



# UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI PADOVA

Sede Amministrativa: Università degli Studi di Padova

Dipartimento Territorio e Sistemi Agro - Forestali

SCUOLA DI DOTTORATO DI RICERCA IN TERRITORIO, AMBIENTE, RISORSE E  
SALUTE

INDIRIZZO ECOLOGIA FORESTALE

CICLO XXI

## **VALUTAZIONE DELLO *STOCK* DI CARBONIO E DELLE CAPACITÀ FISSATIVE DELLE FORESTE ASSESTATE E DEI BOSCHI DI NEOFORMAZIONE NELLA REGIONE VENETO**

**Direttore della Scuola:** Ch.mo Prof. Vasco Boatto

**Supervisore:** Ch.mo Prof. Tommaso Anfodillo

**Dottoranda:** Elena Dalla Valle



## Riassunto

Il Protocollo di Kyoto, in vigore dal febbraio 2005 dopo la ratifica della Federazione Russa, è divenuto completamente operativo a seguito degli accordi raggiunti nel corso della COP/MOP1 svoltasi a Marrakech nello stesso anno. Le attività agro-forestali di mitigazione sono state quelle più discusse nel corso degli anni di negoziazione, ma in conclusione la capacità di assorbire CO<sub>2</sub> da parte di tali ecosistemi è stata formalmente riconosciuta. Gli articoli di riferimento inerenti tali attività sono il 3.3 (afforestazione, riforestazione e deforestazione) e il 3.4 (gestione forestale), nonché il 6 (*joint implementation*) e il 12 (*clean development mechanism*) per quanto riguarda la possibilità di sviluppare progetti agro-forestali anche al di fuori dei confini nazionali.

L'articolo 3.3 del Protocollo di Kyoto (PK) impegna l'Italia e gli altri Paesi inseriti nell'Annesso I, a redigere un bilancio tra assorbimenti ed emissioni di gas ad effetto serra legati ad attività di *afforestation* e *reforestation* al netto della *deforestation* (ARD); ogni nazione deve innanzitutto stimare la variazione della superficie boscata occorsa a partire dal 1990 (anno di riferimento), per azione diretta dell'uomo e poi valutare i relativi assorbimenti o emissioni. Il PK consente inoltre ai Paesi dell'Annesso I di ricorrere ai crediti generati dalle attività legate alla gestione forestale come misura complementare per il raggiungimento degli obiettivi fissati in sede internazionale; le aree assestate presenti in Italia possono soddisfare, anche se con alcuni limiti, la definizione di gestione forestale proposta dagli Accordi di Marrakech.

Gli obiettivi del presente studio sono (i) stimare lo *stock* ed il *sink* di carbonio delle foreste presenti nel territorio regionale, svolgendo rilievi in campo specifici per integrare le informazioni disponibili provenienti dai piani di assestamento; (ii) valutare l'entità dei fenomeni di variazione di superficie boscata attraverso una metodologia conforme alle indicazioni fornite dalle *Good Practice Guidance* dell'*Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)*.

### Area di studio

La superficie forestale presente nella regione Veneto, secondo i dati riportati dall'Inventario Nazionale delle Foreste e dei Serbatoi di Carbonio (INFC), si estende su un'area di circa 397889 ha, corrispondenti a circa il 21.6% dell'intero territorio regionale; la superficie forestale appare così suddivisa:

- 395460 ha di boschi alti, di cui il 24.4% di abete rosso, il 20.9% di ostrieti e carpineti ed il 16.9% faggete; il 39% dei boschi alti sono gestiti a ceduo e di questi l'83.6% risultano allo stadio adulto o invecchiati;
- 2090 ha di impianti di arboricoltura da legno
- 339 ha temporaneamente privi di soprassuolo

Il 67% di tale superficie boscata è di proprietà privata, mentre a livello di pianificazione il 95.6% è soggetto a pianificazione derivante da prescrizione di massima e di polizia forestale; tra le superficie sottoposte a tali prescrizioni alcune aree sono soggette a prescrizioni più specifiche, in particolare:

- pianificazione di orientamento: 4.3%;
- pianificazione di dettaglio: 31.0%.

I risultati dell'Inventario Nazionale delle Foreste indica poi come in Veneto il 91% della superficie boscata risulti disponibile al prelievo, ovvero non soggetta a limitazioni significative delle attività selvicolturali dovute a norme, vincoli o cause fisiche.

### Gestione Forestale

Le aree soggette a gestione forestale prese in esame nel presente studio sono rappresentate dalle formazioni assestate. Utilizzando la banca dati della regione Veneto relativa a tali aree si è provveduto all'estrazione, attraverso un campionamento stratificato, di un campione di particelle forestali su cui effettuare dei rilievi in modo da ottenere la seriazione diametrica completa, sia delle piante vive, sia delle piante morte; attraverso l'utilizzo di apposite equazioni allometriche è stato dunque stimato lo *stock* medio di carbonio per le diverse categorie forestali rilevate. Il prelievo di carotine di legno su piante campione ha anche permesso di stimare l'accrescimento medio dei boschi analizzati, confrontato con il *sink* medio di carbonio rilevato dalla comparazione tra i nuovi rilievi eseguiti ed i precedenti rilievi presenti nei Piani di Assestamento.

### Applicazione di equazioni allometriche

Le *Good Practice Guidance* propongono, oltre all'impiego di fattori di espansione (BEF), anche quello di un approccio inventariale basato sull'applicazione di equazioni allometriche. La stima della biomassa totale epigea ( $M$ ) mediante l'impiego di tali relazioni si basa sul rilievo di parametri dendrometrici facilmente misurabili, quali il diametro ( $Dbh$ ) e l'altezza ( $H$ ).

Tra le numerose relazioni di tipo allometrico utilizzate in ambito forestale la *power function* è la più diffusa (Niklas 1994, Kaitaniemi 2004):

$$M = a Dbh^b ,$$

I valori dei parametri  $a$  e  $b$  vengono generalmente stimati attraverso il campionamento di un certo numero di alberi modello rappresentativi delle condizioni stazionali e delle specie presenti nell'area di indagine, quindi le relazioni allometriche normalmente disponibili in bibliografia risultano, in genere, applicabili localmente e limitatamente alle specie per le quali sono state sviluppate (Brown 2002).

In alternativa a questo approccio, di tipo empirico, il valore di  $b$  può essere desunto attraverso delle relazioni funzionali che, in accordo con quanto indicato da Niklas (1994), permettano di

prevedere il valore assunto da una variabile attraverso una funzione matematica basata su di una relazione causa – effetto. Su tale principio si basa in particolare il modello proposto da West et al. (1999), noto come *WBE* model. Secondo tale modello tutte le piante vascolari, indipendentemente dalla specie e dall'età, presentano la stessa struttura di base, come conseguenza del fatto che tutte sono sottoposte alle stesse pressioni evolutive. Il modello è stato sino ad oggi oggetto di numerosi studi che ne hanno in parte confermato la validità (Niklas 2004, Mcculloh and Sperry 2005, Meinzer et al. 2005, Anfodillo et al. 2006a, Coomes 2006, Niklas 2006, Pilli et al. 2006a, Coomes et al. 2007), evidenziando però anche alcune incongruità (Bokma 2004, Kozlowski and Konarzewski 2004, Zianis and Mencuccini 2004, Emile et al. 2008). In un recente studio (Pilli et al. 2006a) sono stati definiti valori più precisi di  $a$  e  $b$ , dividendo le piante arboree in tre stadi ontogenetici (giovane, adulto e maturo), ai fini di una valutazione più corretta della massa epigea totale di un popolamento arboreo. Gli Autori dimostrano come il valore medio stimato per il parametro  $b$  nella fase adulta ( $2.64 \pm S.D. 0.30$ ) sia statisticamente uguale al valore teorico previsto dal modello *WBE* (2.67).

Per quanto riguarda la stima del coefficiente di scala esso dovrebbe risultare correlato con la specie ed il sito oggetto di indagine; diversi Autori (Niklas 1994, Ketterings et al. 2001, Zianis and Mencuccini 2004, Pilli et al. 2006a) hanno ipotizzato una relazione tra il valore assunto dal coefficiente  $a$  e la densità media del legno della specie esaminata ( $\rho$ ). Partendo da questa ipotesi in questa ricerca è stato approfondito lo studio sul coefficiente  $a$  verificando la correlazione tra tale parametro e la densità basale delle singole specie, utilizzando in particolare per le conifere un valore di densità medio tra il fusto e i rami.

I risultati delle elaborazioni indicano che lo *stock* medio epigeo per unità di superficie nelle fustaie è pari a  $98.92 \text{ Mg C ha}^{-1}$  con uno scarto quadratico medio di 11.07, mentre per i cedui in gran parte ormai in conversione è risultato pari a  $138.91 \text{ Mg C ha}^{-1}$  (SD 21.49). Lo *stock* epigeo complessivo afferente alle particelle assestate della regione Veneto risulta pari a 12.9 milioni Mg C, mentre, considerando l'intera superficie boscata regionale è stato stimato in 39.1 milioni Mg C; il *sink* medio di carbonio risulta essere  $1.2 \text{ Mg C ha}^{-1} \text{ anno}^{-1}$  per le fustaie e  $2.6 \text{ Mg C ha}^{-1} \text{ anno}^{-1}$  per i cedui, corrispondenti ad un *sink* regionale pari a  $22798 \text{ Mg C anno}^{-1}$ , considerando le sole particelle con piano di assestamento e di  $91588 \text{ Mg C anno}^{-1}$  per l'intera superficie boscata regionale, pari al 3.3% del CAP nazionale.

L'approccio, basato sull'impiego dei dati assestamentali disponibili, risulta conforme alle indicazioni delle *Good Practice Guidance* dell'*IPCC*.

#### Stima della variazione di superficie boscata

A tale scopo è stato condotto uno studio nell'ambito di due Comunità Montane: Agordina e Valle del Boite (BL), assunte come area rappresentative della fascia montana delle alpi orientali. Sono state confrontate le ortofoto relative al 2003 ed al 2000 con le foto aeree del 1991 georiferite. E' stato predisposto un protocollo di campionamento multistadio ed è stata valutata la variazione di categoria d'uso del suolo relativa a 1220 punti campione per la comunità montana Agordina e 184 punti nella CM del Boite, disposti sulla superficie in esame; in seguito sono stati svolti opportuni rilievi sui punti soggetti ad *afforestation/reforestation* per la stima dell'assorbimento di carbonio relativa a tali boschi di neoformazione. Integrando poi quanto emerso in questo studio con i dati scaturiti nel corso dell'indagine preliminare (Pilli, 2006) ed i dati di superficie forestale dell'INFC è stato stimato il contributo complessivo delle attività ARD per l'intera regione Veneto.

Viene presentata non solo una stima della variazione di superficie boscata, ma anche una prima proposta per la valutazione dell'assorbimento di carbonio da parte di queste formazioni, formatesi dopo il 1990. Lo studio evidenzia l'incremento della superficie boscata in atto lungo la fascia montana delle alpi orientali con un tasso di espansione del bosco pari allo 0.095% anno<sup>-1</sup> rispetto alla superficie boscata stimata al 1991, per il periodo e l'area presi in esame. L'assorbimento di carbonio di tale formazioni risulta essere pari a 0.69 Mg ha<sup>-1</sup> anno<sup>-1</sup>, mentre per l'intera superficie regionale è stato stimato un incremento di circa 1235 ha anno<sup>-1</sup> ed un assorbimento medio pari a 852.12 Mg C anno<sup>-1</sup>.

## Summary

### **ASSESSING FOREST CARBON STOCK AND SINK OF THE MANAGED FOREST AND NEO-FORMATION FOREST IN THE VENETO REGION**

The Kyoto Protocol (KP) came into force in February 2005, after the ratification by the Russian Federation, and became fully operative following the Marrakech Accords reached during the first COP/MOP in the same year. The agro-forestry activities (LULUCF sector) were highly controversial during the negotiations, but in the end the sink capacity of these ecosystems was recognized. The principle articles for these activities are the 3.3 (afforestation, reforestation and deforestation) and 3.4 (forest management), as well as 6 (joint implementation) and 12 (clean development mechanism) for the offset projects outside the national border.

According to art. 3.3 of the KP, Parties included in Annex I shall report the net changes in greenhouse gas emissions by sources and removals by sinks resulting from afforestation, reforestation and deforestation activities (ARD); to assess these activities, all the Annex I Parties have to define methods to estimate land use change occurring after 31 December 1989 as well as identify methods to evaluate the carbon sink and source of these activities.

However, all these countries have the possibility to elect some additional activities; Italy has chosen only forest management (FM) 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 Marrakech Accords.

The aims of this work were: (i) to assess the carbon stock and sink of the forest in the Veneto Region (NE Italy), making specific surveys to complete the information available in the forest management plan, and (ii) to estimate the area subjected to ARD activities and propose a methodology to assess the carbon sink of these neo-forest formations, according to the Good Practice Guidance for Climate Change (IPCC).

