per la conduzione e l'uso sostenibile di una foresta, finalizzate al conseguimento di rilevanti funzioni ecologiche, economiche e sociali, devono essere iniziate dopo il 1990 ed essere legate ad un'azione antropica, cioè connessa ad espliciti e diretti interventi gestionali (Ciccarese & Pettenella 2002). Nel quadro delineato da tale definizione, adottata negli Accordi di Marrakesh (FCCC/CP/2001/13/Add. 1, p. 58), si inseriscono i due approcci proposti alle Parti dalle "Good Practice Guidance for Land Use, Land Use Change and Forestry"

dell'*Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)*, di seguito indicate come *Good Practice Guidance*. Il così detto "Narrow Approach", più restrittivo, che considera come soggette a FM le sole aree interessate da interventi culturali "intensivi", quali la preparazione, piantagione, sfollo e protezione diretta del sito, e il "Broad Approach", che non richiede l'esecuzione di specifiche pratiche su ciascun sito, ma la sola identificazione delle aree soggette ad un generico sistema di pratiche culturali (Schlamadinger et al. 2003). Entrambi gli approcci si prestano a diverse chiavi interpretative, tanto da richiedere una più precisa definizione sia del concetto di FM rispetto a quello, potenzialmente più ampio, di "managed forests", sia della stessa nozione di "direct human induced" (Olsson 2005, Freibauer & Böttcher 2005). In Italia, così come in altri Paesi, sembra al momento prevalere un'interpretazione più ampia tesa a consi-

derare come "gestite" tutte le aree boscate non soggette a processi di *afforestation*, *reforestation* o *deforestation* (CIPE 2002, AA.VV. 2005). Come noto, a differenza da queste ultime attività, i cui crediti possono essere contabilizzati *in toto*, quelli generati attraverso il *FM* devono essere ridotti al 15%, per eliminare la frazione di carbonio accumulata dalle foreste per effetto di fattori, non "*direct human induced*", quali l'invecchiamento naturale o la fertilizzazione azotata (Ciccarese et al. 2003). Nell'ambito degli Accordi di Marrakesh inoltre, considerando le sole foreste soggette a "Piano di Gestione", è stato fissato per il nostro Paese un limite di crediti potenzialmente raggiungibili con il *FM* pari a 0.18 Mt di carbonio/anno (Ciccarese & Pettenella 2002). Tale dato, certamente sottodimensionato (Anderle et al. 2002), costituisce a tutt'oggi un vincolo che potrebbe essere rinegoziato soltanto attraverso la presentazione di nuovi e consistenti dati, capaci di dimostrare le reali capacità fissative del settore forestale (Ciccarese & Pettenella 2005).

Indipendentemente dalle decisioni che verranno assunte tanto in sede internazionale, quanto nazionale, per poter conteggiare gli effetti fissativi (*C-sink*) derivanti dal *FM*, dovranno essere sviluppati degli inventari completi, trasparenti ed adeguati a rappresentare le variazioni occorse, quantificando, per quanto possibile, le incertezze ad esse associate (Milne & Jallow 2003). Se, a livello nazionale, tali informazioni potranno, almeno in parte, venire dall'Inventario Nazionale delle Foreste e dei Serbatoi Forestali di Carbonio (INFC 2005), su scala regionale e locale, le stesse potrebbero derivare oltre che da specifici inventari, anche dall'analisi e dall'aggiornamento dei dati esistenti.

Strumento principe per la corretta gestione di una foresta è il Piano di Assestamento, inteso come la pianificazione, nel tempo e nello spazio, delle attività selvicolturali più idonee per condurre le singole comprese boschive verso assetti che garantiscano l'assolvimento massimo, continuo e costante delle loro funzioni, preceduta dall'acquisizione di tutte le informazioni necessarie a conseguire tale scopo (Hellrigl 1986a). L'ampia diffusione, almeno nelle proprietà di maggiori dimensioni, di tale strumento, rende disponibile una vasta gamma di informazioni, troppo spesso, forse, trascurata. Le aree assestate, seppure con alcuni limiti legati alla mancata applicazione delle prescrizioni contenute nei Piani o alla presenza di elaborati da tempo scaduti e perciò privi di efficacia tanto dal punto di vista normativo quanto da quello informativo, possono soddisfare i

requisiti posti dalle *Good Practice Guidance* relativamente tanto alla definizione delle pratiche colturali e delle aree interessate dalle stesse (le particelle e le comprese), quanto della tempistica di realizzazione degli interventi (definita nelle schede particellari). In questo senso si possono a pieno titolo considerare come aree "direttamente gestite dall'uomo".

D'altro canto, la scala temporale, normalmente superiore al decennio, e la disomogenea distribuzione spaziale dei rilievi dendrometrici nelle particelle, possono rendere inutilizzabili dati preziosi, quali la distribuzione diametrica e la composizione del soprassuolo che, opportunamente impiegati, potrebbero fornire una stima dettagliata dello stock di carbonio presente in foresta mediante l'applicazione di coefficienti di espansione o di equazioni allometriche (Schroeder et al. 1997, Joosten et al. 2004, Wirth et al. 2004). Queste ultime, in particolare, consentirebbero di stimare non solo la massa assestamentale, ma la stessa biomassa arborea totale (almeno a livello epigeo), attraverso la conoscenza della sola distribuzione diametrica del popolamento (Zianis & Mencuccini 2004). L'impiego di equazioni allometriche risulta tuttavia ostacolato sia dal fatto che in molte particelle vi è solo una stima visiva dei principali parametri dendro-auxometrici, sia dalla difficoltà di confrontare seriazioni spesso rilevate in anni diversi nelle particelle in cui è stato effettuato un rilievo relascopico o un cavallettamento.

Obiettivo del presente contributo è proporre una procedura di analisi dei dati assestamentali finalizzata alla predisposizione di un *database* adeguato alla successiva applicazione di equazioni allometriche per la stima della biomassa arborea del soprassuolo, partendo dai dati assestamentali relativi alla Regione Veneto.

Per conseguire tale risultato si è reso necessario procedere ad una armonizzazione delle informazioni sia su scala spaziale (stessa qualità e quantità dei dati per tutte le particelle assestate) che temporale (dato riferibile ad uno stesso anno). Tutte le elaborazioni relative al caso di studio concreto sono state accompagnate da una stima dell'errore associato all'analisi, così come richiesto dalle *Good Practice Guidance dell'IPCC*.

## Materiali e Metodi

### *Il database "Gestione Piani di Assestamento" della Regione Veneto*

La base informativa impiegata è costituita dalla banca dati, denominata *Gestione Piani Assestamento*

(GPA), resa disponibile dalla Direzione Regionale Foreste ed Economia Montana della Regione Veneto e contenente i dati di 5072 particelle a fustaia e 770 a ceduo, che rappresentano, complessivamente, circa il 35% della superficie forestale regionale (dato ottenuto considerando una superficie boscata complessiva di 359011 ha desunta dalla Carta Forestale Regionale (Susmel 1983). Nel *data base* sono inseriti i dati relativi a 143 Piani di Assestamento (aggiornati al novembre 2004) che interessano una superficie complessiva di circa 208000 ha, distinta, nell'ambito di ciascuna particella, in superficie improduttiva e boscata (Tab. 1). Nel complesso le fustaie ricoprono 106958 ha, pari al 85.5% della superficie boscata assestata, i cedui interessano invece una superficie di 17851 ha (14.3%).

La banca dati riporta, oltre alle consuete informazioni di tipo amministrativo, tutti i dati normalmente contenuti nelle Schede Particellari dei Piani di Assestamento, tra i quali in particolare la funzione attribuita alla particella, la struttura del soprassuolo, il tipo di rilievo (cavallettamento totale, rilievo relascopico o stima per le fustaie, stima per i cedui) e l'anno di esecuzione dello stesso, oltre ad una serie di dati dendro-auxometrici variabili in funzione della forma di governo e del tipo di rilevamento (Tab. 2).

Il rapporto tra tipo di rilievo e funzione attribuita al soprassuolo evidenzia come il cavallettamento totale e il rilievo relascopico siano destinati soprattutto a formazioni con prevalente funzione produttiva e,

in misura minore, turistico-ricreativa. Nelle particelle con funzione protettiva prevalgono invece nettamente le stime mentre nelle aree con funzione ambientale, ove comunque la superficie boscata rappresenta una frazione minore, nel 68% dei casi non è stato eseguito alcun rilievo.

#### Armonizzazione spaziale

Per disporre delle stesse informazioni di base per ogni particella si è provveduto all'individuazione dei parametri comuni (misurati o stimati) presenti in tutte le particelle (composizione percentuale, area basimetrica, ecc.) e all'esecuzione delle seguenti elaborazioni:

- attraverso la composizione tutte le particelle sono state classificate in Categorie Forestali;
- le sole fustaie ove l'area basimetrica è stata misurata (cavallettamenti e rilevamenti relascopici) ed era disponibile la distribuzione diametrica, sono state ulteriormente suddivise in funzione di quest'ultimo parametro;
- in base all'età, il diametro massimo ed altri parametri disponibili anche per le fustaie oggetto di sola stima, è stata attribuita una distribuzione diametrica media a ciascuna particella stimata.

L'intera procedura, sintetizzata in Fig. 1, si è articolata nelle seguenti fasi:

#### Analisi della composizione del soprassuolo ed attribuzione della Categoria Forestale

La codifica iniziale prevedeva la classificazione

**Tab. 1** - Ripartizione della superficie boscata in relazione a funzione e tipo di rilievo

Funzione	N° Particelle	Superficie Totale	Superficie Boscata	% Superficie Boscata	Superficie Improduttiva
Produttiva	4138	84792 ha	79662 ha	64.13 %	3115 ha
Protettiva	1492	51276 ha	40228 ha	32.38 %	6681 ha
Ambientale	452	47515 ha	3394 ha	2.73 %	20763 ha
Inproduttiva	140	23793 ha	0 ha	-	19099 ha
Bosco pascolato	12	235 ha	222 ha	0.18 %	13 ha
Turistico-ricr.	66	928 ha	719 ha	0.58 %	57 ha
<b>Totale</b>	<b>6300</b>	<b>208539 ha</b>	<b>124225 ha</b>	<b>100.0 %</b>	<b>49728 ha</b>
<b>Rilievo</b>					
Cav. totale	898	17470 ha	16547 ha	13.32 %	
Rilievo relasc.	1787	36990 ha	34689 ha	27.92 %	
Stima (fustaia)	2387	67518 ha	55631 ha	44.78 %	
Ceduo	770	19820 ha	17122 ha	13.78 %	
Nessun rilievo	458	66741 ha	236 ha	0.19 %	
<b>Totale</b>	<b>6300</b>	<b>208539 ha</b>	<b>124225 ha</b>	<b>100.0 %</b>	

Tab. 2 - : Informazioni dendro-auxometriche disponibili nel GPA in funzione del tipo di rilievo

X =presente S =parzialmente pres.	Cavallettamento Totale	Rilievo Relascopico	Stima Fustaie	Cedui
Tipologia forestale	S	S	S	S
Composizione %	X	X	X	
Statura reale	X	X	X	
Statura potenziale	X	X	X	
Statura colturale	X	X	X	
Età	X	X	X	
N° piante/ha	X	X		
Diametro max	X	X	X	S
Diametro medio	X	X	S	
Area basimetr./ha	X	X		
Provvigione unitaria	X	X	X	
Incremento %	X	X	X	
Provvigione Totale	X	X	X	X
Anno rilievo	X	X	X	X
Seriazione diametrica	X	X		

delle particelle in 191 diverse tipologie, in gran parte coincidenti con le Tipologie Forestali regionali (Del Favero 2000). Tale dettaglio, oltre a risultare eccessivo per le successive analisi, non consentiva l'estrapo-

lazione di dati relativi alle formazioni meno diffuse. Inoltre, soprattutto nei piani meno recenti, mancava l'indicazione della Tipologia Forestale (c.a 600 particelle) e, tale informazione, ove presente, di frequente

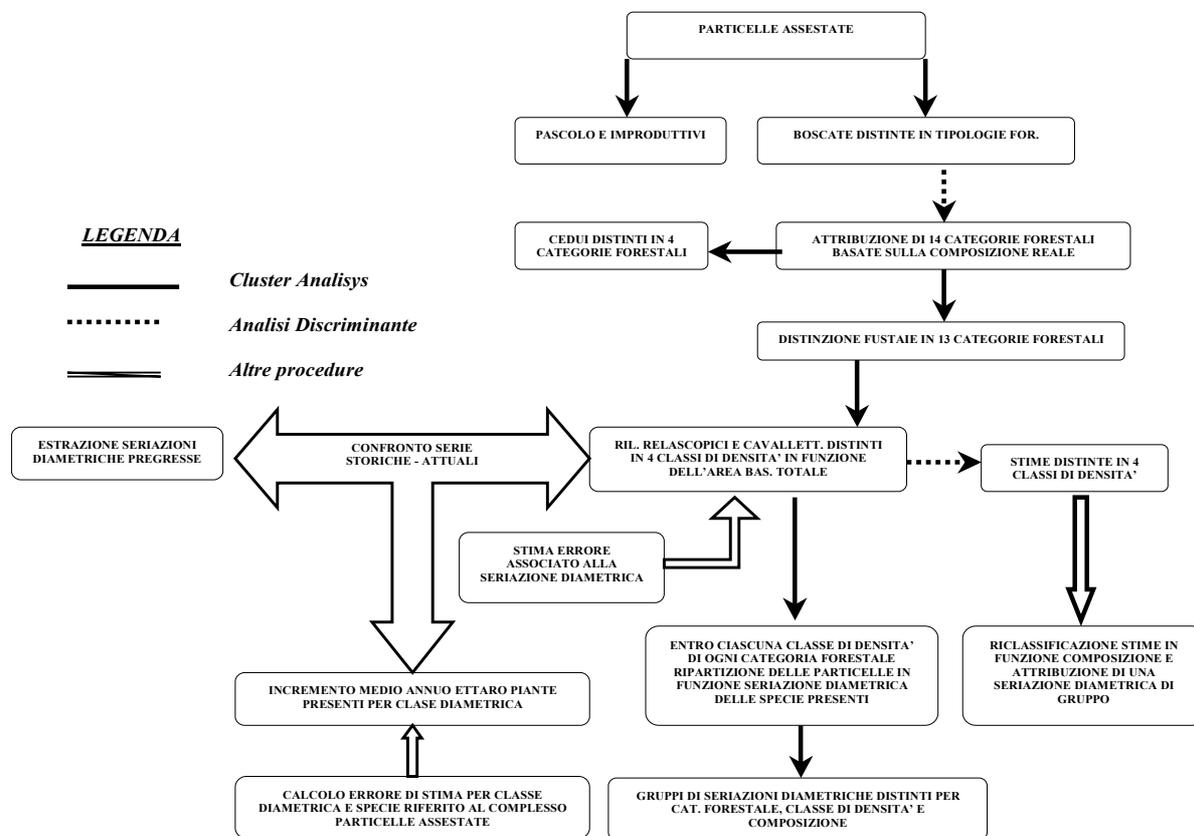


Fig. 1 - Procedura di armonizzazione ed attualizzazione dei dati assestamentali.

non trovava corrispondenza con la reale composizione del soprassuolo.

Si è reso perciò necessario cercare di attribuire a tutte le particelle, sia a quelle prive di ogni classificazione sia a quelle già classificate secondo una Tipologia Forestale, almeno una Categoria Forestale (unità di aggregazione di livello superiore rispetto alla tipologia), definita secondo criteri oggettivi basati sulla composizione del soprassuolo e non sulle potenzialità della formazione. Tale operazione ha riguardato indistintamente sia i cedui sia le fustaie.

Le tipologie sono state perciò riunite in 11 categorie, intese come gruppi di Tipologie Forestali, omogenei per composizione, in relazione alla presenza di una o al massimo tre specie caratteristiche: Abieteti, Peccete, Lariceti, Mughete, Piceo-faggete, Faggete, Pinete, Orno-ostrieti ed Ostrio-quercreti, Carpineti e Querco-carpineti, Castagneti e Aceri-frassineti.

Escludendo dal *dataset* iniziale (6300 particelle) le 458 osservazioni in cui non è stato eseguito alcun rilievo e le formazioni non classificabili (160 particelle) perché totalmente prive di indicazioni sulla composizione del soprassuolo (19 casi) o appartenenti a tipologie particolari, quali ad esempio i Corileti, sono rimaste 5814 particelle oggetto delle successive elaborazioni. Le particelle boscate sono state suddivise in due gruppi, sui quali è stata effettuata un'analisi discriminante (*Proc Discrim*, SAS<sup>TM</sup>) basata sulla sola composizione percentuale del soprassuolo, indicata per tutte le particelle indipendentemente dalla forma di governo e dal tipo di rilievo:

- *Data set* di riferimento o *training data set*: comprendente 5213 particelle classificabili in Categorie Forestali in base alla Tipologia Forestale già attribuita loro. A ciascuna particella è stata associata la composizione percentuale del soprassuolo distinto in 18 specie o generi: abete rosso; abete bianco; faggio; larice; castagno; carpino bianco; carpino nero; pino silvestre; robinia; pino nero; pino mugho; ornello; farnia e rovere; gen. *Acer*; frassino maggiore; gen. *Alnus*; gen. *Tilia*; roverella, cerro e leccio.
- *Data set* da classificare: comprendente 601 particelle prive di indicazione tipologica iniziale per le quali era nota la sola composizione percentuale del soprassuolo.

Sul *data set* di riferimento attraverso una serie di variabili quantitative (rappresentate dalla composizione percentuale del soprassuolo) ed una variabile di classificazione (la Categoria Forestale di appartenenza di ciascuna particella) sono state calcolate delle funzioni discriminanti capaci di classificare cia-

scuna osservazione in uno degli undici gruppi inizialmente definiti. Tali funzioni sono state applicate sia alle osservazioni da classificare, che al *training data set*. La percentuale di osservazioni del *data set* di riferimento riclassificate rispetto alla categoria iniziale rappresenta le particelle ove si sono rilevate delle differenze tra tipologia potenziale e composizione reale del soprassuolo. La presenza, nel *training data set*, di un'aliquota di osservazioni in cui la composizione reale si discostava dalla Categoria Forestale, avrebbe portato allo sviluppo di errati criteri di discriminazione anche nell'ambito del *data set* da classificare. Per questo è stato necessario introdurre dei fattori di ponderazione capaci di quantificare lo scostamento rilevabile in ciascuna particella tra la composizione reale e la composizione "media" attribuibile ad una data Categoria Forestale, desunta da fonti bibliografiche (Del Favero & Lasen 1993, Del Favero 2000).