#### Study area

Veneto Region, as reported by the National Forest Inventory (INFC), has about 397889 ha of forest, equivalent to about 21.6% of the total regional area, divided into:

- 395460 ha of forests, of which 24.4% are spruce, 20.9% are mixed broadleaves and 16.95 are beech; about 39% of these forests are coppices and about 83.6% are aged;
- 2090 ha are plantations;
- 339 ha are temporarily without tree cover.

About 67% of the total forest surface is private and there are three different management levels:

- 95.65% of the total forest surface is submitted to general prescriptions;

- 4.3% is subjected to orientation prescriptions (besides the general prescriptions);
- 31% is submitted to detailed prescriptions (besides the general prescriptions).

The INFC results show that about 91% of the forest area in the Veneto Region is available for harvesting, without any silvicultural limitation due to legal or physical causes.

#### Forest management activities

In this study we have considered all the forest compartments with a forest management plan; from the available data of the Veneto Region we have drawn some sample forest compartments using a stratified sample design; in each sample forest compartment we did a survey in order to obtain the complete diameter distribution. Applying appropriate allometric equations the carbon stock of the forest was assessed. We also collected core samples to assess the forest growth; comparing the new surveys and the data in the management plans we assessed the carbon sink of the sample forest compartments.

#### Allometric equations

Aboveground tree biomass ( $M$ ) can be estimated using a power function in the form of  $M = aDbh^b$ , where  $a$  and  $b$  are the scaling coefficient and scaling exponent respectively and  $D$  the tree breast-height diameter. Both  $a$  and  $b$  are reported to vary with species, site and age. However, West *et al.* (1999) suggested that  $M$  should scale against  $Dbh$  with a universal exponent ( $b=8/3$ ), because the scaling exponent would depend on an optimal tree architecture. Moreover  $a$  should be related with the wood density ( $\rho$ ) (Enquist *et al.*, 1999). A recent study by Pilli *et al.* (2006a) shows that the  $b$  exponent can be considered constant among three different stages (young, adult and mature) to better estimate the total aboveground biomass of a forest. With regard to the  $a$  coefficient, this should be correlated with the site and species considered; in particular, different studies hypothesize a correlation with the wood density (Niklas 1994, Ketterings *et al.* 2001, Zianis and Mencuccini 2004). In this research, we studied the  $a$  coefficient further, verifying the correlation with the wood basic density, considering for conifers an average value between branch and stem wood basic density.

The average aboveground stock estimated for the high forest by allometric equation is 98.92 Mg C ha<sup>-1</sup> with a standard deviation of 11.07, while for the coppices it is about 139 Mg C ha<sup>-1</sup> (SD 21.49). The total aboveground carbon stock of the forest with management plan in the Veneto Region is about 12.9 million Mg C, while this increases to 39.1 million Mg C considering the whole forest surface area. The average carbon sink is 1.2 Mg C ha<sup>-1</sup> yr<sup>-1</sup> for the high forests and 2.6 Mg C ha<sup>-1</sup> yr<sup>-1</sup> for the coppices; the regional sink is 22798 Mg C yr<sup>-1</sup> considering only the forest with management plan and 91588 Mg C yr<sup>-1</sup> taking into account all the forests, which equals 3.3% of the Italian CAP.

### Afforestation, reforestation and deforestation activities

The methodology proposed by different authors (Anfodillo *et al.* 2006b, Corona *et al.* 2007, De Natale *et al.* 2007) was used to assess the 1990 forest surface and to estimate the area subject to ARD activities. The approach was tested in two Comunità Montana (CM): Agordina and Valle del Boite, considered as pilot sites in the alpine area. Land-use change relative to the forest area was assessed by multitemporal classification of 1220 sampling points in the Agordina CM and 184 points in the Valle del Boite CM on orthorectified aerial photos taken in 1991, 2000 and 2003. The forest area and land use changes were assessed.

We then did a specific survey on the points with AR activities to estimate the carbon sink. Considering also the data available from the preliminary research (Pilli 2006) and the forest surface data of the INFC we assessed the total value of the ARD activities in the Veneto Region.

Between 1991 and 2003, the total annual variation rate was 0.095% in the alpine area; the carbon sink of this area was  $0.69 \text{ Mg C ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ . Considering the whole Veneto Region the increase in forested area is  $1235 \text{ ha yr}^{-1}$  with a sink of about  $852.12 \text{ Mg C ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ .



## INDICE

<b>1</b>	<b><i>La stima dello stock e del sink di carbonio nella regione Veneto: obiettivi</i></b>	<b>13</b>
1.1	<b>Introduzione</b>	<b>14</b>
1.2	<b>Le richieste del Protocollo di Kyoto per l'Italia</b>	<b>17</b>
1.3	<b>Le Good Practice Guidance</b>	<b>19</b>
<b>2</b>	<b><i>Bilancio del carbonio in foresta: la gestione forestale</i></b>	<b>22</b>
2.1	<b>La fase di indagine preliminare</b>	<b>22</b>
2.2	<b>La gestione forestale: obiettivi</b>	<b>23</b>
2.3	<b>Approfondimento metodologico</b>	<b>24</b>
2.3.1	Densità basale del legno	24
2.3.2	Materiali e metodi	25
2.3.3	Risultati	28
2.3.4	Discussione e conclusioni	32
2.3.5	Stima della biomassa arborea epigea: relazioni allometriche	33
2.3.6	Materiali e metodi	36
2.3.7	Risultati	36
2.3.8	Discussione e conclusioni	40
2.4	<b>La gestione forestale: materiali e metodi</b>	<b>41</b>
2.4.1	Campionamento stratificato	41
2.4.2	Protocollo di svolgimento dei rilievi	43
2.4.3	Stima della biomassa arborea epigea e dello <i>stock</i> di carbonio	44
2.4.4	Stima degli accrescimenti	45
2.4.5	Piante morte in piedi	47
2.5	<b>Risultati</b>	<b>47</b>
2.5.1	Distribuzione diametrica e curva ipsometrica	48
2.5.2	Analisi della composizione e attribuzione della categoria forestale	49
2.5.3	Stima dello <i>stock</i> di carbonio	50
2.5.4	Stima dell'accrescimento	55
2.5.5	Assorbimento medio di carbonio	56
2.5.6	Piante morte in piedi	57
2.6	<b>Discussione</b>	<b>61</b>
2.6.1	Analisi delle categorie forestali e stima dello <i>stock</i> di carbonio	61
2.6.2	Stima del <i>sink</i> di carbonio	63
2.6.3	Contributo delle piante morte in piedi	64
2.7	<b>Conclusioni: gestione forestale (Art.3.4 PK)</b>	<b>65</b>
<b>3</b>	<b><i>Caso studio: il progetto CarbonPro</i></b>	<b>67</b>
3.1	<b>Introduzione</b>	<b>67</b>
3.2	<b>Analisi preliminare degli obiettivi e definizione delle strategie di lavoro</b>	<b>67</b>
3.3	<b>Selezione delle Target area per la Regione Veneto</b>	<b>68</b>
3.4	<b>Raccolta dati e compilazione dei database</b>	<b>72</b>
3.5	<b>Materiali e metodi</b>	<b>73</b>
3.5.1	Biomassa arborea epigea	73
3.5.2	Rilievi al suolo	73
3.5.3	Rilievi ed analisi specifici: Target area 10	73
3.5.4	Analisi della gestione pregressa	74
3.6	<b>Risultati</b>	<b>75</b>
3.6.1	Distribuzione diametrica	75
3.6.2	<i>Stock</i> e <i>sink</i> di carbonio nelle aree campione	77
3.7	<b>Discussione</b>	<b>86</b>

<b>3.8</b>	<b>Conclusioni</b>	<b>88</b>
<b>4</b>	<b><i>Bilancio del carbonio in foresta: la variazione di superficie boscata e la fissazione di carbonio nei boschi di neoformazione</i></b>	<b>89</b>
<b>4.1</b>	<b>Introduzione</b>	<b>89</b>
<b>4.2</b>	<b>L'articolo 3.3 nel Protocollo di Kyoto</b>	<b>89</b>
<b>4.3</b>	<b>Definizione di bosco</b>	<b>90</b>
<b>4.4</b>	<b>Spazializzazione delle informazioni</b>	<b>91</b>
<b>4.5</b>	<b>Stima delle capacità fissative dei boschi di neoformazione</b>	<b>92</b>
<b>4.6</b>	<b>Scelta dell'area di studio e della metodologia d'indagine</b>	<b>93</b>
<b>4.7</b>	<b>Materiali e metodi</b>	<b>96</b>
4.7.1	La Comunità Montana Agordina	96
4.7.2	La Comunità Montana Valle del Boite	97
4.7.3	Stima della variazione della superficie boscata	97
4.7.4	Dimensionamento del campione	98
4.7.5	Foto aeree e ortofoto	100
4.7.6	Fotointerpretazione	102
4.7.7	Controllo al suolo	104
4.7.8	Elaborazione dei dati	105
4.7.9	Stima del carbonio epigeo fissato	108
<b>4.8</b>	<b>Risultati</b>	<b>109</b>
4.8.1	Georiferimento delle immagini	109
4.8.2	Verifica a terra	110
4.8.3	Campionamento casuale nella Comunità Montana Agordina	111
4.8.4	Variazione della superficie boscata	114
4.8.5	Stima dell'assorbimento di carbonio	115
4.8.6	Campionamento casuale nella Comunità Montana della Valle del Boite	117
4.8.7	Valutazione delle attività ARD per la regione Veneto	117
<b>4.9</b>	<b>Discussione</b>	<b>119</b>
4.9.1	La metodologia utilizzata	119
4.9.2	Variazione della superficie boscata	120
4.9.3	La stima dell'assorbimento di carbonio	122
4.9.4	Proiezione al 2008 – 2012	122
4.9.5	Stima dell'assorbimento di carbonio da ARD per l'intera Regione	123
<b>4.10</b>	<b>Conclusioni: variazione della superficie boscata (Art. 3.3 PK)</b>	<b>124</b>
<b>5</b>	<b><i>Conclusioni: stima complessiva dello stock e del sink di carbonio per le attività LULUCF nella regione Veneto</i></b>	<b>125</b>
<b>6</b>	<b><i>Protocollo di kyoto e Post kyoto: conclusioni</i></b>	<b>128</b>
<b>7</b>	<b><i>Bibliografia</i></b>	<b>130</b>
<b>8</b>	<b><i>Allegati</i></b>	<b>136</b>
<b>8.1</b>	<b>Valori di densità basale delle specie censite</b>	<b>136</b>
<b>8.2</b>	<b>Curve ipsometriche per specie</b>	<b>137</b>
<b>8.3</b>	<b>Distribuzione diametrica delle particelle con più di un rilievo</b>	<b>138</b>
<b>8.4</b>	<b>Carbonio stoccato nelle piante morte in piedi e percentuale rispetto al carbonio totale per ogni particella rilevata</b>	<b>141</b>
<b>8.5</b>	<b>ARD: esempi fotografici</b>	<b>143</b>

## **1 La stima dello *stock* e del *sink* di carbonio nella regione Veneto: obiettivi**

Come conseguenza dell'aumentato interesse nel panorama internazionale riguardo ai cambiamenti climatici in atto e degli impegni assunti dall'Italia con la ratifica del Protocollo di Kyoto per la riduzione delle emissioni di CO<sub>2</sub>, le attività di uso del suolo e la gestione del patrimonio forestale esistente hanno assunto un ruolo di primaria importanza per la loro funzione di mitigazione. Cosciente dell'importanza di approfondire la conoscenza sull'argomento, la regione Veneto ha avviato, nel 2004, un'indagine per la stima del carbonio immagazzinato ed assorbito dalle foreste, promuovendo delle attività di ricerca finalizzate a:

- stimare la variazione di superficie boscata a livello regionale a partire dal 1990,
- stimare l'assorbimento di carbonio da parte dei boschi di neoformazione insidiatesi dopo il 1990,
- stimare lo *stock* e l'assorbimento di carbonio allocato nella componente arborea dei boschi soggetti a gestione forestale.

Al termine della prima fase di studio (Anfodillo et al. 2006c) è emersa la necessità di integrare le informazioni disponibili nel sistema informativo regionale, predisponendo delle osservazioni dirette in foresta, così da verificare la bontà delle stime scaturite dalla fase preliminare e raccogliere alcune informazioni aggiuntive.

La prosecuzione dell'indagine svolta aveva dunque nello specifico gli obiettivi di:

1. integrare i dati disponibili, colmando le lacune emerse relativamente:
  - alla biomassa arborea epigea delle classi diametriche inferiori alla normale soglia di cavallettamento ( $Dbh < 17.5$  cm);
  - alla stima della fitomassa epigea presente sotto forma di piante morte in piedi.
2. Verificare la stima della variazione di superficie boscata, estendendo l'indagine ad altre Comunità Montane ed eseguendo specifici rilievi nei boschi di neoformazione per la stima dell'assorbimento di carbonio;
3. Sviluppare una metodologia di rilievo e raccolta di dati, utile anche ai fini inventariali ed assestamentali.

Tenuto conto di tali obiettivi, la presente tesi propone innanzitutto una introduzione alle politiche di contrasto di contenimento delle emissioni di gas serra con sintesi degli aspetti normativi inerenti la valutazione del ruolo delle foreste nell'ambito degli impegni assunti dal nostro Paese con l'adesione al Protocollo di Kyoto. In particolare, il capitolo 1 presenta una breve panoramica sulle politiche legate alla presa di coscienza dell'effetto umano sui cambiamenti climatici in atto e le principali metodologie di stima dello *stock* di carbonio e del

relativo *sink*, proposte, per il settore forestale, dalle linee guida redatte all'*Intergovernmental Panel on Climate Change*.

Il capitolo 2 tratta temi più specifici riguardo la stima del contributo dell'attività di gestione forestale, tra i quali, in particolare, la predisposizione e la realizzazione di rilievi specifici al fine di effettuare sia la stima dello *stock* di carbonio della biomassa arborea epigea, sia della sua variazione, ovvero del *sink*, per le foreste gestite della regione Veneto; per raggiungere tale scopo viene anche proposto un approfondimento metodologico con un'analisi sulle densità basali delle specie più comuni a livello regionale e conseguentemente sul metodo di stima della biomassa arborea epigea, basato sull'impiego di idonee equazioni allometriche.

Nel capitolo 3 viene analizzato un caso studio realizzato grazie alla partecipazione ad un progetto europeo *Interreg* (CarbonPro) in cui il dipartimento TeSAF è stato partner scientifico della regione Veneto.

Il capitolo 4 presenta l'applicazione, alle Comunità Montane del Boite e Agordina (BL), di una metodologia di stima della variazione di superficie boscata basata sulla fotointerpretazione in ambiente GIS di foto aeree eseguite in momenti diversi, con riferimento, così come richiesto dal Protocollo, al 1990. Successivamente viene anche proposta una metodologia per la stima del carbonio assorbito dai boschi di neoformazione identificati tramite la fotointerpretazione.

Il capitolo 5, riprendendo le analisi proposte nei precedenti capitoli, propone la stima dello *stock* e delle capacità fissative complessive delle foreste del Veneto e si conclude con una sintesi dei principali risultati ottenuti.

Infine il capitolo 6 propone una riflessione conclusiva sugli obiettivi raggiunti dal Protocollo di Kyoto e quelli che potrebbero essere gli scenari futuri di cui ormai la comunità internazionale sta disquisendo.

## **1.1 Introduzione**

Come noto, la concentrazione di CO<sub>2</sub> presente in atmosfera è passata da circa 280 ppm dell'era pre-industriale fino alle 379 ppm del 2005. Il tasso di crescita annuo della concentrazione di CO<sub>2</sub> è stato maggiore negli ultimi 10 anni (1.9 ppm anno<sup>-1</sup> nel periodo 1995-2005) rispetto a quanto sia mai stato da quando vi è un monitoraggio continuo della concentrazione atmosferica (1.4 ppm anno<sup>-1</sup> nel periodo 1960-2005) (IPCC 2007, Solomon et al. 2007); l'analisi di carote di ghiaccio dell'Antartide ha inoltre permesso di appurare che negli ultimi 400.000 anni la concentrazione di CO<sub>2</sub> non è mai stata così elevata. Tale aumento è dovuto principalmente all'uso dei combustibili fossili (27.73 GtCO<sub>2</sub>-eq anno<sup>-1</sup> nel 2004) e ai cambiamenti dell'uso del suolo (8.48 GtCO<sub>2</sub>-eq anno<sup>-1</sup> nel 2004), che contribuiscono circa per il

20-25% delle emissioni annuali complessive di anidride carbonica (Schlamadinger et al. 2005, IPCC 2007). Questi dati creano preoccupazione poiché si ipotizza un aumento del fenomeno di assorbimento delle radiazioni emesse dalla terra (effetto iperserra) che potrebbe portare ad un surriscaldamento del pianeta (*global warming*); tra il 1956 e il 2005 la temperatura è aumentata in media di 0.13°C per decade, quasi il doppio rispetto al valore medio registrato tra il 1906 e il 2005 (IPCC 2007).

La responsabilità delle attività umane nel determinare i cambiamenti climatici in atto fu riconosciuta ufficialmente con la Prima Conferenza Mondiale sul Clima, tenutasi a Ginevra nel 1979, in cui si fece appello ai governi del mondo per “prevedere e prevenire potenziali cambiamenti del clima ad opera dell’uomo, che possano contrastare con il benessere dell’umanità”.

Nel 1987 con il Protocollo di Montreal sulle sostanze che impoveriscono lo strato di ozono, si sancì il principio delle “responsabilità comuni ma differenziate”, secondo cui i vari Stati condividono i doveri derivanti dall’emissione di sostanze inquinanti, ma gli impegni sono differenziati a seconda della effettiva produzione di tali sostanze, delle possibilità e delle risorse di ciascun Paese.

L’anno seguente, l’Organizzazione Mondiale per la Meteorologia (WMO, *World Meteorological Organisation*) e il Programma delle Nazioni Unite per l’Ambiente (UNEP, *United Nations Environment Program*), costituirono l’*Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC), con le funzioni di (i) valutare in modo completo, oggettivo e trasparente le conoscenze scientifiche, tecniche e socio-economiche importanti per comprendere i rischi connessi al cambiamento climatico indotto dall’uomo, (ii) i suoi potenziali impatti e (iii) le possibilità di mitigazione e adattamento (IPCC 2004).

Nel 1990 a Ginevra, durante la Seconda Conferenza Generale sul Clima, venne presentato il primo rapporto dell’IPCC e il cambiamento climatico fu riconosciuto come “problema comune dell’umanità” (IPCC 1990).

Nel 1992, a Rio de Janeiro, la Conferenza delle Nazioni Unite sull’Ambiente e lo Sviluppo, (UNCED, *United Nations Conference on Environment and Development*) ripropose il problema all’attenzione mondiale. Nello stesso anno, a New York, venne stipulato il primo Trattato internazionale riferito in modo specifico ai cambiamenti climatici, la Convenzione Quadro sui Cambiamenti Climatici delle Nazioni Unite (UNFCCC, *United Nations Framework Convention on Climate Change*). Essa sancisce l’importanza degli interventi governativi sul tema del cambiamento climatico, ponendo l’obiettivo primario di “stabilizzare le concentrazioni

di gas a effetto serra (GHG, *green house gasses*) in atmosfera, ad un livello tale da prevenire interferenze pericolose delle attività antropiche con il clima” (art. 2 UNFCCC).

La UNFCCC è entrata in vigore nel 1994, impegnando formalmente i paesi firmatari, riportati nell’Allegato I della Convenzione stessa (di seguito chiamato semplicemente, Allegato I), a sviluppare obiettivi di riduzione delle emissioni. L’organo di cui la UNFCCC si avvale per promuovere e verificare l’applicazione della Convenzione e per adottare nuovi impegni è la Conferenza delle Parti (COP, *Conference of the Parties*), formata da rappresentanti di tutti i paesi firmatari, che si riunisce annualmente.

Il Protocollo di Kyoto (PK) rappresenta il provvedimento più significativo in questo quadro. È stato adottato dalla COP-3 a Kyoto nel 1997, e impegna i Paesi ratificanti a ridurre, entro determinati periodi di impegno quinquennali (*Commitment Periods*) le emissioni di sei gas-serra<sup>1</sup>, rispetto a un anno comune di riferimento<sup>2</sup>. A partire dal 1997 è iniziato dunque un lungo e complesso processo di determinazione di regole internazionali legalmente vincolanti per attuare e verificare le politiche di riduzione delle emissioni di gas-serra (Pettenella and Zanchi 2006). Con la ratifica da parte della Russia, nell’ottobre 2004, è stato raggiunto il *quorum* di Paesi, rappresentanti almeno il 55% delle emissioni di biossido di carbonio dei Paesi dell’Allegato I, necessario all’entrata in vigore del Trattato, che è diventato operativamente attivo dal febbraio 2005.

Il PK impegna i Paesi firmatari a ridurre il livello di emissioni globali di gas-serra almeno del 5% rispetto al 1990, nel Primo Periodo di Impegno (*First Commitment Period*), fissato per gli anni 2008-2012 (art. 1 PK). Come a Montreal nel 1987, anche a Kyoto è stato ribadito il principio delle responsabilità differenziate: così, ad esempio, l’Unione Europea ha assunto complessivamente un obiettivo di riduzione dell’8%, ulteriormente differenziato tra gli Stati membri, secondo il *Burden Sharing Agreement* del 1998. L’Italia, secondo questo accordo, ha un impegno di riduzione delle emissioni del 6.5% rispetto al 1990.

Accanto alle misure di contenimento e riduzione delle emissioni di gas-serra, il PK prevede anche una serie di misure nel settore agricolo e forestale, importante per il ruolo che riveste nella fissazione del carbonio, come parziale bilanciamento dell’effetto delle emissioni. Il potenziale di assorbimento del carbonio attraverso la gestione delle risorse vegetali è stato infatti stimato pari al 7-15% delle emissioni medie di combustibili fossili per il periodo 2000-2050 (IPCC 1996, 2000b, a, Pettenella and Zanchi 2006). Le misure in campo agricolo e forestale

---

<sup>1</sup> I gas a effetto serra sono: biossido di carbonio (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>), protossido di azoto (N<sub>2</sub>O), idrofluorocarburi (HFC), perfluorocarburi (PFC) ed esafluorocarburi (SF<sub>6</sub>) (Allegato A del PK).

Le emissioni aggregate dei gas a effetto serra sono espresse in equivalente-biossido di carbonio (art. 3 del PK).

<sup>2</sup> L’anno di riferimento è il 1990, ma per quanto riguarda gli ultimi tre gas, gli Stati hanno la possibilità di scegliere come riferimento il 1990 o il 1995 (art 3.8 del PK).

previste dal PK sono contenute nell'articolo 3 (artt. 3.3 e 3.4 PK), e sono state denominate attività di “uso del suolo, cambio d'uso del suolo e forestali” o LULUCF (*Land use, Land-use Change and Forestry*), oggi AFOLU (*Agriculture, Forestry and Other Land Use*, IPCC, 2006).

Le emissioni e gli assorbimenti risultanti dai cambiamenti nelle forme d'uso del suolo e dalle attività forestali potranno essere quindi incluse, secondo alcune regole di contabilizzazione, nei bilanci nazionali di gas-serra, con la funzione di compensare una parte delle emissioni prodotte dall'utilizzo dei combustibili fossili (in genere per i paesi dell'Annesso I il bilancio delle attività di uso del suolo è positivo per quanto riguarda l'assorbimento di carbonio). L'articolo 3.3 fa riferimento alle attività di afforestazione (*afforestation A*), riforestazione (*reforestation R*) e deforestazione (*deforestation D*) realizzate dopo il 1990, mentre l'articolo 3.4 fa riferimento ad *attività addizionali* nella gestione di terreni agricoli e forestali, definite in seguito dagli accordi di Bonn (COP-6 bis, 2001), e che comprendono la gestione forestale (*forest management FM*) e la rivegetazione (*revegetation RV*) (Zanchi 2006).

## **1.2 Le richieste del Protocollo di Kyoto per l'Italia**

L'articolo 2 del PK prevede, tra le misure possibili per adempiere agli impegni assunti, la protezione e lo sviluppo delle foreste, in quanto fondamentali riserve naturali di carbonio. L'art. 3.3 stabilisce che per il conseguimento degli obiettivi i paesi dell'Allegato I debbano obbligatoriamente contabilizzare i bilanci tra assorbimento ed emissioni di carbonio derivanti dalle attività forestali e di cambiamento d'uso del suolo (*Land Use, Land Use Change and Forestry*, LULUCF), legate in particolare a processi di rimboschimento occorsi a partire dal 1990 (*baseline*) su terreni già in precedenza boscati (*Reforestation, R*) e non (*Afforestation, A*), al netto delle emissioni legate ai processi di *Deforestation (D)* (Ciccarese and Pettenella 2005).