Per avere una stima dell'errore di classificazione è stata verificata la coerenza tra Categoria Forestale e composizione percentuale delle particelle, mediante osservazione diretta delle stesse. Si è perciò provveduto:

- per ogni categoria contenente più di 400 osservazioni, all'estrazione casuale con ripetizione di almeno 4 gruppi di osservazioni (pari, per ogni estrazione, al 10% delle particelle classificate nella categoria) e alla successiva verifica sulle particelle estratte;
- per le categorie con meno di 400 osservazioni, è stato esaminato l'intero *data set*.

#### Analisi della densità del soprassuolo

L'attribuzione di una seriazione diametrica media a tutte le particelle assestate, ha richiesto una preventiva classificazione di tutte le particelle a fustaia in base all'area basimetrica, un parametro misurabile con notevole accuratezza sia attraverso il cavallettamento totale sia con il rilevamento relascopico, fortemente correlato al volume e generalmente poco dipendente dalla fertilità (La Marca 1999). Utilizzando quindi come variabili la provvigione unitaria e l'area basimetrica unitaria, le 2685 fustaie ove è stato eseguito un cavallettamento totale o un rilievo relascopico sono state suddivise in 4 gruppi, indipendenti dalla composizione del soprassuolo e corrispondenti ad altrettante classi di densità. La procedura applicata, *Proc Fastclus* (SAS<sup>TM</sup>), adatta per l'esame di *data set* numerosi (Legendre & Legendre 1998), ha consentito di calcolare per ciascun gruppo il corri-

spondente valore medio di area basimetrica unitaria, con i rispettivi limiti di confidenza.

Per estendere tale valore alle fustaie oggetto di stima è stato necessario eseguire ancora una volta una analisi discriminante. Il *training data set* in questo caso è stato costituito con le 2578 particelle già classificate (sono stati esclusi eventuali *outliers*), come variabile di classificazione è stata impiegata la classe di densità, le variabili utilizzate per sviluppare le funzioni discriminanti, presenti anche nelle particelle stimate, sono state l'età, il diametro massimo, la statura reale e la provvigione unitaria. Attraverso la validazione incrociata delle equazioni discriminanti ("cross validation") è stato possibile stimare direttamente l'errore percentuale di classificazione (SAS Institute Inc. 1990). L'analisi ha consentito perciò di classificare tutte le particelle a fustaia indipendentemente dalla Categoria Forestale di appartenenza.

### Analisi della struttura del soprassuolo

Le particelle ove è stato eseguito un rilievo relascopico o un cavallettamento totale, riunite in gruppi omogenei per Categoria Forestale e classe di densità, sono state ulteriormente distinte in base alla distribuzione diametrica delle diverse specie utilizzando come variabili il numero di individui presenti, per unità di superficie, in ciascuna classe diametrica (14 classi comprese tra 17.5 cm e 87.5 cm) di ogni specie censita. Sono risultate disponibili complessivamente 8511 seriazioni diametriche che sono state raggruppate in 14 specie o generi: abete rosso; abete bianco; faggio; larice; castagno; carpino nero; pino silvestre; pino nero; farnia e rovere; gen. *Acer*; frassino; pino cembro; roverella, cerro o leccio; latifoglie diverse. La *cluster analysis* ha perciò potuto contare, potenzialmente, su 196 variabili date dalle 14 classi diametriche, per 14 specie. Si sono così individuati, per ciascuna classe di densità di ogni Categoria Forestale, sino a 2 gruppi corrispondenti a diverse distribuzioni diametriche. Ogni nuovo gruppo così definito rappresenta un insieme di seriazioni diametriche specifiche, cui corrispondono anche una determinata composizione media, età e diametro massimo del soprassuolo. Attraverso tali parametri, noti anche per le particelle oggetto di stima, è stato possibile ripartire le stesse in gruppi corrispondenti ad altrettante seriazioni diametriche, eseguendo, come in precedenza, un'analisi discriminante.

### Attribuzione della distribuzione diametrica alle particelle stimate

L'interpolazione di ciascuna seriazione attraverso

una funzione matematica ha consentito di attribuire alle stesse dei limiti di confidenza della stima. La seriazione diametrica media riferita ad ogni specie presente entro ciascuna classe strutturale può essere infatti rappresentata attraverso delle funzioni di distribuzione capaci di esprimere la distribuzione della probabilità di rinvenimento (*probability density function*) di un individuo entro ciascuna classe diametrica (Loetsch et al. 1973). L'impiego di un modello matematico consente di stimare il limite di confidenza associato alla distribuzione. Tra i diversi modelli particolarmente adatta è risultata la funzione di Weibull (Bailey & Dell 1973), in grado di interpretare un'ampia gamma di forme di distribuzione, al variare dei coefficienti presenti nell'equazione stessa. Detti  $x$  il valore medio di ciascuna classe diametrica (ad es. 0.20 m, 0.25 m, 0.30 m, ecc.) ed  $f(x)$  la frequenza relativa di rinvenimento degli individui entro la medesima classe, la funzione è data da:

I parametri  $a$ ,  $b$  e  $c$  della funzione sono stati stimati utilizzando il metodo di Marquardt (Motulsky & Ransnas 1987), disponibile nella procedura *Proc Nlin* (SAS<sup>TM</sup>), verificando la convergenza dei tre coefficienti rispetto agli intervalli prefissati.

$$f(x) = \frac{c}{b} \cdot \left(\frac{x-a}{b}\right)^{c-1} \exp\left(-\left(\frac{x-a}{b}\right)^c\right)$$

La bontà di ciascuna equazione è stata testata attraverso:

- la verifica della significatività del coefficiente di determinazione  $R^2$  attraverso la statistica  $F$  di Fischer, e del valore assunto dallo stesso (Zar 1999);
- la verifica dell'errore standard e dei limiti di confidenza di ciascun parametro;
- l'esame del *curve fitting* della regressione;
- l'analisi della distribuzione dei residui standardizzati, espressa dal rapporto tra gli stessi ed il relativo errore standard, confrontato con il rispettivo valore della statistica  $t$  di Student (SAS Institute Inc 1990).

### Attualizzazione delle seriazioni diametriche

Questa fase ha interessato le sole fustaie oggetto di rilievo relascopico o cavallettamento totale, per le quali si è reso necessario l'aggiornamento dei dati disponibili. Circa il 75% dei rilevamenti eseguiti in tali particelle risultavano infatti antecedenti al 1996 ed il 25% di essi era stato eseguito prima del 1990. Le seriazioni diametriche disponibili dovevano perciò essere attualizzate attraverso la stima dell'entità delle variazioni occorse dall'anno di esecuzione del

rilievo all'anno di riferimento (ad es. il 2000), ripartita sia per classi diametriche sia in funzione delle specie presenti per unità di superficie. Per le seriazioni "medie" associate alle particelle oggetto di sola stima, non è stata prevista alcuna attualizzazione.

Confrontando i piani vigenti con i precedenti è stato possibile individuare 832 particelle, appartenenti a 50 piani, oggetto di due rilievi relascopici o cavallettamenti successivi e comprendenti 2336 seriazioni diametriche specifiche, rilevate tra il 1980 ed il 2001.

La differenza tra il numero di soggetti censiti in ciascuna classe diametrica, in due successivi rilievi, divisa per il numero di anni intercorsi, ha fornito il tasso di variazione annua relativo alla medesima classe e specie, funzione sia dell'incremento diametrico corrente sia della mortalità naturale e degli eventuali prelievi effettuati nella particella durante il periodo di validità del piano. Poiché il calcolo della variazione complessiva del numero di individui presenti per classe diametrica non ha potuto essere effettuato escludendo a priori le particelle soggette ad interventi colturali, in quanto non identificabili con assoluta certezza, i soggetti registrati entro ciascuna classe nel secondo rilevamento rappresentano il numero di piante rimaste, al netto di utilizzazioni e mortalità naturale, e la variazione annua così calcolata costituisce la probabilità di passaggio a fustaia e di transizione da una classe alle successive.

Clark et al. (2001) hanno sottolineato come la mancata valutazione della mortalità naturale e del passaggio a fustaia, e, nel caso di soprassuoli assestati, anche dei prelievi legnosi determini una sostanziale sottostima della produzione netta dell'ecosistema. Le *Good Practice Guidance* dell'IPCC tuttavia, proprio in considerazione delle carenze informative con cui spesso si scontra l'applicazione delle diverse metodologie, consentono di escludere la temporanea fissazione di carbonio nel materiale asportato, così come nei soggetti arborei morti, ipotizzando un immediato rilascio in atmosfera del carbonio immagazzinato. Per quanto concerne invece il passaggio a fustaia degli individui con diametro inferiore a 17.5 cm, l'esclusione degli stessi da ulteriori stime relative alla massa legnosa inferiore alla soglia di cavallettamento ha evitato eventuali doppi conteggi.

Data la mancanza di un numero di seriazioni sufficiente per eseguire una stima ripartita per Tipologie Forestali o classi di densità, unitamente alla necessità di beneficiare della compensazione degli errori considerando un insieme accorpato di più particelle

(Hellrigl 1986b), si è ritenuto più idoneo il calcolo della variazione annua dei soggetti presenti per classe diametrica, considerando l'insieme di tutte le seriazioni disponibili per il confronto, distinte per specie. Il dato così ottenuto ha tenuto implicitamente conto delle utilizzazioni mediamente eseguite nell'intervallo di tempo considerato, nelle 832 particelle in esame, assunte come campione rappresentativo delle particelle governate a fustaia nella Regione Veneto.

È stato quindi possibile ricostruire la variazione annua di ciascuna classe diametrica (5 cm) di 6 specie: abete rosso (579 seriazioni di confronto), abete bianco (410), larice (352), faggio (96), pino silvestre (135) e "latifoglie diverse" (52 seriazioni comprendenti le latifoglie diverse dal faggio).

Il calcolo della variazione media annua di classe non è stato eseguito direttamente ma previa esecuzione di una simulazione *Bootstrap* (Efron & Tibshirani 1993, Frey & Burmaster 1999). Calcolata la variazione annua unitaria del numero di soggetti presenti in ciascuna classe diametrica e specie si è provveduto all'estrazione casuale di 10000 campioni, ciascuno con numerosità pari al numero di osservazioni complessivamente disponibili per la specie in esame. È stata quindi calcolata, per ogni replicazione, la variazione media annua per ciascuna classe diametrica e specie e la media dei 10000 valori. La deviazione standard relativa a tale distribuzione rappresenta l'errore standard della media, attraverso il quale è stato possibile calcolare i limiti di confidenza dei valori stimati. Per l'applicazione della metodologia sono state utilizzate specifiche *macro* sviluppate in ambiente SAS<sup>TM</sup>.

Per la validazione delle capacità predittive della procedura sono state impiegate 695 seriazioni diametriche, escluse dal precedente calcolo ed estratte casualmente dal campione in proporzione pari al 30% delle osservazioni complessivamente disponibili per ciascuna specie. Per ogni specie e classe diametrica è stata calcolata la variazione media annua effettivamente riscontrata evidenziando, mediante la statistica *t* di Student per dati appaiati (Zar 1999), le eventuali differenze rispetto ai tassi di variazione stimati. Questi ultimi sono stati quindi applicati all'intero *dataset* di confronto attualizzando le seriazioni sino all'anno di esecuzione dei rilievi più recenti. La differenza tra il numero complessivo di soggetti realmente presenti in ciascuna classe diametrica e specie ( $Nr_d$ ) sull'intera superficie (considerata alla stregua di un'ipotetica compresa) e la numerosità

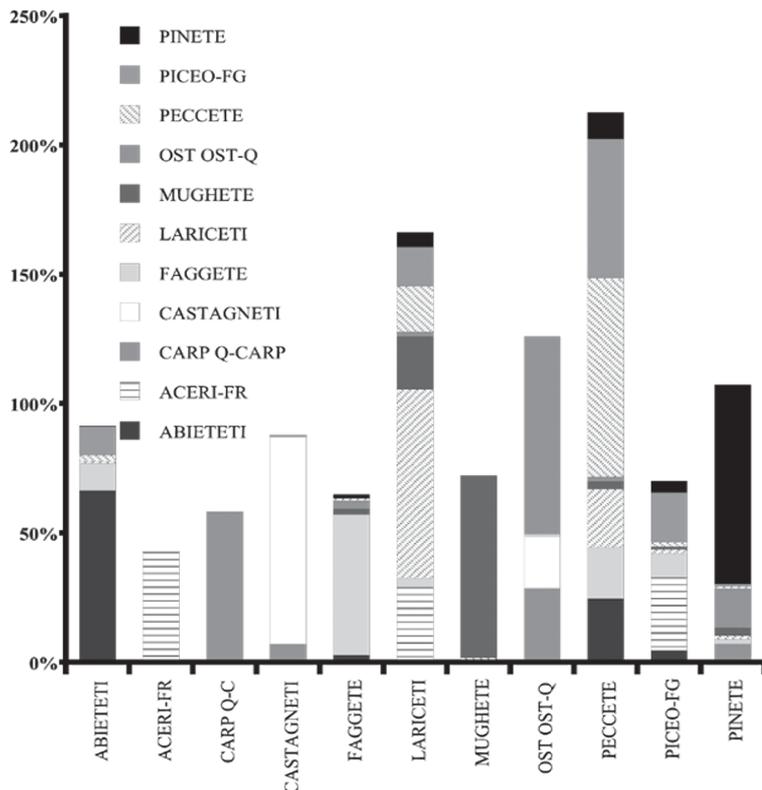


Fig. 2 - Riclassificazione delle particelle boscate tra le diverse Categorie Forestali.

tà stimata ( $Nst_d$ ), ha consentito di calcolare l'errore percentuale, espresso come (La Marca 1999):

$$Nst_d = \sum_{i=1}^{832} (Nt_{di} + I_d \cdot A_i) \cdot S_i$$

con:

$$Ep_d = \frac{Nst_d - Nr_d}{Nr_d} \cdot 100$$

dove  $Nt_{di}$  è il numero di piante appartenenti alla classe diametrica  $d$  nella  $i$ -esima particella nell'anno  $t$ ,  $I_d$  rappresenta l'incremento medio annuo unitario relativo alla medesima classe e specie stimato dal dataset di calibrazione,  $A_i$  è la differenza tra l'anno  $t$  e l'anno di esecuzione del rilievo più recente e  $S_i$  è la superficie boscata della particella.

## Risultati e discussione

### Armonizzazione spaziale dei dati

#### Attribuzione della Categoria Forestale

L'applicazione della procedura ha consentito di classificare le 5813 particelle boscate, in base alla composizione reale del soprassuolo. Attraverso l'analisi discriminante è stato riclassificato il 37% delle particelle cui era stata inizialmente attribuita una

Categoria Forestale basata sulle sole indicazioni tipologiche contenute nelle schede particellari (Tab. 3). Il rapporto tra il numero di particelle presenti in ciascuna categoria dopo e prima dell'analisi indica la variazione percentuale di osservazioni inserite nel medesimo gruppo rispetto alla classificazione iniziale (Fig. 2).

L'errore di classificazione è stato stimato mediante estrazione di 4 campioni da ciascuna categoria per Peccete ( $n=200$ ), Abieteti ( $n=100$ ), Lariceti ( $n=80$ ) e Faggete ( $n=80$ ), sui restanti gruppi è stato verificato l'intero *data set*. Nel complesso la capacità discriminante delle funzioni è risultata soddisfacente, con un errore di classificazione mediamente inferiore al 5%.

#### Analisi della densità del soprassuolo

Attraverso la *cluster analysis* le 2578 particelle (una particella è stata esclusa durante l'analisi e classificata a parte) per le quali era nota l'area basimetrica unitaria sono state distinte in 4 classi di densità del soprassuolo (Tab. 4), tra le quali il test di Kruskal-Wallis ha evidenziato differenze statisticamente molto significative oltre che per l'area basimetrica ( $\chi^2=2286$ ,  $p<0.0001$ ) anche per il numero di piante presenti per unità di superficie ( $\chi^2=821$ ,  $p<0.0001$ ) e la provvigione unitaria ( $\chi^2=2275$ ,  $p<0.0001$ ). Il diametro massimo invece non è risultato statisticamente diverso tra seconda, terza e quarta classe ( $\chi^2=0.472$ ,

**Tab. 3** - Ripartizione in Categorie Forestali *pre* e *post* classificazione eseguita mediante l'analisi discriminante.

Categoria Forestale	<i>Ante</i> classificazione	% <i>ante</i>	% particelle riclassificate	<i>Post</i> classificazione	% <i>post</i>
Peccete	1235	23.69 %	23.9%	2172	37.36 %
Abieteti	1053	20.20 %	34.3 %	1041	17.91 %
Lariceti	383	7.35 %	29.7 %	743	12.78 %
Piceo Faggeti	505	9.69 %	83.9 %	332	5.71 %
Faggete	1384	26.55 %	46.7 %	842	14.48 %
Pinete	222	4.26 %	26.1 %	295	5.07 %
Mughete	132	2.53 %	29.5 %	107	1.84 %
Orno-Ost. Ostr-Q	258	4.95 %	24.0 %	236	4.06 %
Carpineti, Q-Carp	14	0.27 %	42.8 %	24	0.41 %
Castagneti	20	0.38 %	20.0 %	19	0.33 %
Aceri Frassineti	7	0.13 %	71.4 %	3	0.05 %
Totale	5213			5814	

$p=0.78$ ), così come l'età tra le classi 3 e 4 ( $\chi^2=0.008$ ,  $p=0.97$ ).

L'analisi discriminante eseguita sulle 2387 particelle oggetto di sola stima, cui si sono aggiunte un centinaio di particelle escluse dalla precedente classificazione (*outliers* e fustaie con insufficienti informazioni, non inserite nel *training data set*), ha consentito l'inserimento delle stesse in uno dei 4 gruppi già individuati (Tab. 5).

Più del 70% delle particelle oggetto di stima è stato collocato nella classe 1 e meno del 3% nella quarta classe (cui corrisponde la provvigione maggiore), a conferma del fatto che tale rilievo riguarda soprattutto i soprassuoli di minore interesse dal punto di vista produttivo. La validazione incrociata dei dati (*cross-validation*) ha indicato un errore di classificazione piuttosto elevato per la terza classe, pari al 12%, dovuto ad una scarsa capacità discriminante nei confronti delle classi attigue. Nel complesso quasi la metà delle particelle esaminate è ricaduto nella prima classe di densità, mentre soltanto il 6% di esse si è collocato nella classe maggiore.

La ripartizione delle particelle tra le diverse Categorie Forestali ha evidenziato la presenza di una o due classi di densità in Castagneti, Mughete, Capineti e Quercocarpineti e Orno-ostrieti e Ostrio-quercei, mentre per gli Aceri-frassineti non è risultata alcuna particella governata a fustaia.