In base a quanto stabilito dagli accordi di Bonn (COP-6 bis, 2001), è possibile includere nel bilancio anche una o più delle seguenti attività addizionali (art. 3.4, PK):

- la gestione forestale (*forest management, FM*),
- la rivegetazione (*revegetation, RV*),
- la gestione dei suoli agrari (*cropland management*),
- la gestione dei prati e dei pascoli (*grazing land management*)

A differenza dalle attività di *afforestation* e *reforestation* (e dagli assorbimenti legati ai processi di *revegetation*), i cui crediti possono essere contabilizzati per intero, quelli generati attraverso il FM possono essere conteggiati *in toto* solo per compensare i debiti eventualmente derivanti dalle attività ARD, mentre, per evitare che il ricorso a tale misura porti ad eludere i reali impegni di riduzione assunti con il Protocollo, i crediti residui 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 Bonn del 2001 inoltre, considerando le sole foreste soggette a “Piano di Gestione”, era stato fissato per il nostro Paese un limite di crediti potenzialmente raggiungibili con il FM pari a 0.18 milioni Mg C anno<sup>-1</sup>, corrispondenti a 0.67 milioni Mg CO<sub>2</sub> anno<sup>-1</sup> (Ciccarese and Pettenella 2002). Tale dato, senza dubbio sottostimato è stato rinegoziato durante la COP di Nairobi (*Decision 8/CMP.2 in FCCC/KP/CMP/2006/10/Add.1*) e portato a 2.78 milioni Mg C anno<sup>-1</sup> (pari a 10.2 milioni Mg CO<sub>2</sub> anno<sup>-1</sup>).

La scelta riguardo alle attività addizionali è stata presa da ogni paese dell’allegato I alla fine del 2006; il governo italiano ha eletto come azione additiva il *Forest Management*, escludendo invece le azioni di *Rivegetation*, *Cropland Management* e *Grazing Land Management* anche per problematiche legate alla reperibilità dei dati ed al tipo di contabilizzazione previsto dalle linee guida dell’IPCC (“*Good Practice Guidance for Land Land Use, Land-Use change and Forestry*”, di seguito indicate come GPG, (IPCC 2003)).

L’Italia, ratificando il Protocollo con Legge 1 giugno 2002, n° 120, si è impegnata a conseguire, nel corso del primo periodo di impegno 2008-2012, una riduzione del 6.5% delle emissioni rispetto al 1990. Poiché tuttavia, tra il 1990 e il 2003, si è registrato un aumento delle emissioni complessive pari a circa il 13%, il reale obiettivo che si dovrà affrontare risulterà più impegnativo (Ciccarese et al. 2006). Il 25 maggio 2005, la Commissione Europea ha approvato il Piano Nazionale di riduzione delle emissioni di gas serra (Delibera CIPE 123/2002), nel quale un ruolo importante nel raggiungimento degli impegni presi in sede internazionale, è rivestito dal settore forestale: con la revisione di tale delibera a seguito della rinegoziazione del *cap* italiano per la gestione forestale (COP 12, Nairobi 2006) l’Italia prevede di realizzare attraverso il settore forestale e agricolo un assorbimento di 16.2 Mt CO<sub>2</sub> anno<sup>-1</sup> corrispondente al 15% dell’impegno totale di riduzione (Lumicisi et al. 2007a, Pettenella and Ciccarese 2007). In tale contesto è fondamentale poter disporre di una stima degli effetti fissativi dovuti al *FM*, unica attività addizionale eletta dal nostro Paese, nonché alle attività di *afforestation* e *reforestation*, al netto della *deforestation* (*ARD*), la cui valutazione è obbligatoria ai sensi dell’art. 3.3 del Trattato.

Con il Decreto Ministeriale del 1 Aprile 2008 il Ministero dell’ ambiente e della tutela del territorio e del mare (MATTM) ha istituito, in attuazione della Delibera CIPE, il “Registro nazionale dei serbatoi di carbonio agroforestali” (Decreto 1/4/2008) definendo il ministero stesso responsabile della sua realizzazione, tenuta, gestione, nonché delle attività di archiviazione ed implementazione delle sue banche dati; l’Amministrazione centrale provvederà

dunque, almeno per il primo periodo di impegno del PK, a gestire completamente l'implementazione delle attività previste all'interno degli art. 3.3 e 3.4 del Protocollo di Kyoto, escludendo il coinvolgimento delle Regioni nella gestione del suddetto registro (Lumicisi et al. 2007a). I dati reperiti a livello nazionale verranno integrati con stime svolte a livello locale, laddove queste siano presenti e conformi a quanto richiesto dal Protocollo stesso.

A tale proposito sono in corso degli studi, sulla stima delle superfici forestali in Italia (ISAF 1998), sulla variazione della superficie boscata in diverse regioni (Corona et al. 2005, Salvadori 2005, Pilli et al. 2006b, Salvadori et al. 2006), sui boschi di neo-formazione (De Natale et al. 2007), sugli *stock* e sulle capacità fissative delle foreste gestite (Pilli and Anfodillo 2006, Anfodillo et al. 2007).

### **1.3 Le Good Practice Guidance**

Durante la Conferenza di Marrakesh del 2001 l'*Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) è stato invitato ad (i) elaborare metodi di stima, misurazione e registrazione dei cambiamenti nello stock di carbonio ed emissioni di gas ad effetto serra, (ii) predisporre una metodologia per la misurazione, stima, ecc. dei cambiamenti dello *stock* di carbonio e (iii) registrare i casi di degradazione delle foreste indotta dall'uomo e di deforestazione.

Tali obiettivi sono stati raggiunti con la stesura, ultimata nel 2003, di un documento che prende in considerazione, oltre alle aree forestali (*Forest Lands*) anche le seguenti categorie d'uso del suolo:

- *croplands*: coltivi e sistemi agro forestali
- *grasslands*: prati e pascoli, altre aree non rientranti nelle precedenti categorie
- *wetlands*: aree ricoperte, anche saltuariamente, dall'acqua
- *settlements*: infrastrutture ed insediamenti di varia natura
- *other lands*: altre superfici

L'adozione di definizioni e criteri chiari a livello nazionale è essenziale per il corretto conteggio e monitoraggio delle attività LULUCF (AFOLU); ad attività differenti corrispondono infatti regole differenti, poiché nel caso in cui si adottasse per le diverse attività la stessa metodologia di contabilizzazione, si verificherebbe una forte sproporzione tra la quantità di crediti generabili. Per questo è stato deciso di usare, per il primo periodo di impegno, l'approccio definito *net-net accounting* per la rivegetazione, la gestione dei suoli agrari, la gestione dei prati e dei pascoli e di ricorrere al metodo del *gross-net accounting* per la gestione forestale e per le attività relative all'art. 3.3 (Decisione 11/CP.7 in FCCC/CP/2001/13/Add.1).

a. *il gross-net accounting* considera unicamente i cambiamenti nello *stock* di carbonio risultanti dalla differenza tra emissioni ed assorbimenti occorsi durante il periodo di impegno, senza alcuna comparazione con l'anno di riferimento (1990); vi sarà quindi un debito qualora le emissioni superassero gli assorbimenti durante il periodo di impegno e viceversa verranno generati crediti se le attività LULUCF (AFOLU) portassero ad un assorbimento netto durante lo stesso periodo. Questo sistema di conteggio permette di generare crediti di carbonio anche se gli assorbimenti di un'attività fossero in diminuzione nel tempo e di avere debiti anche se le emissioni si stessero riducendo nel tempo. Come ricordato, per le attività di gestione forestale, almeno per il periodo 2008-2012, si è deciso di adottare il *gross-net accounting* poiché il *net-net accounting* è ritenuto svantaggioso per i paesi in cui le foreste siano prossime allo stato di massima estensione e di *stock* ottimale, quando cioè la capacità di assorbimento di carbonio è destinata a culminare nel breve periodo e con essa anche i crediti di carbonio. Si pone però il problema che una parte considerevole dei crediti misurati come variazione degli *stock*, che possono quindi essere utilizzabili nei bilanci nazionali, derivano non solo dagli interventi intenzionali, ma anche dagli effetti indiretti e naturali, quali le conseguenze stesse dei cambiamenti climatici, con l'aumento della concentrazione di CO<sub>2</sub> nell'atmosfera e le deposizioni azotate. Inoltre la variazione delle riserve è in parte collegata agli interventi diretti dell'uomo effettuati prima del 1990 e come tali da escludere; è per questo che, in sede di discussione nelle COP, si è posto un tetto massimo di utilizzo dei crediti provenienti dalla gestione forestale.

Per le attività definite nell'art. 3.3 non si tiene invece conto degli effetti naturali ed indiretti, ma è richiesto un confronto con le emissioni collegate alle medesime attività, attraverso il monitoraggio e la rendicontazione dei processi di deforestazione sul territorio nazionale.

b. il *net-net accounting* compara invece emissioni ed assorbimenti di una certa attività durante il periodo di impegno con le emissioni e gli assorbimenti di quella stessa attività durante l'anno di riferimento; viene generato un credito quando vi è un assorbimento netto di carbonio misurato comparando i due diversi periodi.

I paesi dell'*Annex I* dell'UNFCCC devono sottomettere inventari annuali di emissioni ed assorbimenti di GHG, che vengono poi revisionati annualmente; tali inventari sono prodotti in forma standardizzata, sviluppata dalle COP e devono riportare emissioni ed assorbimenti di 6 settori, incluso il cambiamento di uso del suolo. Gli standard di *reporting* per il settore dei cambiamenti d'uso del suolo si basano sulle metodologie sviluppate dalle GPG dell'IPCC per il settore LULUCF. Rispetto al *reporting* per l'UNFCCC vi sono alcune informazioni aggiuntive

che le nazioni che hanno sottoscritto il PK dovranno fornire, in parte prima ed in parte durante il primo periodo d'impegno (4.2.4.3, IPCC GPG per LULUCF).

Entro la fine del 2006 tutti le nazioni dell'*Annex I* hanno fornito informazioni riguardo la scelta della definizione di foresta che adotteranno per il *reporting*, la lista delle attività dell'articolo 3.4 che hanno eletto a livello nazionale ed informazioni sul sistema di monitoraggio che verrà applicato alle attività elette. Durante il primo periodo di impegno invece dovranno essere fornite informazioni spaziali supplementari sulle porzioni di terreno soggette agli articoli 3.3 e 3.4 ed informazioni sui metodi e gli approcci utilizzati per stimare emissioni ed assorbimenti; altre informazioni aggiuntive riguarderanno il vincolo per le attività dell'art. 3.3 e 3.4 di essere indotte dall'uomo, essere state intraprese dopo il 31 Dicembre 1989 ed essere chiaramente distinte tra art. 3.3 e 3.4 per evitare conteggi doppi (IPCC 2003).

Le *Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry* (GPG) e le *Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories* (IPCC 2003, 2006) forniscono metodi coerenti per la stima ed il resoconto di emissioni ed assorbimenti dei gas serra dalle attività LULUCF.

## **2 Bilancio del carbonio in foresta: la gestione forestale**

Il Protocollo di Kyoto consente all'Italia di avvalersi delle attività legate al *Forest Management* (art. 3.4 PK) come misura complementare per il raggiungimento degli obiettivi fissati in sede internazionale (Ciccarese et al. 2003); l'Italia, come delineato dalla delibera CIPE (CIPE 2002) e riconfermato negli anni successivi (Tedeschi and Lumicisi 2006, Lumicisi 2007, Lumicisi et al. 2007b) sembra intenzionata a considerare “gestite” tutte le aree boscate non soggette a processi di cambio d'uso del suolo (ARD).

Qualunque siano le decisioni nazionali è comunque opportuno sottolineare come lo strumento principale per una corretta gestione forestale sia rappresentato dal Piano di Assestamento, o altre forme di pianificazione presenti a livello locale (come i Piani di Riordino Forestale), in grado di offrire una pianificazione nel tempo e nello spazio delle attività selvicolturali più idonee a garantire il mantenimento della multifunzionalità del bosco nel tempo.

### **2.1 La fase di indagine preliminare**

Questo progetto di dottorato è il proseguimento di una fase di indagine preliminare che ha portato allo sviluppo di equazioni allometriche per la stima della biomassa arborea epigea di applicazione generale e all'organizzazione del materiale riguardante i piani di assestamento presenti nella regione Veneto, secondo la metodologia brevemente illustrata di seguito (Anfodillo et al. 2006c).

La base informativa utilizzata nel corso della fase preliminare è costituita dal *database* regionale “Gestione piani di Assestamento” (GPA), fornito dalla Direzione Regionale Foreste ed Economia Montana del Veneto. Tale *database* fornisce le informazioni riguardanti 143 Piani di Assestamento per un totale di 5057 particelle gestite a fustaia e 770 a ceduo, che rappresentano, nel complesso, il 35% circa della superficie forestale regionale. La banca dati riporta, oltre ad informazioni di tipo amministrativo, tutti i dati presenti nei Piani tra cui soprattutto la funzione prevalente attribuita alla particella, la struttura del soprassuolo, il tipo di rilievo eseguito (cavallettamento totale, rilievo relascopico, stima per le fustaie; stima per i cedui) e l'anno di esecuzione dei rilievi.