#### Analisi della struttura del soprassuolo

Ripartendo le 4 classi di densità tra le 11 Categorie Forestali sono stati individuati 30 gruppi entro i quali sono stati distinti, ove la numerosità del campione lo consentiva, 2 *cluster*, ciascuno corrispondente ad una data composizione e relativa seriazione diametrica (Allegato 1). Soltanto nelle categorie degli Abieteti e delle Peccete è stato possibile riconoscere due classi strutturali significativamente diverse entro ciascuna delle 4 classi di densità. L'analisi discriminante ha consentito di individuare, nell'ambito delle particelle stimate, altrettanti gruppi strutturali stimando per ciascuno di essi anche il relativo errore di attribuzione. La capacità discriminante delle singole funzioni è apparsa nel complesso soddisfacente, con

**Tab. 4** - Classi di densità del soprassuolo (medie  $\pm$  errore standard con limite confidenza al 99%).

Classe	N° Part.	Area basim. (mq/ha)	Prov. Un (mc/ha)	Età (anni)	Diam Max (cm)	Piante/ha
Classe 1	573	15.6 $\pm$ 0.6	145.7 $\pm$ 5	92 $\pm$ 5	63.6 $\pm$ 1.5	234 $\pm$ 10
Classe 2	995	25.8 $\pm$ 0.2	261.4 $\pm$ 2.7	115 $\pm$ 4	72.2 $\pm$ 0.9	304 $\pm$ 7
Classe 3	756	33.5 $\pm$ 0.2	352.7 $\pm$ 3	128 $\pm$ 4	72.7 $\pm$ 0.8	370 $\pm$ 8
Classe 4	254	42.7 $\pm$ 0.7	472.4 $\pm$ 9.6	130 $\pm$ 8	72.9 $\pm$ 1.1	444 $\pm$ 18

**Tab. 5** - Classificazione particelle stimate in funzione della densità del soprassuolo.

Classe	N° Particelle Classificate	% Particelle Classificate	Errore stimato (Cross-validation)	Totale particelle	% sul totale
Classe 1	1788	71.72 %	4.89 %	573	46.6 %
Classe 2	511	20.50 %	6.13 %	995	29.7 %
Classe 3	137	5.50 %	12.04 %	756	17.6 %
Classe 4	57	2.29 %	1.97 %	254	6.1 %
<b>TOTALE</b>	<b>2493</b>			<b>5071</b>	

errori spesso nulli.

Mediante la funzione di Weibull è stata stimata la distribuzione di 239 seriazioni relative a 19 specie (o gruppi) distribuite tra le diverse classi strutturali, corrispondenti a diversi *skeweness*. In Fig. 3 si riportano, come esempio, le stime riferite a abete rosso e abete bianco, per gli Abieteti classificati nel primo gruppo strutturale della prima classe di densità.

Sono state escluse le seriazioni comprendenti meno di due classi diametriche, relative in ogni caso a specie minoritarie rispetto alla composizione complessiva del soprassuolo.

Le seriazioni ottenute, con i rispettivi limiti di confidenza, sono state quindi associate a ciascuna particella stimata, in relazione alla Categoria Forestale e classe di densità di appartenenza.

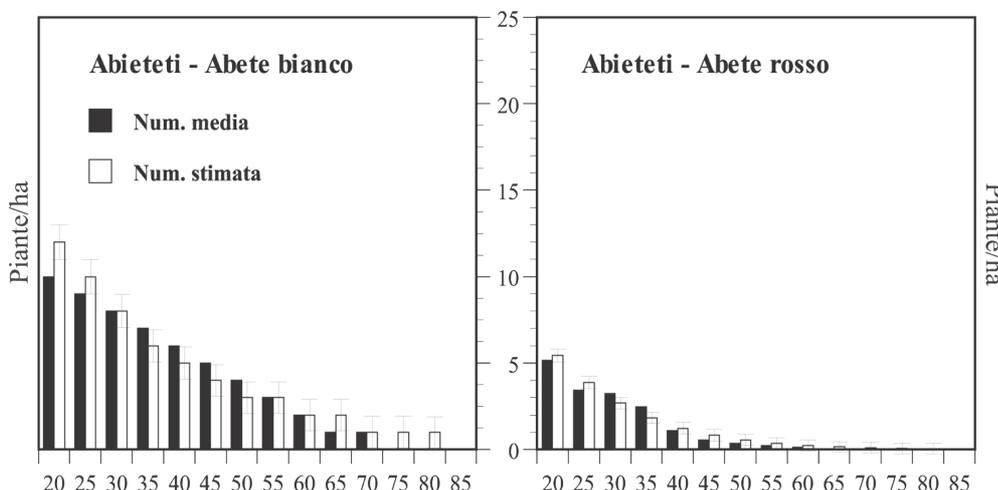
*Attualizzazione delle seriazioni diametriche*

In Fig. 4 si riportano i valori di variazione media annua del numero di piante presenti per classe diametrica e specie, ottenuti con la procedura *Bootstrap*. Nella prima classe diametrica, ove alla mortalità naturale e ai prelievi colturali si contrappone il passaggio a fustaia degli esemplari con diametro inferiore a 17.5 cm, si sono registrate variazioni annue

comprese tra un incremento di 0.85 piante/ha per il faggio e un decremento di 0.07 piante/ha per il larice. L'incremento rilevato nel faggio risente probabilmente del mancato censimento di tale specie nei Piani Economici più datati e potrebbe perciò rappresentare una sovrastima del valore reale. Il decremento riscontrato nelle prime classi diametriche del larice, così come nella classe del 20 del pino silvestre, potrebbe essere invece legato alle caratteristiche ecologiche delle due specie. In popolamenti da tempo non soggetti a tagli a raso e raramente interessati da fattori di disturbo che riducano la copertura del soprassuolo su superfici relativamente ampie, appare infatti verosimile una progressiva riduzione delle specie pioniere, almeno nelle classi diametriche minori (Del Favero & Lasen 1993).

Il numero medio complessivo di esemplari passati a fustaia è risultato pari a 6.3 piante ad ha di abete rosso, 8.3 di abete bianco, 9.6 di faggio, 0.02 di larice, 0.004 di pino silvestre e 0.9 per la categoria "latifoglie diverse".

In tutte le specie si è osservata una variazione tendenzialmente decrescente all'aumentare della classe diametrica, con un massimo tra le classi del 20 e del 30. L'abete rosso, con una crescita di 2.5 piante/anno,



**Fig. 3** - Esempio di seriazioni diametriche specifiche attribuite alle particelle oggetto di stima, con il raffronto tra numerosità media e numerosità stimata mediante l'equazione di Weibull, con l'indicazione dei limiti di confidenza (LF 95%).

ha fornito quasi il 50% dell'incremento complessivo per unità di superficie, pari a 5.5 piante/anno. Rilevante è apparso anche l'incremento stimato per il faggio, 1.7 piante/anno, mentre per il larice è stata registrata una variazione complessivamente negativa con una riduzione di 0.06 piante/anno.

Attualizzando le seriazioni del *dataset* di validazione sino all'anno di esecuzione dei rilievi più recenti nella grandissima parte dei casi non sono state registrate differenze significative tra la numerosità stimata con la procedura *Bootstrap* e quella reale. Infatti soltanto nelle classi diametriche del 65 e dell'85 dell'abete rosso, del 20, del 75 e dell'80 del larice e nelle classi del 40 e del 50 della categoria latifoglie diverse il test di Student ha indicato delle variazioni statisticamente significative. Ciò potrebbe suggerire, almeno per queste specie, una scarsa capacità predittiva del modello per le classi diametriche maggiori, dovuta alla ridotta numerosità del campione disponibile nelle singole classi.

Lo scostamento percentuale calcolato sul *dataset* di validazione distinto per classe diametrica e specie è risultato inferiore al 20% sino alla classe diametrica

del 60, per abete rosso, abete bianco e larice, e del 45 per pino silvestre e faggio (Fig. 5).

Come riscontrato da Gasparini et al. (2000), il raffronto tra il dato stimato, riferito all'intera superficie sulla quale è stata censita ciascuna specie, ed il dato reale, ha confermato l'effetto di "compensazione" atteso accorpando le particelle. Lo scostamento percentuale complessivo infatti per abete rosso, abete bianco e pino silvestre ha oscillato tra -1.1% e -1.7%, per faggio e larice è stato pari rispettivamente a -3.9% e -5.2%, mentre per la categoria delle latifoglie è risultato superiore al 13%.

Considerando ciascuna classe diametrica, indipendentemente dalla specie, è stato registrato uno scostamento sempre inferiore al 4% sino alla classe diametrica del 60, entro la quale si collocano il 99.1% delle piante censite (Fig. 6). Nelle classi del 65, 70 e 75 lo scostamento è stato pari rispettivamente al 8.1%, 13.8% e 13.6% mentre, nelle restanti classi, che tuttavia rappresentano soltanto lo 0.01% della numerosità totale, è stata osservata una netta sottostima. Complessivamente è risultata prevalente una leggera sottostima della numerosità assoluta, pari al -1.6%.

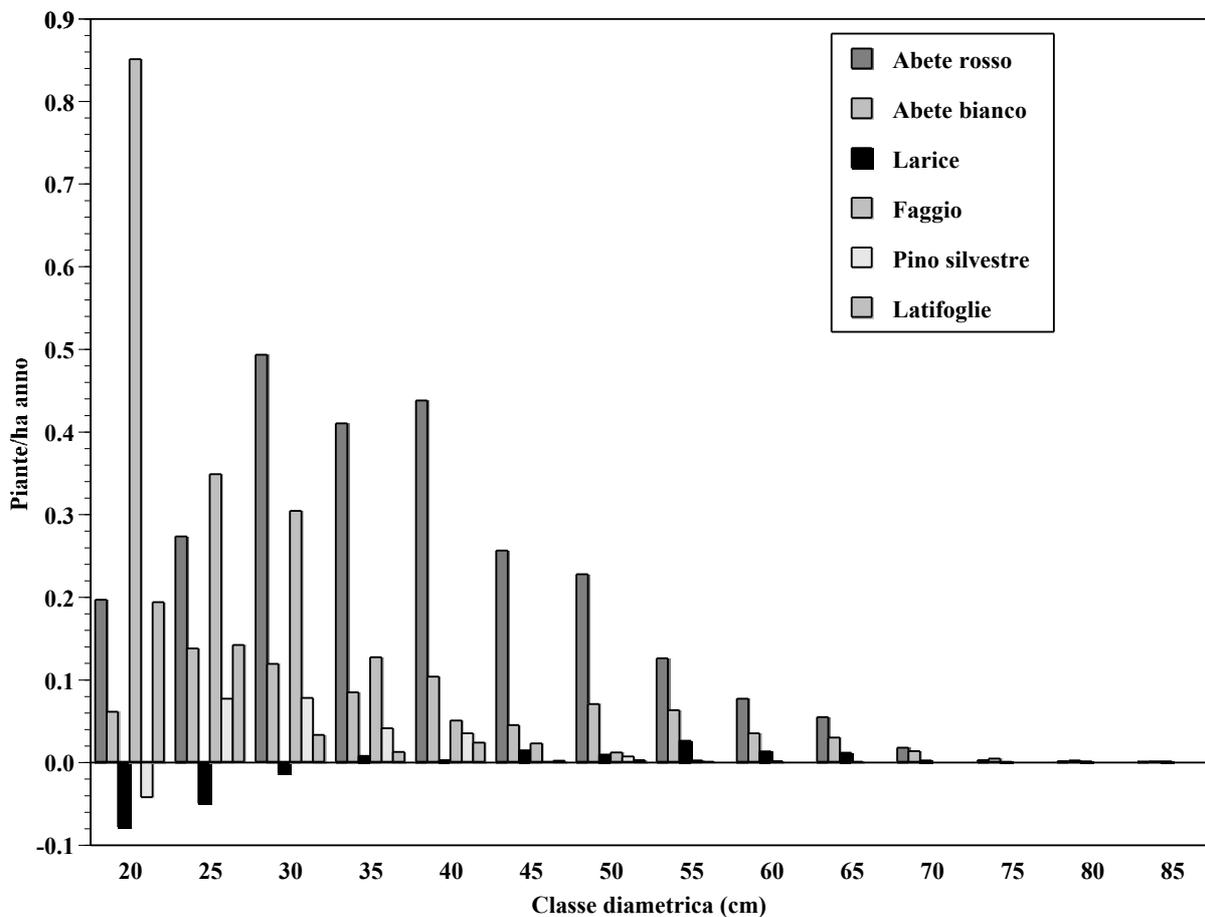
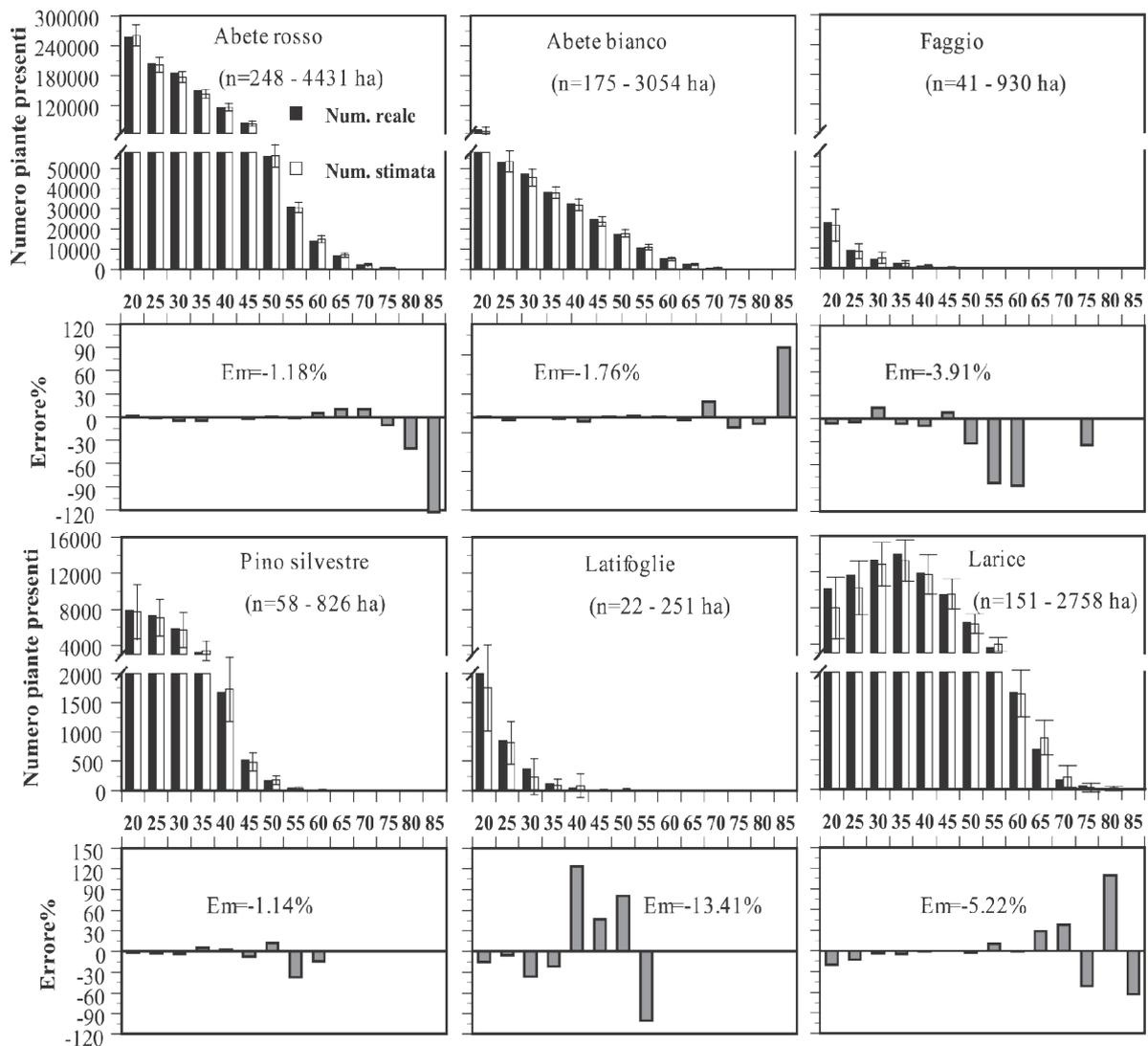


Fig. 4 - Variazione media annua del numero di piante presenti per classe diametrica.



**Fig. 5** - Numerosità complessiva reale, riferita all'intera superficie esaminata nel *dataset* di validazione (tra parentesi il numero *n* di seriazioni e la superficie delle particelle di raffronto) e numerosità stimata, con indicazione dei limiti fiduciarci della media al 95%, e errore percentuale di classe e medio (Em), relativo alle 6 specie, distinte in classi diametriche di 5 cm

Considerando infine l'area basimetrica, si sono riscontrati scostamenti percentuali di classe analoghi ai precedenti, ma una leggera riduzione dello scostamento complessivo (-1.2%), dovuto all'ulteriore riduzione del peso relativo delle classi diametriche maggiori rispetto al valore totale.

### Conclusioni

La procedura proposta ha consentito di attribuire una seriazione diametrica media anche alle particelle in cui si aveva a disposizione solo la stima della composizione e dell'area basimetrica, mentre l'attualizzazione delle serie diametriche relative alle particelle già oggetto di cavallettamento o rilievo relascopico ha permesso di riferire tali dati ad uno stesso

orizzonte temporale.

L'esclusione delle utilizzazioni dalla stima della variazione numerica "reale", operata in questa seconda fase, risulta accettabile in quanto:

- per l'aggiornamento delle seriazioni diametriche il taglio rappresenta un elemento da sottrarre alla numerosità iniziale, alla stregua di un qualsiasi fattore biotico o abiotico che agisca su una o più classi diametriche, riducendo la numerosità delle stesse nel periodo intercorso tra censimenti successivi;
- la funzione *C sink* si esplica al netto delle utilizzazioni, a meno di conoscere esattamente l'ammontare e la destinazione dei prelievi per giustificare una eventuale funzione di "C- ritenzione extra-boschiva" mantenuta dal materiale prelevato in bosco.