Elemento essenziale per la stima dello *stock* presente nelle aree soggette a gestione forestale è la conoscenza della distribuzione diametrica specifica di ciascun popolamento arboreo e del grado di precisione associabile alla stessa. Il dato è disponibile nel *database* soltanto per le particelle governate a fustaia ove siano stati effettuati dei rilievi relascopici o un cavallettamento totale (c.a 50000 ha di superficie boscata). Per le restanti fustaie, così come per i cedui e per le proprietà forestali non assestate, la seriazione diametrica è stata desunta

attraverso metodologie statistiche, integrando le informazioni assestamentali ed inventariali esistenti. Mancano inoltre dati relativi alle classi diametriche inferiori a 17.5 cm (attuale soglia di cavallettamento adottata a livello assestamentale), così come per lo strato arbustivo.

Per disporre delle stesse informazioni di base per ogni particella sono stati individuati dei parametri comuni (misurati o stimati) e sono state eseguite le seguenti elaborazioni:

1. Classificazione in categorie forestali (CF) di tutte le particelle.
2. Suddivisione in funzione della distribuzione diametrica per le fustaie su cui erano stati eseguiti rilievi relascopici e cavallettamenti totali.
3. Attribuzione di una distribuzione diametrica media a ciascuna particella stimata in base ai parametri disponibili.
4. Verifica dell'entità dell'errore attribuibile al rilievo relascopico nella ricostruzione della seriazione diametrica, mediante un modello di simulazione spaziale.

Per i cedui il reperimento di specifiche informazioni bibliografiche, desunte dai Piani di Assestamento, ha permesso una parziale ricostruzione della seriazione diametrica relativa solo alle particelle afferenti alla categoria delle faggete.

Le informazioni disponibili, riferite ad un arco temporale di c.a 10 – 12 anni, sono state attribuite ad uno stesso anno di riferimento (2000) attraverso specifici algoritmi la cui applicazione ha comportato l'introduzione di un ulteriore elemento di incertezza; l'attualizzazione delle serie diametriche è stata proposta per le particelle già oggetto di cavallettamento o rilievo relascopico mentre non era applicabile sull'intero *database* disponibile mancando una verifica basata su rilievi specifici (per il dettaglio delle elaborazioni rimandiamo ad Anfodillo et al, 2006c e Pilli, 2006).

## **2.2 La gestione forestale: obiettivi**

Questo capitolo approfondisce dunque le possibilità offerte dal Protocollo di Kyoto al settore forestale tramite l'applicazione dell'Art. 3.4, riguardante, per quanto concerne l'Italia, la gestione forestale.

In particolare ci si propone di:

1. stimare il contributo delle classi diametriche inferiori alla normale soglia di cavallettamento di 17.5 cm in termini di biomassa epigea e di carbonio, nelle fustaie e nei cedui sottoposti a gestione;

2. verificare la presenza di piante morte in piedi, usualmente non misurate nel corso dei rilievi ordinari per la redazione dei piani di assestamento e stimarne il contributo in termini di fitomassa e di carbonio stoccato;
3. confrontare le stime ottenute con le elaborazioni svolte nel corso della prima fase.

Per raggiungere tali scopi sono stati eseguiti una serie di rilievi mirati sul campo, mediante aree di saggio collocate entro le zone omogenee già individuate attraverso la stratificazione del territorio forestale. I parametri dendro-auxometrici da rilevare nelle singole aree, così come l'intensità di campionamento, sono stati fissati sulla base delle informazioni desunte dallo studio preliminare.

Nel successivo paragrafo proponiamo inoltre un approfondimento metodologico riguardante la stima della densità basale per le specie più comuni nell'area oggetto di indagine. Attraverso i dati di densità basale ottenuti successivamente è stata (i) approfondita l'analisi del coefficiente  $a$  dell'equazione per la stima della biomassa arborea epigea ( $M=aDbh^b$ ) utilizzando i dati riferiti alle piante vive ed integre (paragrafo 2.3.5), (ii) eseguita una stima più precisa della massa epigea delle piante morte rilevate (paragrafo 2.4.5).

## **2.3 Approfondimento metodologico**

### **2.3.1 Densità basale del legno**

La densità è un'importante caratteristica fisica del legno, soprattutto nella caratterizzazione tecnologica e commerciale essendo un eccellente indicatore della quantità reale di legno presente in un determinato campione, nonché della sua lavorabilità (Nogueira et al. 2005). La densità è correlata con altre proprietà del legno, quali la resistenza, la porosità, l'organizzazione il numero e la misura delle componenti anatomiche e chimiche delle cellule (Kollmann and Cote 1968, Simpson and Ten Wolde 1999, Ilic et al. 2000).

Vi sono numerose metodologie per la stima della densità, tra cui ricordiamo la densità apparente (rapporto tra peso e volume ad un determinato contenuto idrico), la densità allo stato fresco (rapporto tra peso e volume allo stato fresco), allo stato secco (rapporto peso/volume secchi) e la densità basale (rapporto tra peso secco e volume allo stato fresco); in questo studio è stata utilizzata la densità basale, essendo ritenuta la più idonea per le stime della biomassa arborea (Brown 1997, Nogueira et al. 2005).

Utilizzando ed elaborando in una prima fase un *dataset* fornito dal CRA-ISAFSA verranno esaminate le densità basali di diverse specie analizzando in particolare la differenza di densità basale presente in diverse fasi di sviluppo, identificate tramite lo studio delle curve ipsometriche (Pilli et al. 2006a) e le differenze di densità presenti tra rami e fusto.

Saranno poi elaborati anche i dati di densità basale provenienti dalla raccolta di carotine effettuata nell'ambito dei rilievi svolti nelle particelle gestite della regione Veneto nel 2006 e successivamente analizzate in laboratorio. Tali valori specifici delle piante campione verranno analizzati per verificare la presenza di correlazioni con il sito di provenienza delle piante campionate, nonché per approfondire le informazioni disponibili sulla densità delle piante morte in piedi in due differenti classi di decadimento.

### 2.3.2 Materiali e metodi

#### Dataset fornito dal CRA- ISAFA

Il *dataset*, fornito dall'Istituto Sperimentale per l'Assestamento Forestale e per l'Apicoltura (CRA-ISAFA), costituito nell'ambito del progetto EFOMI di valutazione ecologica di cenosi forestali sottoposte a monitoraggio integrato (Fattorini et al. 2005) è una raccolta di dati grezzi comprendente 343 piante selezionate in provincia di Trento per le quali sono disponibili il peso secco ripartito nelle varie componenti della pianta, la densità basale del fusto e la densità basale dei rami (Tabella 1).

**Tabella 1: numero di piante campione misurate per ogni specie e classe diametrica**

	Classi diametriche (cm)					Total
	DBH<12.5	12.5≤DBH<22.5	22.5≤DBH<32.5	32.5≤DBH<42.5	DBH≥42.5	
<i>Picea abies</i>	11	16	16	15	24	<b>82</b>
<i>Abies alba</i>	8	13	3	7	9	<b>40</b>
<i>Larix decidua</i>	4	12	6	5	6	<b>33</b>
<i>Pinus sylvestris</i>	6	13	5	6	-	<b>30</b>
<i>Pinus nigra</i>	5	11	11	3	-	<b>30</b>
<i>Pinus cembra</i>	4	9	6	3	8	<b>30</b>
<i>Fagus sylvatica</i>	4	10	8	4	4	<b>30</b>
<i>Ostrya carpinifolia</i>	1	5	3	-	-	<b>9</b>
<i>Quercus ilex</i>	9	6	-	-	-	<b>15</b>
<i>Quercus pubescens</i>	4	2	-	-	-	<b>6</b>
<i>Fraxinus sp.</i>	8	2	-	-	-	<b>10</b>
<i>Castanea sativa</i>	3	7	1	2	-	<b>13</b>
<i>Acer sp.</i>	3	-	-	-	-	<b>3</b>
<i>Salix sp.</i>	2	4	-	-	-	<b>6</b>
<i>Other hardwoods</i>	5	-	1	-	-	<b>6</b>
<b>Total</b>	<b>77</b>	<b>110</b>	<b>60</b>	<b>45</b>	<b>51</b>	<b>343</b>

I dati grezzi provenienti da tale *dataset* sono stati utilizzati per approfondire le analisi riguardanti la densità basale media del legno del fusto e dei rami delle differenti specie.

E' stata quindi analizzata la distribuzione della densità basale sia del fusto sia dei rami di ogni specie o gruppo di specie e sono stati opportunamente esclusi gli *outliers*, intesi come valori aventi una distanza maggiore di tre volte la distanza interquantile dalla mediana (SAS 1990).

Mediante l'analisi dell'incremento in altezza sono state suddivise le piante campione in tre distinte fasi ontogenetiche, secondo la procedura adottata nella fase preliminare di indagine (Anfodillo et al. 2006c, Pilli 2006, Pilli et al. 2006a) ed è stato poi verificato, attraverso il test delle mediane (*Wilcoxon, Mann, Withney* – Procedura *SAS/STAT NPARIWAY*), se ci fossero differenze significative nei valori di densità basale medi per specie nelle tre fasi di sviluppo. Utilizzando lo stesso test è stata poi verificata la significatività delle differenze di densità basale medie per specie tra fusto e rami (intesi come branchie con diametro > 5 cm, ma non considerate fusto).

Per le specie in cui è stata riscontrata una differenza significativa tra valori di biomassa basale di fusto e rami è stato calcolato il contributo in termini percentuali delle componenti fusto e rami nelle tre fasi di sviluppo precedentemente identificate; in questo modo abbiamo ottenuto un valore di densità media tra rami e fusto, ponderata con lo sviluppo degli stessi nelle tre fasi ontogenetiche.

### **Rilievi regione Veneto: protocollo di lavoro**

Su 56 particelle appartenenti al *dataset* "Gestione Piani di Assestamento" della Regione Veneto, sono stati eseguiti una serie di rilievi dendro-auxometrici differenziati per fustaie e cedui:

#### Fustaie

- esecuzione di 30 e 20 rilievi relascopici, rispettivamente per le particelle con superficie maggiore e minore di 30 ha,
- misurazione dell'altezza e prelievo di carotine di legno tramite succhiello di Pressler di tre piante scelte casualmente, distribuendo le misurazioni nelle diverse classi diametriche di 5 cm,
- attribuzione di un codice identificativo della classe di appartenenza delle piante campione:
  - 1 alberi vivi ed integri
  - 2 alberi morti con la presenza di più di 1/3 della chioma
  - 3 alberi morti e spezzati (*Snag*)

- conteggio degli individui morti in piedi,

### Cedui

- esecuzione di un rilievo relascopico ogni 1.5-2 ha,
- prelievo di carotine di legno tramite succhiello di Pressler e rilevamento dell'altezza in metà dei punti di campionamento, sugli ultimi due soggetti contati nella prova relascopica.

Illustriamo di seguito le analisi di laboratorio e le successive elaborazioni svolte sui dati provenienti dalla carotine di legno prelevate, mentre nei paragrafi successivi verranno approfondite le analisi riguardo i rilievi effettuati.

### Analisi di laboratorio

Il campione è stato innanzitutto portato in laboratorio ed estratto con cautela dal contenitore per poi procedere con la misura prima degli accrescimenti dell'ultimo centimetro e poi al conteggio degli anelli di tutta la carotina.

Per quanto riguarda la misura di conteggio degli anelli, sono stati scartati i campioni illeggibili o prelevati in maniera errata. La misura degli accrescimenti dell'ultimo tratto è stata sempre eseguita.

Terminata la prima serie di misurazioni il campione è stato poi portato nel laboratorio chimico per procedere alla misurazione della densità basale tramite le seguenti operazioni:

- 1) Inserire la carotina in un beaker dimensionato alla misura del campione contenente circa 100cc di acqua distillata.
- 2) Posizionare il beaker sopra il becco Bunsen ponendo come rompifiamma la rete di supporto in ceramica, accendere e portare ad ebollizione, regolare e mantenere l'ebollizione costante per 10 – 15 minuti o fino a quando il campione affonda rimanendo sul fondo.
- 3) Dopo averlo raffreddato togliere il campione dal beaker di ebollizione, appoggiarlo su carta assorbente per togliere l'eccesso d'acqua superficiale, poi inserirlo nel matraccio tarato.
- 4) Il campione andrà sul fondo e lo spostamento d'acqua conseguente sarà il volume reale del campione che potrà essere determinato direttamente, riportando alla tacca il volume d'acqua mediante aspirazione della stessa con pipetta di precisione ( $V_{fr}$ )  $\text{cm}^3$ .
- 5) Togliere con la pinzetta il campione dal beaker di misura ed inserirlo nel pesafiltro numerato e preventivamente tarato.
- 6) Mettere il pesafiltro con il campione in stufa ventilata a 102-103 °C per 24 ore.
- 7) Dopo 24 ore togliere dalla stufa il pesafiltro con il campione, raffreddare per ½ ora in essiccatore e pesare alla bilancia di precisione se necessario ripetere la pesata dopo altre 24 ore.