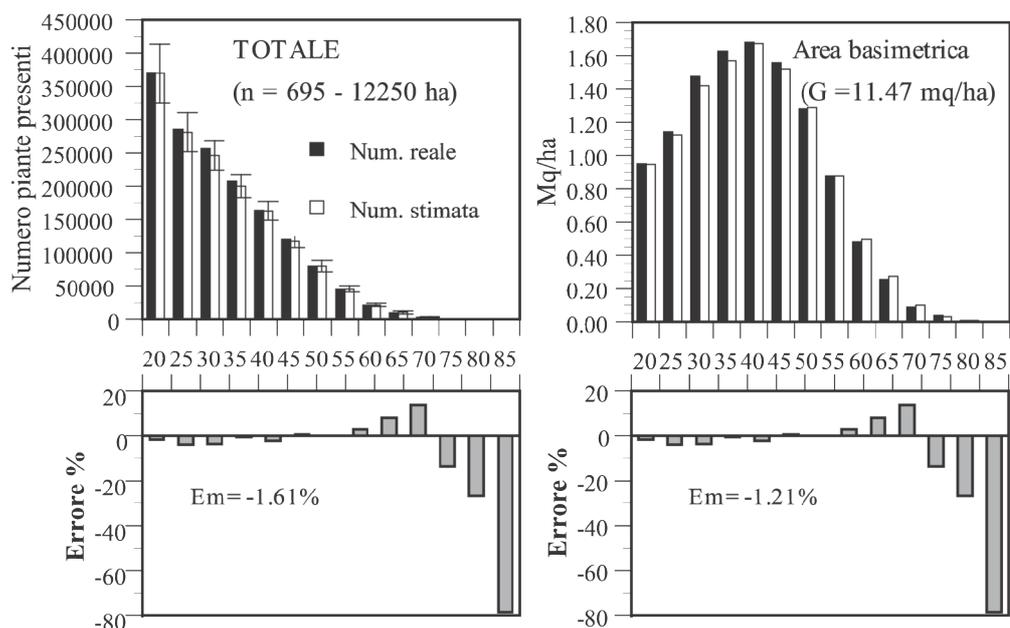
Restano al momento esclusi dalla possibile applicazione di specifiche equazioni allometriche i cedui, per i quali tuttavia il reperimento di ulteriori informazioni bibliografiche potrebbe permettere, come per le fustaie oggetto di sola stima, la ricostruzione di una seriazione diametrica media di riferimento. Particolarmente utile appare in ogni caso la riclassificazione operata, sulla base della sola composizione reale del soprassuolo, tanto per le fustaie quanto per i cedui. Per entrambi risulta invece ancora problematica la carenza di dati aggiornati, non solo per le particelle con funzione protettiva o turistico-ricreativa, ma anche per quelle con funzione produttiva.

L'approccio proposto costituisce *in primis* uno strumento di armonizzazione ed attualizzazione dei dati assestamentali, senza una vera e propria valenza predittiva. L'eventuale impiego per un orizzonte temporale superiore ai 10 - 11 anni, intervallo temporale medio dei rilievi utilizzati, richiederebbe infatti opportune verifiche e calibrature. Nel breve periodo tuttavia le variazioni medie associate a ciascuna specie e classe diametrica possono fornire un'indicazione di massima sulla capacità fissativa dei soprassuoli in esame.

Considerando un insieme omogeneo di particelle accorpate nell'ambito di una compresa, di un piano o, su scala maggiore, appartenenti ad una stessa Comunità Montana, rinunciando alla quantificazione dello stock presente sulla singola presa è possibile giungere ad una stima comunque aderente ai dettami delle *Good Practice Guidance*. Uno dei requisiti es-

senziali richiesti da tale documento è rappresentato dalla definizione delle incertezze associate ad una qualsiasi stima, elemento in questo caso valutato in tutte le fasi della procedura. La metodologia, applicata nell'ottica di una successiva stima dello stock di carbonio presente nell'area in esame, risulta perfettamente conforme al così detto "Reporting Method 1" proposto dalle *Good Practice Guidance*, che prevede la sola definizione, sulla base di confini amministrativi e/o delle tipologie ambientali presenti, di porzioni accorpate di territorio, quali sono le comprese, ciascuna comprendente aree soggette ad *afforestation* e *reforestation*, *deforestation* e, nel caso in esame, *FM* (Schlamadinger et al. 2003). In questo senso il pieno impiego dei dati assestamentali per la definizione delle potenzialità fissative attribuibili alla Gestione Forestale, appare, anche in altre regioni, particolarmente vantaggioso. Esso infatti non richiede l'acquisizione di nuove informazioni sull'intero territorio in esame ma soltanto una mirata integrazione dei dati esistenti. Le aree assestate sembrano inoltre soddisfare, a "pieno titolo", i requisiti richiesti dalla definizione di *FM*, almeno nell'accezione più ampia proposta dall'*IPCC* ("*Broad Approach*"). Va infine sottolineato come, nel caso in cui gli impegni già assunti dal nostro Paese in sede internazionale non consentissero l'auspicata rinegoziazione del limite fissato negli Accordi di Marrakech, la sola valutazione del *C-sink* relativo alle aree assestate risulterebbe probabilmente sufficiente per il raggiungimento della quota attribuita al Gestione Forestale.

**Fig. 6** - Numerosità complessiva reale ed area basimetrica totale, riferite all'intera superficie esaminata nel dataset di validazione e corrispondenti valori stimati, con indicazione dello errore percentuale di classe e medio ( $E_m$ ), relativo a tutte le specie esaminate



## Ringraziamenti

Si ringraziano il Dott. M. Dissegna ed il Dott. S. Zen della Direzione Regionale Foreste ed Economia Montana della Regione Veneto, che ha messo a disposizione i dati impiegati nel presente studio. Il lavoro proposto fa parte di un più ampio progetto di ricerca finanziato dalla Direzione Regionale Foreste ed Economia Montana della Regione Veneto, per la stima dello stock di carbonio presente in ambito forestale a partire dai dati inventariali ed assestamentali disponibili a livello regionale.

## Bibliografia

- AA. VV. (2005). Forest definitions and policy issues. BOG1 report of Workshop: Land-use related choices under the Kyoto Protocol. Obligations, Options and Methodologies for Defining "Forest" and selecting activities under Kyoto Protocol Article 3.4. Graz, Austria, 2-4 May 2005. [online] URL: [http://www.joanneum.at/carboinvent/workshop/Master\\_Forest\\_policy\\_BOG\\_report1.pdf](http://www.joanneum.at/carboinvent/workshop/Master_Forest_policy_BOG_report1.pdf)
- Anderle A, Ciccarese L, Dal Bon D, Pettenella D, Zanolini E (2002). Assorbimento e fissazione di carbonio nelle foreste e nei prodotti legnosi in Italia. Rapporti APAT 21, pp. 58.
- Bailey RL, Dell TR (1973). Quantifying diameter distribution with Weibull Function. *Forest Science* 19(2): 97-104.
- Ciccarese L, Avitabile V, Brown S, Pettenella D, Schlamdinger B (2003). Possono le foreste mitigare i cambiamenti climatici? *Sherwood* 94: 25-30.
- Ciccarese L, Pettenella D (2002). Il Protocollo di Kyoto dopo Marrakesh. *Sherwood* 80: 5-10.
- Ciccarese L, Pettenella D (2005). Il Protocollo di Kyoto. Quali possibilità per i gestori delle foreste italiane nel mercato delle quote? *Sherwood* 108: 5-9.
- CIPE (2002). Revisione delle linee guida per le politiche e misure nazionali di riduzione delle emissioni dei gas serra (legge 120/2002). Deliberazione n. 123 del 19 dicembre 2002. [online] URL: [http://www.minambiente.it/Sito/settori\\_azione/pia/att/pna\\_c02/docs/delibera\\_cipe\\_19\\_12\\_02\\_n123.pdf](http://www.minambiente.it/Sito/settori_azione/pia/att/pna_c02/docs/delibera_cipe_19_12_02_n123.pdf)
- Clark DA, Brown S, Kicklighter J, Chambers JQ, Thomlinson JR, Ni J (2001). Measuring net primary production in forests: concepts and field methods. *Ecological Applications* 11: 356-370.
- Del Favero R (2000). Biodiversità e Indicatori nei tipi forestali del Veneto. Commissione Europea, Regione del Veneto, Accademia Italiana di Scienze Forestali, pp. 335.
- Del Favero R, Lasen C (1993). La vegetazione forestale del Veneto. Libreria Progetto, Padova, pp. 313.
- Efron B, Tibshirani RJ (1993). An introduction to the Bootstrap. Chapman & Hall, New York London, pp. 177.
- Frey HC, Burmaster DE (1999). Methods for characterizing variability and uncertainty: comparison of Bootstrap simulation and Likelihood-based approaches. *Risk Analysis* 19: 109-130.
- Freibauer A, Böttcher H (2005). Options for choices in the national definition of "Forest management activities" under Article 3.4 of the Kyoto Protocol and their influence on accountable carbon sinks. Workshop: Land-use related choices under the Kyoto Protocol. Obligations, Options and Methodologies for Defining "Forest" and selecting activities under Kyoto Protocol Article 3.4. Graz, Austria, 2-4 May 2005. [online] URL: <http://www.joanneum.at/CarboInvent/Workshop/presentations.html>
- Gasparini P, Maltoni ML, Tabacchi G (2000). Un modello a matrice di transizione per i boschi misti pluristratificati di abete rosso, abete bianco e faggio del Trentino. *ISAFSA Comunicazioni di Ricerca* 3: 1-65.
- Hellrigl B (1986a). I compiti dell'Assestamento Forestale, in Nuove metodologie nella elaborazione dei piani di assestamento dei boschi. I.S.E.A.: 3-18.
- Hellrigl B (1986b). La determinazione della ripresa, in Nuove metodologie nella elaborazione dei piani di assestamento dei boschi. I.S.E.A.: 1010-1027.
- INFC (2005). Linee Generali del Progetto per il Secondo Inventario Nazionale delle Foreste e dei Serbatoi Forestali di Carbonio. MiPAF - Ispettorato Generale del Corpo Forestale dello Stato, CRA-ISAFSA, Trento, pp. 57.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (2003). Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry. Edited by Penman J, Gytarsky M, Hiraishi T, Krug T, Kruger D, Pipatti R, Buen-dia L, Miwa K, Ngara T, Tanabe K e Wagner F.
- Joosten R, Schumacher J, Wirth C, Schulte A (2004). Evaluating tree carbon predictions for beech (*Fagus sylvatica* L.) in western Germany. *Forest Ecology and Management* 189: 87-96.
- La Marca O (1999). Elementi di dendrometria. Patron Editore, Bologna, pp. 512.
- Legendre P, Legendre L (1998). Numerical Ecology (2nd english ed.). Elsevier, pp. 303-378.
- Loetsch F, Zöhrer F, Haller KE (1973). Forest Inventory. Vol. II. BLV Verlagsgesellschaft, München Bern Wien, pp. 356-365.
- Milne R, Jallow BP (2003). Basis for consistent representation of land areas. In: *Good Practice Guidance for Land Use, Land Use Change and Forestry* (Penman J, Gytarsky M, Hiraishi T., Krug T, Kruger D., Pipatti R., Buen-Dia L, Miwa K, Ngara T, Tanabe K, Wagner F eds.), pp. 2.4-2.442.
- Motulsky HJ, Ransnas LA (1987). Fitting curves to data using nonlinear regression: a practical and nonmathe-