8) Questo peso meno la tara pesafiltro ci da il peso secco ( $P_0$ ) a 103°C del campione.

#### Determinazione della densità basale:

Il peso del campione secco in stufa ( $P_0$ ), diviso per il volume fresco del campione ( $V_{fr}$ ) fornisce il valore di densità basale ( $DB$ ).

$$DB = \frac{P_0}{V_{fr}} \quad (1)$$

I dati di densità basale ottenuti dalle analisi di laboratorio sono stati utilizzati poi per avere un valore medio di densità basale per specie e per classe (1, 2 o 3).

Attraverso la procedura statistica *GLM* del pacchetto software *SAS/STAT* è stato possibile verificare se vi fossero correlazioni positive tra le densità basali rilevate e il sito di provenienza dei campioni, l'età, nonché lo stadio di sviluppo delle piante campionate.

E' stato infine effettuato un test non parametrico utile per controllare se i gruppi di osservazioni indipendenti (campioni ricadenti nelle classi di decadimento) provengano dalla stessa popolazione e per verificare la significatività della differenza nella tendenza centrale; tenendo conto del fatto che le misure, rilevate su una scala continua, potevano essere disposte per ranghi e, trattandosi di gruppi con diverso numero di osservazioni, è stato scelto il test di *Kruskal-Wallis*, utilizzando la procedura *NPAR1WAY* (SAS 1990). In particolare si è ricorso all'impiego di un test non parametrico vista la non normalità delle distribuzioni.

### 2.3.3 Risultati

#### Elaborazioni dataset CRA-ISAF A

La distribuzione dei dati di densità basale di fusto e rami risulta non normale suddividendo il *dataset* nelle tre fasi di sviluppo identificate tramite l'analisi dell'incremento in altezza. La numerosità dei campioni non ha permesso di verificare per tutte le specie se vi fossero differenze nei valori di densità basale del fusto nelle diverse fasi; il test delle mediane effettuato per abete bianco, abete rosso e pino cembro non ha comunque evidenziato nessuna differenza statisticamente significativa nelle tre fasi per queste specie (Tabella 2).

**Tabella 2: valore medio di densità basale (WBD) per stadio di sviluppo identificato tramite analisi dell'incremento in altezza e statistiche dell'applicazione del test di *Kruskal Wallis***

Specie	Fase di sviluppo	Freq	WBD Mg m <sup>-3</sup>	Dev.Standard	Errore %	$\chi^2$	p	$\chi^2_{0.05}$
<i>A.alba</i>	Giovanile	3	0.411	0.095	16.302	0.67	0.71	5.99
	Matura	16	0.390	0.031	1.952			
	Adulta	19	0.384	0.019	1.137			
<i>P.abies</i>	Giovanile	6	0.415	0.035	3.008	4.20	0.17	5.99
	Matura	21	0.408	0.035	1.904			
	Adulta	54	0.383	0.027	0.967			

Specie	Fase di sviluppo	Freq	WBD Mg m <sup>-3</sup>	Dev.Standard	Errore %	$\chi^2$	$\rho$	$\chi^2_{0.05}$
<i>P.cembra</i>	Giovanile	4	0.401	0.025	3.634	2.73	0.25	5.99
	Matura	6	0.394	0.024	2.277			
	Adulta	17	0.380	0.020	1.280			

Analizzando invece la densità basale media del fusto e dei rami per specie osserviamo come l'applicazione del test di *Kruskal-Wallis* confermi la significatività delle differenze per le conifere; al contrario non risultano esserci differenze tra la densità basale media di fusto e rami né per il faggio (unica latifoglia con più di 30 piante campione) né per le altre latifoglie analizzate nel loro complesso (Tabella 3, Figura 1).

Tabella 3: applicazione del test di *Kruskal-Wallis* a tutte le specie analizzate.  $\chi^2_{0.05} = 3.84$

specie	Freq stem	Freq branches	$\chi^2$ (Kruskal -Wallis)	$\rho$
<i>A.alba</i>	40	5	13.18	0.0003
<i>P.abies</i>	82	5	14.03	0.0002
<i>P.nigra</i>	30	13	22.7	<0.0001
<i>P.silvestris</i>	30	14	15.87	<0.0001
<i>L.decidua</i>	33	9	19.89	<0.0001
<i>P.cembra</i>	30	9	16.92	<0.0001
<i>F.sylvatica</i>	28	16	3.03	0.44
Altre latifoglie	65	16	0.13	0.71

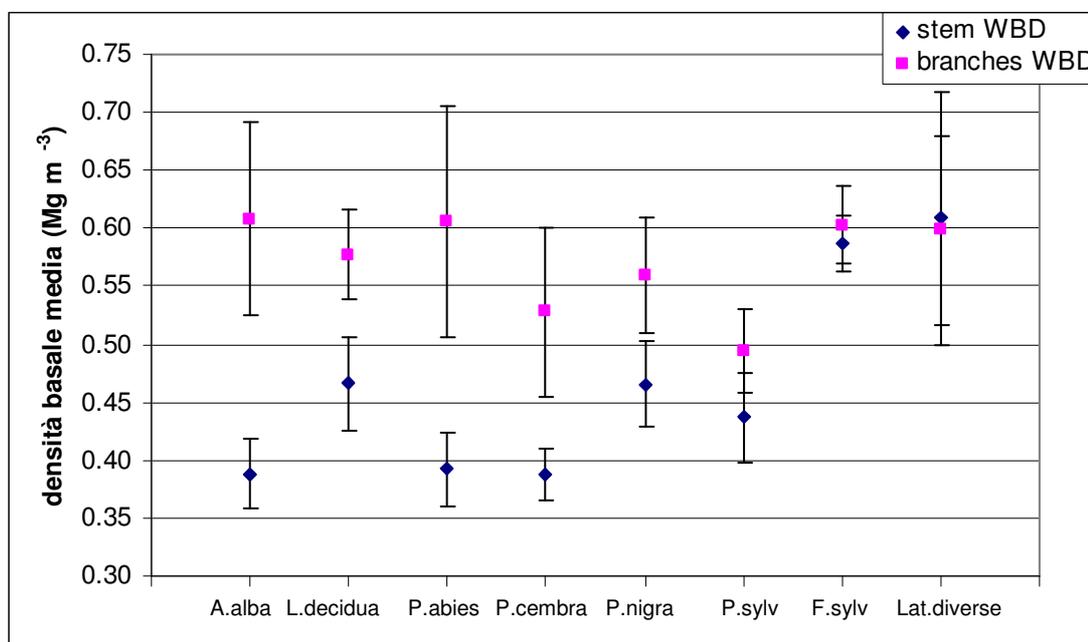
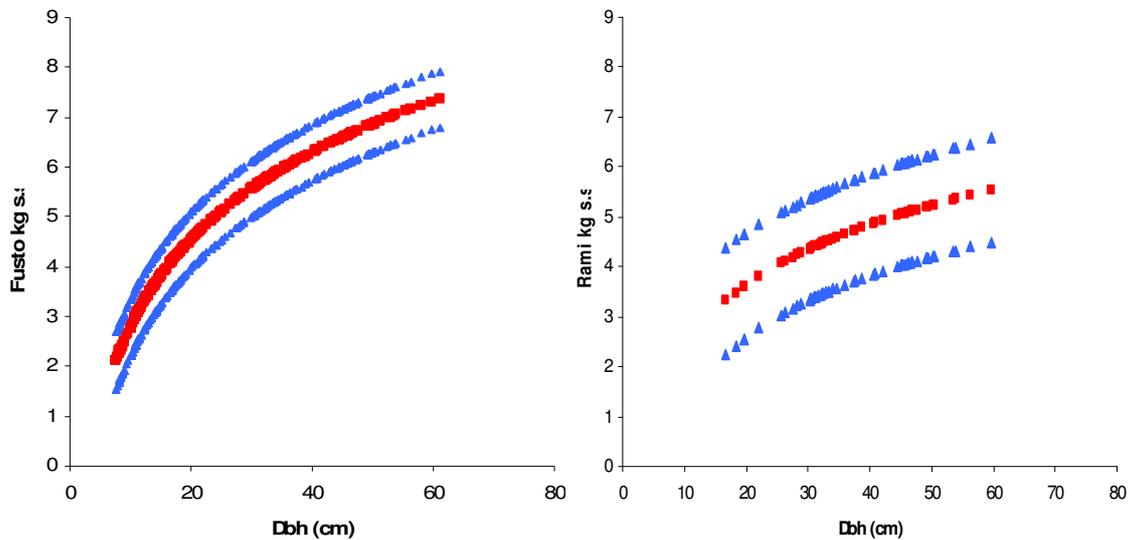


Figura 1: valori medi di densità basale di fusto e rami per specie

Al fine di attribuire un valore di densità basale media tra rami e fusto per le specie in cui sia stata riscontrata una differenza significativa tra i due suddetti valori sono stati calcolati nelle

tre fasi di sviluppo i rispettivi pesi delle due componenti per ogni specie; in figura vengono riportati i grafici, relativi alla distribuzione complessiva di tutte le conifere, del peso secco del fusto e del peso secco dei rami per diametro in scala logaritmica.



**Figura 2: distribuzione *Dbh* - peso secco del fusto a sinistra, *Dbh* – peso secco dei rami a destra per tutte le conifere complessivamente**

Dalla distribuzione delle componenti rami e fusto ottenuta per le diverse specie è stata calcolata la media pesata della densità basale in ogni fase di sviluppo (Tabella 4); tale valore verrà poi utilizzato per calcolare il parametro *a* nell'equazione per la stima della biomassa arborea epigea.

**Tabella 4: percentuale di biomassa nelle componenti rami e fusto per fase di sviluppo e corrispondente valore di densità basale media**

specie	fase di sviluppo	% Ps rami/ Ps tot	% Ps fusto/ Ps tot	WBD media Mg m <sup>-3</sup>
<i>A.alba</i>	Giovanile	57.90	42.10	0.52
	Matura	37.36	62.64	0.47
	Adulta	16.73	83.27	0.42
<i>L.decidua</i>	Giovanile	57.90	42.10	0.53
	Matura	37.36	62.64	0.51
	Adulta	16.73	83.27	0.48
<i>P.abies</i>	Giovanile	24.50	75.50	0.44
	Matura	22.80	77.20	0.44
	Adulta	20.73	79.27	0.44
<i>P.cembra</i>	Giovanile	9.68	90.32	0.40
	Matura	11.87	88.13	0.40
	Adulta	15.57	84.43	0.41
<i>P.nigra</i>	Giovanile	58.55	41.45	0.52
	Matura	42.97	57.03	0.51
	Adulta	24.78	75.22	0.49
<i>P.sylv</i>	Giovanile	37.80	62.20	0.46
	Matura	27.89	72.11	0.45
	Adulta	17.94	82.06	0.45

### Analisi delle carotine di legno prelevate

Durante i rilievi svolti nell'estate 2006 sono state raccolte un totale di 1128 carotine di legno su piante modello suddivise per specie di appartenenza e nelle tre classi di decadimento.

Attraverso la procedura di laboratorio riportata e successivamente tramite la (1) ne è stata misurata la densità basale.

Non è stata rilevata nessuna correlazione positiva tra la densità basale e il sito di provenienza, l'età e lo stadio di sviluppo delle piante campione.

Riportiamo di seguito i valori medi per specie e classe (Tabella 5) ed in allegato 8.1 i grafici relativi ad ogni singola specie.

**Tabella 5: valori medi di densità basale (DB) per specie e classe**

Specie	Classe	Frequenza	DB (Mg m <sup>-3</sup> )	Stand. Dev.
<i>Abies alba</i>	1	75	0.418	0.060
	2	36	0.349	0.099
	3	45	0.319	0.011
<i>Fagus sylvatica</i>	1	107	0.549	0.085
	2	32	0.542	0.094
	3	30	0.491	0.069
<i>Larix decidua</i>	1	81	0.457	0.063
	2	20	0.414	0.103
	3	26	0.351	0.047
<i>Picea abies</i>	1	550	0.372	0.074
	2	41	0.276	0.005
	3	36	0.248	0.032
<i>Pinus cembra</i>	1	15	0.394	0.035
<i>Pinus nigra</i>	1	4	0.483	0.015
<i>Pinus sylvestris</i>	1	7	0.421	0.035
Latifoglie varie	1	23	0.540	0.058

Nelle tabella sottostante riportiamo i coefficienti di variazione per ogni specie considerata.