- matical review. *FASEB* 1: 365-374.
- Olsson M (2005). Land-use Related Choices under Art 3.3 and 3.4, with special consideration to soil carbon reporting - LULUCF activities . Workshop: Land-use related choices under the Kyoto Protocol. Obligations, Options and Methodologies for Defining "Forest" and selecting activities under Kyoto Protocol Article 3.4. Graz, Austria, 2-4 May 2005. [online] URL: <http://www.joanneum.at/CarboInvent/Workshop/presentations.html>
- SAS Institute Inc (1990). *SAS/STAT User's guide*. Vers. 6 (4<sup>th</sup> ed.), vol.2. [online] URL: <http://v8doc.sas.com/sashtml/>
- Schlamadinger B, Boonpragod K, Janzen H, Kurtz W, Lasco R, Smith P (2003). Supplementary methods and good practice guidance arising from the Kyoto Protocol, chapter 4: pp 4.1-4.120. In: *Good Practice Guidance for Land Use, Land Use Change and Forestry* (Penman J, Gytarsky M, Hiraishi T, Krug T, Kruger D, Pipatti R, Buen-dia L, Miwa K, Ngara T, Tanabe K, Wagner F eds). The Institute for Global Environmental Strategies for the IPCC and the Intergovernmental Panel on Climate Change. Hayama, Kanagawa, Japan.
- Schroeder P, Brow S, Mo J, Birdsey R, Cieszewski C (1997). Biomass estimation for Temperate Broadleaf Forests of the United States using inventory data. *Forest Science* 43: 424-434.
- Susmel L (1983). *Carta Regionale Forestale. Relazione - Tabulati Statistici. Regione del Veneto, Dipartimento per le foreste e l'economia montana, Istituto di selvicoltura dell'Università di Padova*, pp. 261.
- Wirth C, Schumacher J, Schulze ED (2004). Generic biomass functions for Norway spruce in Central Europe. A meta-analysis approach toward prediction and uncertainty estimation. *Tree Physiology* 24: 121-139.
- Zar HD (1999). *Biostatistical Analysis* (4<sup>th</sup> ed.). Prentice Hall International Inc., pp. 91-100, 324-359.
- Zianis D, Mencuccini M (2004). On simplifying allometric analyses of forest biomass. *Forest Ecology and Management* 187: 311-332.

**Allegato 1**

Ripartizione delle classi di densità in gruppi strutturali. (\*): abete rosso (PCA); abete bianco (ABA); faggio (FAS); larice (LRD); pino silvestre (PNS); gen. *Acer* (ACX); pino cembro (PNC); età; diametro massimo (D. Max). <sup>[1]</sup> Si aggiungono 16 particelle stimate, prive di Categoria Forestale, per mancanza di dati. <sup>[2]</sup> Si aggiungono 5 particelle classificate come Abieteti e 17 particelle classificate come Peccete, non attribuibili ad alcuna classe di densità per mancanza di dati.

Categoria Forestale	Classe densità	Training data set		Particelle stimate			Totale	% Totale
		Classi strutturali	Numero particelle	Numero particelle	Variabili (*) di classificazione	Errore di classificazione		
ABIETETO	1	1	3	110			113	2.23%
ABIETETO	1	2	51	2	Età PCA FAS	5.88%	53	1.05%
ABIETETO	2	1	303	80	Età PCA ABA	0.33%	383	7.57%
ABIETETO	2	2	2	0	FAS ACX	0.00%	2	0.04%
ABIETETO	3	Non class.	1	-		-	1	0.02%
ABIETETO	3	1	3	1	Età PCA ABA	0.00%	4	0.08%
ABIETETO	3	2	333	33	FAS	0.00%	366	7.24%
ABIETETO	4	1	45	7	Età ABA PNS	6.67%	52	1.03%
ABIETETO	4	2	61	4	LRD	19.67%	65	1.29%
CARP-QUERC	1	1	6	9		-	15	0.30%
CASTAGNETO	1	1	12	2		-	14	0.28%
CASTAGNETO	2	1	-	1		-	1	0.02%
FAGGETA	Non class	Non class	1	-		-	1	0.02%
FAGGETA	1	1	108	113	Età PCA FAS	0.93%	221	4.37%
FAGGETA	1	2	2	6	ACX D. Max	0.00%	8	0.16%
FAGGETA	2	1	34	24	Età PCA FAS	23.53%	58	1.15%
FAGGETA	2	2	10	6	ACX D. Max	0.00%	16	0.32%
FAGGETA	3	1	7	15		-	22	0.44%
FAGGETA	4	1	-	20		-	20	0.40%
LARICETO	1	Non class	1	-		-	1	0.02%
LARICETO	1	1	4	65	PCA LRD PNS	0.00%	69	1.36%
LARICETO	1	2	57	460	PNC	0.00%	517	10.22%
LARICETO	2	Non class	1	-		-	1	0.02%
LARICETO	2	1	4	2		0.00%	6	0.12%
LARICETO	2	2	50	56		2.00%	106	2.10%
LARICETO	3	Non class	2	-		-	2	0.04%
LARICETO	3	1	22	13		-	35	0.69%
LARICETO	4	1	3	1		-	4	0.08%
MUGHETA	1	Non class		2		-	104	0.04%
MUGHETA	1			104		-	104	2.06%
MUGHETA	4			1		-	1	0.02%
ORNO-OST	Non class	Non class	-	1		-	1	0.02%
ORNO-OST	1	1	2	15		-	17	0.34%
PECCETA	Non class	Non class		1		-	18	0.02%
PECCETA	1	1	212	571	FAS ABA LRD	1.42%	783	15.48%
PECCETA	1	2	9	9	PNC Età D.Max	0.00%	18	0.36%
PECCETA	2	Non class	1	-		-	1	0.02%

**Allegato 1 (continua)**

Ripartizione delle classi di densità in gruppi strutturali. (\*): abete rosso (PCA); abete bianco (ABA); faggio (FAS); larice (LRD); pino silvestre (PNS); gen. *Acer* (ACX); pino cembro (PNC); età; diametro massimo (D. Max). <sup>[1]</sup> Si aggiungono 16 particelle stimate, prive di Categoria Forestale, per mancanza di dati. <sup>[2]</sup> Si aggiungono 5 particelle classificate come Abieteti e 17 particelle classificate come Peccete, non attribuibili ad alcuna classe di densità per mancanza di dati.

Categoria Forestale	Classe densità	Training data set			Particelle stimate		Totale	% Totale
		Classi strutturali	Numero particelle	Numero particelle	Variabili (*) di classificazione	Errore di classificazione		
PECCETA	2	1	9	5	LRD ABA PNS	0.00%	14	0.28%
PECCETA	2	2	496	282	PCA PNC D.Max	0.40%	778	15.38%
PECCETA	3	1	352	58	Età D.Max PCA	0.57%	410	8.11%
PECCETA	3	2	3	4		33.33%	7	0.14%
PECCETA	4	1	64	8	Età ABA D.Max	7.81%	72	1.42%
PECCETA	4	2	77	10		33.77%	87	1.72%
PICEO-FG	1	Non class	1	-		-	1	0.02%
PICEO-FG	1	1	14	59	PCA LRD Età	7.14%	73	1.44%
PICEO-FG	1	2	60	47	PNS D.Max	6.67%	107	2.12%
PICEO-FG	2	1	55	19	PCA ABA LRD	10.91%	74	1.46%
PICEO-FG	2	2	19	11	PNS PNC Età D.Max	10.53%	30	0.59%
PICEO-FG	3	1	7	0	PCA FAS ABA	0.00%	7	0.14%
PICEO-FG	3	2	19	7	LRD Età D.Max	5.26%	26	0.51%
PICEO-FG	4	1	1	1		-	2	0.04%
PINETA	1	1	30	201		-	231	4.57%
PINETA	2	1	11	22		-	33	0.65%
PINETA	3	1	7	6		-	13	0.26%
PINETA	4	1	3	5		-	8	0.16%
TOTALI		45	2578	2479 <sup>[1]</sup>			5057 <sup>[2]</sup>	100.00%