**Tabella 6: valore medio di densità basale e coefficiente di variazione diviso per specie, ma con tutte le classi considerate insieme**

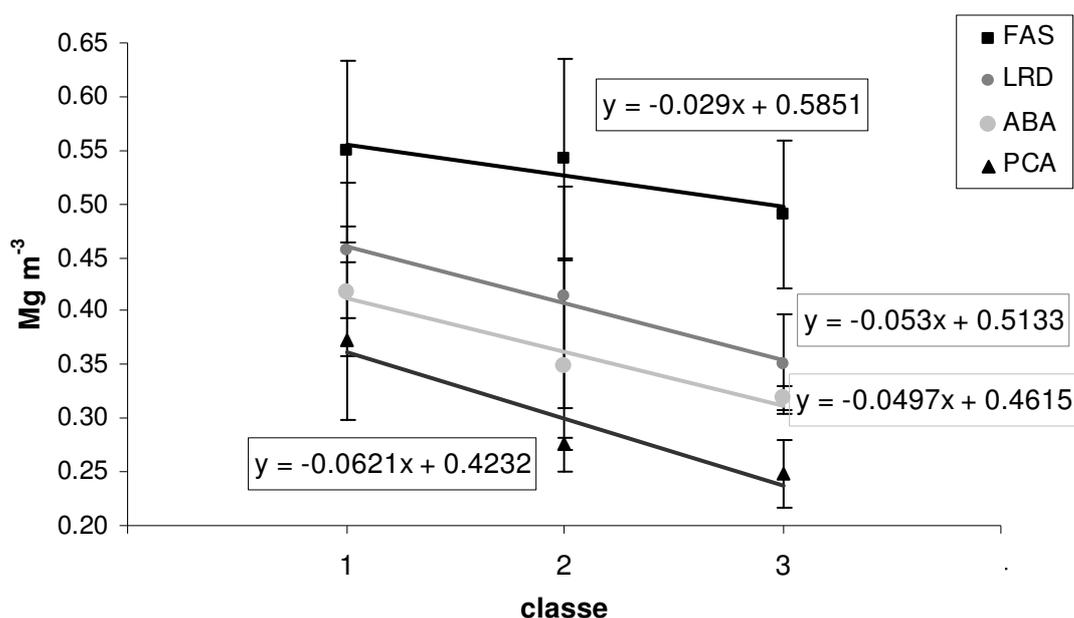
specie	Freq.	WBD (Mg m <sup>-3</sup> )	Standard Deviation	CV
<i>Abies alba</i>	156	0.37	0.08	0.21
<i>Fagus sylvatica</i>	169	0.54	0.09	0.16
<i>Larix decidua</i>	127	0.43	0.08	0.19
<i>Picea abies</i>	627	0.36	0.08	0.22
<i>Pinus cembra</i>	15	0.39	0.04	0.09
<i>Pinus nigra</i>	4	0.48	0.02	0.03
<i>Pinus sylvestris</i>	7	0.42	0.03	0.08
Latifoglie varie	23	0.54	0.06	0.11

I risultati ottenuti nell'applicazione del test non parametrico *Kruskal-Wallis* mostrano come i gruppi siano significativamente differenti per tutte le specie analizzate (Tabella 7).

**Tabella 7: risultati della statistica del test di *Kruskal Wallis* per le specie con carotine appartenenti a diverse classi**

Specie	$\chi^2$	Pr> $\chi^2$
<i>Abies alba</i>	77.52	<0.0001
<i>Fagus sylvatica</i>	14.96	0.0006
<i>Larix decidua</i>	43.46	<0.0001
<i>Picea abies</i>	201.02	<0.001

Osservando i dati notiamo come non vi sia un coefficiente di decadimento costante tra le tre classi; il coefficiente angolare delle rette risulta infatti differente nelle quattro specie considerate (Figura 3).



**Figura 3: densità basale delle diverse specie nelle tre classi considerate e corrispondente retta di decadimento**

### 2.3.4 Discussione e conclusioni

#### Elaborazioni del dataset CRA-ISAF A

Le analisi prodotte sottolineano come la differenza di densità basale del legno tra rami e fusto non sia statisticamente rilevante per le latifoglie, mentre al contrario risulta importante per le specie di conifere esaminate (275 alberi campione). non sono invece state rilevate differenze nella densità basale del fusto nei diversi stadi di sviluppo, anche se deve essere sottolineata l'esiguità del campione per alcune specie soprattutto per lo stadio giovanile.

#### Analisi carotine di legno prelevate

I valori di densità basale possono essere influenzati da diversi fattori quali il clima, il ritmo di accrescimento e le risorse di un dato ambiente (Guilley et al. 2004); nel corso delle analisi svolte sulle carotine prelevate non sono state riscontrate differenze statisticamente significative

nei valori di densità basale media di carotine delle stesse specie provenienti da piani di assestamento differenti, corrispondenti a siti differenti.

Le misure effettuate in laboratorio sulle carotine di legno hanno permesso di calcolare la densità basale quale rapporto tra perso anidro e volume allo stato fresco nelle tre diverse classi annotate durante i rilievi. I risultati mostrano un andamento inversamente proporzionale alla classe per tutte le specie rilevate e vengono registrati decrementi della densità basale pari al 24% per l'abete bianco, al 33% per l'abete rosso, al 10% per il faggio e al 23% per il larice; sempre per tale parametro si osserva una maggiore variabilità complessiva (CV – Coefficiente di variazione) per abete rosso, abete bianco, larice e faggio (rispettivamente 19%, 21%, 22% e 16%), e minore per pino cembro, pino nero e pino silvestre (rispettivamente 9%, 8% e 3%); ricordiamo infatti che per queste ultime tre specie i dati riguardavano un numero inferiore di soggetti e tutti di classe 1 (alberi vivi).

I risultati ottenuti mostrano come per le specie con soggetti distribuiti nelle tre classi, i gruppi siano significativamente differenti (Tabella 7); non esiste però un coefficiente di decadimento comune alle specie analizzate.

Il confronto con i valori proposti in campo internazionale nelle GPG (IPCC 2003, 2006) così come con i valori utilizzati per l'*Italian Greenhouse Gasses Report* per l' UNFCCC (Romano et al. 2006, Romano et al. 2007), indicano una somiglianza tra i dati di densità basale riportati, riferiti al legno integro non decomposto delle principali specie dei climi temperato e boreale, e quelli della prima classe degli alberi in piedi risultanti dall'indagine (Tabella 5); anche i dati riportati da studi effettuati per il Trentino mostrano dati non differenti da quanto emerso in questa analisi (Fattorini et al. 2005, Morelli et al. 2007).

I valori di densità basale relativi alle classi 2 e 3 permetteranno anche una stima più precisa della massa arborea epigea e quindi del relativo *stock* di carbonio delle piante morte in piedi individuate nelle particelle sottoposte a rilievo relascopico.

### **2.3.5 Stima della biomassa arborea epigea: relazioni allometriche**

In relazione alla scala spaziale, temporale e alle finalità dell'analisi effettuata è possibile stimare il bilancio di C in foresta attraverso metodologie diverse:

- la misurazione diretta dei flussi per l'analisi delle relazioni tra fattori meteorologici e flussi complessivi a livello di formazioni uniformi con la metodologia *eddy covariance*
- la stima a posteriori della quantità di C stoccata nelle diverse componenti dell'ecosistema: biotica (vegetazione), merobiotica (complesso organico-minerale

del suolo) e la lettiera; la biomassa di una singola pianta, spesso distinta in componente ipogea ed epigea, può essere convertita in quantità di C attraverso un coefficiente pari a 0.5 (IPCC/OECD/IEA 1997, IPCC 2003, Nabuurs et al. 2003a) o calcolato attraverso specifiche analisi. Tali misurazioni replicate su alberi modello potranno fornire *Biomass Expansion Factors* (BEF) o equazioni allometriche per la stima della biomassa complessiva o di singole componenti a partire da dati parziali (Brown 2002).

Questo secondo tipo di approccio viene utilizzato normalmente impiegando dati inventariali (Liski 2003, Muukkonen 2006) e può essere applicato a scale spaziali differenti, con la valutazione del relativo errore, ed in conformità con quanto previsto dalle *Good Practice Guidance*. In questo studio utilizzeremo proprio questo tipo di approccio “inventariale” di cui la letteratura offre diversi esempi (Kurz and Apps 1999, Anderle et al. 2002, Lehtonen et al. 2004, Anfodillo et al. 2006b), applicando equazioni allometriche basate su parametri dendrometrici facilmente misurabili quali il diametro (*Dbh*) a dati di tipo inventariale per la stima della biomassa arborea epigea.

Tra le numerose relazioni di tipo allometrico utilizzate in ambito forestale la *power function* è la più diffusa (Niklas 1994, Kaitaniemi 2004):

$$M = a Dbh^b \quad (2),$$

dove *M* è la biomassa arborea epigea in kg s.s., *Dbh* il diametro ad 1.3 m in cm, *a* e *b* sono rispettivamente il coefficiente e l'esponente di scala. Tale relazione viene generalmente linearizzata in scala logaritmica come:

$$\ln(M) = \ln(a) + b \ln Dbh \quad (3).$$

I valori dei parametri *a* e *b* vengono generalmente stimati attraverso il campionamento di un certo numero di alberi modello rappresentativi delle condizioni stazionali e delle specie presenti nell'area di indagine, quindi le relazioni allometriche normalmente disponibili in bibliografia risultano, in genere, applicabili localmente e limitatamente alle specie per le quali sono state sviluppate (Brown 2002).

In alternativa a questo approccio, di tipo empirico, il valore di *b* può essere desunto attraverso delle relazioni funzionali che, in accordo con quanto indicato da Niklas (1994), permettano di prevedere il valore assunto da una variabile attraverso una funzione matematica basata su di una relazione causa – effetto. Su tale principio si basa in particolare il modello proposto da West et al. (1999), noto come *WBE model*. Secondo tale modello tutte le piante vascolari, indipendentemente dalla specie e dall'età, presentano la stessa struttura di base, come conseguenza del fatto che tutte sono sottoposte alle stesse pressioni evolutive. Il modello è stato

sino ad oggi oggetto di numerosi studi che ne hanno in parte confermato la validità (Niklas 2004, Mcculloh and Sperry 2005, Meinzer et al. 2005, Anfodillo et al. 2006a, Coomes 2006, Niklas 2006, Pilli et al. 2006a, Coomes et al. 2007), evidenziando però anche alcune incongruità (Bokma 2004, Kozlowski and Konarzewski 2004, Zianis and Mencuccini 2004, Emile et al. 2008).

In accordo con tale modello la biomassa arborea epigea dovrebbe scalare rispetto al diametro del fusto secondo un esponente mediamente pari a  $8/3$  ( $\approx 2.67$ ), indipendentemente dalle caratteristiche strutturali e morfologiche della specie considerata (Enquist 2002), mentre  $a$  dovrebbe risultare correlato con la specie ed il sito oggetto di indagine (Niklas et al. 2003).

In un recente studio (Pilli et al. 2006a), attraverso l'analisi di numerose serie di dati relativi a popolamenti diversi per specie e ambienti, sono stati definiti valori più precisi di  $a$  e  $b$ , dividendo le piante arboree in tre stadi ontogenetici (giovane, adulto e maturo), ai fini di una valutazione più corretta della massa epigea totale di un popolamento arboreo. Gli Autori dimostrano come il valore medio stimato per il parametro  $b$  nella fase adulta ( $2.64 \pm S.D. 0.30$ ) sia statisticamente uguale al valore teorico previsto dal modello *WBE* (2.67). Ciò, come suggerito da Anfodillo *et al.* (2006a), confermerebbe l'applicabilità del modello per piante con una accentuata crescita in altezza rispetto al diametro, caratteristica di questa fase; nelle piante mature, il valore di  $b$  è stato stimato pari a  $2.51 \pm S.D. 0.21$ , mentre nella fase giovanile i valori assunti dall'esponente di scala risultano ancora minori ( $2.08 \pm S.D. 0.43$ ) presumibilmente poiché le giovani piante non rispondono a pieno ai requisiti idraulici richiesti dal *WBE model* (West et al. 1999).

Per quanto riguarda la stima del coefficiente di scala esso dovrebbe risultare correlato con la specie ed il sito oggetto di indagine; diversi Autori (Niklas 1994, Ketterings et al. 2001, Zianis and Mencuccini 2004, Pilli et al. 2006a) hanno ipotizzato una relazione tra il valore assunto dal coefficiente  $a$  e la densità media del legno della specie esaminata ( $\rho$ ). Partendo da questa ipotesi nel corso dell'indagine preliminare (Anfodillo et al. 2006c) è stata verificata la correlazione tra la densità media del legno ad umidità costante del 12%, ricavata da fonti bibliografiche (Giordano 1980, Giordano 1988).

In questa seconda fase è stato approfondito lo studio sul coefficiente  $a$  verificando la correlazione tra tale parametro e la densità basale delle singole specie, utilizzando in particolare per le conifere un valore di densità medio tra il fusto e i rami, stimato così come precedentemente indicato.

### 2.3.6 Materiali e metodi

#### Stima del parametro $a$

Sono stati utilizzati i medesimi *dataset* già raccolti ed analizzati nel corso dell'indagine preliminare, ovvero 49 *dataset* provenienti da fonti bibliografiche diverse (Sommacal 2004) comprendenti dati di diametro, altezza e massa di 1278 piante e l'ulteriore *dataset* fornito dal CRA-ISAFA.

Ogni *dataset* è stato opportunamente esaminato, così da escluderne gli *outliers*, e distinto nelle tre fasi ontogenetiche (giovane, adulto e maturo) attraverso l'analisi dell'incremento in altezza; a tali fasi è stato poi assegnato un valore del parametro  $b$ , costante entro ciascuna fase, indipendentemente dalla specie (Anfodillo et al. 2006c).

E' stata quindi ricavata per ciascun *dataset*, distinto appunto nelle tre fasi, una retta di regressione calcolata attraverso l'equazione (2); imponendo un coefficiente angolare costante a ciascuna retta ogni fase è stata rappresentata attraverso un fascio di rette parallele, la cui intercetta indica il valore assunto dal parametro  $\ln(a)$ . Verificando la correlazione esistente tra quest'ultimo valore e la densità basale media del legno delle diverse specie sono state ricavate funzioni di tipo:

$$\ln(a) = \alpha + \beta\rho \quad (4)$$

dove  $\rho$  è espresso in  $\text{Mg m}^{-3}$ .

#### Stima della biomassa arborea

Ripartendo ciascun *dataset* nelle tre fasi di sviluppo, individuate attraverso la curva ipsometrica, è stato possibile stimare la biomassa arborea applicando a ciascuna fase il relativo esponente di scala  $b$ , costante entro la stessa. Il coefficiente  $a$  è stato ricavato attraverso l'eq. (4); tale metodologia è stata applicata sia al *dataset* di calibrazione sia ad un secondo *dataset* di validazione. In questo caso, utilizzando 8 diversi studi, esclusi dalla precedente analisi, le tre fasi sono state distinte attraverso la media dei diametri minimi registrati nella seconda e nella terza fase, così come era stato fatto nel corso dell'indagine preliminare. La bontà della stima eseguita è stata valutata, per entrambi i *dataset*, come scostamento percentuale ( $RD$ ) tra la massa reale ( $M_r$ ) e quella stimata ( $M_p$ ):

$$RD = \frac{M_r - M_p}{M_r} \times 100 \quad (5)$$

### 2.3.7 Risultati

Dopo aver ricavato i fasci di rette parallele corrispondenti alle diverse fasi imponendo il coefficiente angolare  $b$  costante a ciascuna retta di regressione, è stato verificato se i valori

assunto da  $\ln a$  fossero correlati con la densità basale media utilizzata per ciascuna specie. I valori assunti dal parametro  $a$  sono risultati significativamente correlati con la densità basale media utilizzata, ovvero densità basale media del fusto per le latifoglie e densità basale media fusto/rami, suddivisa per fase di sviluppo per le conifere; non è emersa invece alcuna correlazione significativa per la prima fase di sviluppo, probabilmente per l'esiguità del campione.

Il valore di  $\ln(a)$  è stato quindi espresso in funzione della  $\rho_m$  per le fasi adulta e matura (Figura 4):

$$\ln(a) = -3.64 + 1.72 \rho_m(6)$$

con  $R^2 = 0.50$   $P < 0.0001$

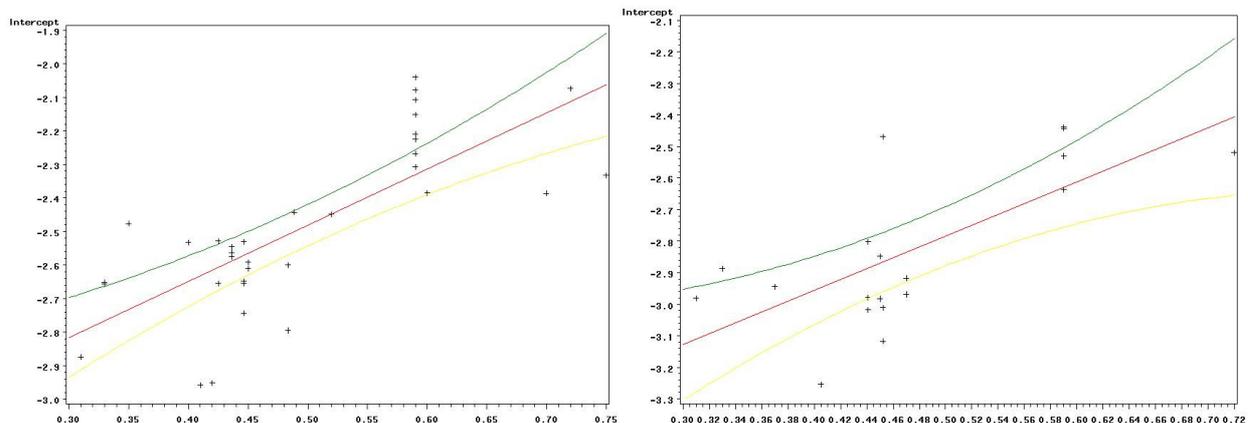
$$\ln(a) = -3.32 + 1.67 \rho_m(7)$$

con  $R^2 = 0.56$   $P < 0.0001$

Per la fase giovanile è stato mantenuto il valore medio assunto dal parametro  $\ln a$  poiché, nonostante siano stati aggiunte altre osservazioni ai *dataset* utilizzati nel corso della fase preliminare, non si è comunque raggiunto un numero sufficiente di alberi campione appartenenti allo stadio di sviluppo giovanile.

$$\ln(a) = -1.63 \quad (8)$$

con errore standard 0.05.



**Figura 4: relazione tra la densità basale media delle diverse specie ed il valore del coefficiente  $a$  in forma logaritmica per le fasi matura ed adulta rispettivamente**

Al *dataset* utilizzato per calibrare le equazioni allometriche è stato poi applicato un coefficiente  $b$  costante entro ciascuna fase così come riportato da Pilli et al. (2006a) e un valore di  $a$  stimato tramite la (6) e la (7) e costante per la prima fase (Tabella 8):

**Tabella 8: parametri a e b dell'equazione per la stima della biomassa epigea**

Fase di sviluppo	<i>b</i>	<i>lna</i>
Giovanile	2.08	-1.63
Adulta	2.64	-3.64 + 1.72 $\rho_m$
Matura	2.51	-3.32 + 1.67 $\rho_m$

In 30 casi sui 37 esaminati la differenza relativa tra i valori stimati e reali è risultata compresa nell'intervallo  $\pm 25$  %. Considerando invece tutti i *dataset* nel loro complesso l'RD media è del -3.8% con un errore standard pari a 3.5 % (Tabella 9). I valori di RD calcolati per le tre fasi di sviluppo risultano pari a 3.9%, 1.6% e -3.7% rispettivamente per le fasi giovanile, adulta e matura. E' interessante sottolineare come l'errore medio riscontrato per le conifere sia pari a -2.8% (SE 5.23%), mentre l'errore relativo alle latifoglie risulti superiore, -4.3% (SE 4.7%).

**Tabella 9: biomassa arborea epigea reale e stimata nei dataset di calibrazione**

Autore	Specie	N° piante	M reale (kg)	M stimata (kg)	RD
Bartelink_in_prep	F.sylvatica	28	3339.73	3015.01	9.72
Bartelink_in_prep	P.memziesii	17	3179.33	3262.85	-2.63
Cannel_1982	A.alba	13	4447.40	4177.83	6.06
Cannel_1982	C.japonica	22	3251.10	3688.71	-13.46
Cannel_1982	F.sylvatica	13	11867.96	9398.13	20.81
Cannel_1982	P.banksiana	16	410.00	390.61	4.73
Cannel_1982	P.mariana	21	779.00	687.64	11.73
Cannel_1982	P.memziesii	15	6779.78	7474.75	-10.25
Cannel_1982	P.nigra	14	6154.78	5798.93	5.78
Cannel_1982	P.sylvestris	52	3305.73	3631.54	-9.86
Cannel_1982	Q.ilex	11	21615.50	30592.18	-41.53
Cannel_1982	S.robusta	10	1894.72	1803.59	4.81
Chroust_1985	P.sylvestris	63	798.55	771.10	3.44
Colleselli_1973	L.decidua	25	18773.50	24922.11	-32.75
Coweeta	A.rubrum	10	4581.81	4381.20	4.38
Coweeta	B.lenta	10	3228.52	3478.76	-7.75
Coweeta	Carya spp	7	5477.71	6859.32	-25.22
Coweeta	L.tulipifera	8	5703.41	5012.34	12.12
Coweeta	Q.alba	9	4858.08	7328.76	-50.86
De_Filippo_Roia_1976	P.abies	17	12620.50	12604.99	0.12
Ellenberg_et_al_1986	F.sylvatica	9	4333.50	3563.91	17.76
Hainy_2003	F.sylvatica	35	43754.54	37811.29	13.58
Hainy_2003	P.abies	21	8682.81	8348.80	3.85
ISAFa	A.alba	36	17034.80	18438.40	-8.24
ISAFa	F.sylvatica	27	14193.50	15310.50	-7.87
ISAFa	L.decidua	30	10382.40	13630.83	-31.29
ISAFa	P.abies	73	49240.80	49024.44	0.44
ISAFa	P.cembra	27	10126.80	14659.32	-44.76
ISAFa	P.sylvestris	29	5410.20	6799.85	-25.69
Jokela_1981	B.papyrifera	12	810.95	1169.85	-44.26
Santa_regina_2001	F.sylvatica	6	1751.80	1680.08	4.09
Vaninen_et_al_1966	P.sylvestris	14	5740.60	6307.77	-9.88
Weith_2003	F.sylvatica	88	51979.87	46853.42	9.86

Autore	Specie	N° piante	M reale (kg)	M stimata (kg)	RD
Wirth	P.abies	125	54570.06	31275.05	42.69
Woods_et_al_1991	P.mariana	15	898.86	811.07	9.77
Woods_et_al_1991	P.tremuloides	16	3237.27	2509.92	22.47
Zianis_Mencuccini_2003	F.moesaica	11	4895.96	3986.95	18.57

Le equazioni allometriche sviluppate sono state applicate anche ad 8 *dataset* di validazione: la differenza relativa si è collocata tra -35% e +29% con un valore medio pari a 8.27% (Tabella 10). Anche in questo caso lo scarto percentuale relativo alla stima della biomassa epigea nelle latifoglie risulta superiore rispetto a quello delle conifere, 10% e 7% rispettivamente.

**Tabella 10: biomassa arborea epigea reale e stimata nei *dataset* di validazione**

Autore	Specie	N° piante	M reale (kg)	M stimata (kg)	RD
Bonazza_1979	A.alba	21	20419.8	14504.4	29.0
Cannel_1982	P.glauca	8	334.0	270.2	19.1
Coweeta	Q.prinus	8	5149.5	5840.4	-13.4
Coweeta	Q.rubra	7	4602.8	6216.9	-35.1
Damiani_1980	P.abies	24	14534.1	17305.8	-19.1
Pellinen_et_al_1986	F.sylvatica	14	18052.6	14934.2	17.3
Van_Hees_&_Bartelink_1993	P.sylvestris	12	1268.0	1632.9	-28.8
Vyskot_1982	L.decidua	15	3591.3	4855.6	-35.2

Gli scarti riscontrati su ciascun individuo sono risultati statisticamente correlati con il diametro per quasi tutte le specie presenti nel *dataset* di validazione, ad esclusione della quercia rossa.

**Tabella 11: coefficiente di correlazione di Pearson e significatività calcolati tra lo scarto RD ed il diametro dei singoli alberi campione**

Specie	Coefficiente di correlazione di Pearson ( <i>r</i> )
A.alba	0.62 0.0026
P.glauca	0.85 0.0071
Q.prinus	-0.96 <0.0001
P.abies	0.76 <0.0001
F.sylvatica	0.64 0.014
P.sylvestris	0.66 0.0037
L.decidua	0.96 <0.0001
Q.rubra	0.73 0.06

### 2.3.8 Discussione e conclusioni

Così come era già stato rilevato da Anfodillo et al. (2006) il procedimento utilizzato per la stima del coefficiente  $a$  ha consentito di evidenziare la correlazione esistente tra questo e la densità media delle specie considerate; in particolare l'utilizzo per le conifere di valori di densità basale medi tra rami e fusto ha permesso di migliorare l'accuratezza delle analisi, anche se risultano ancora necessari ulteriori approfondimenti; i dati di densità utilizzati infatti non provengono da fonti distinte dei singoli *dataset* utilizzati e non è dunque possibile la valutazione dei fattori di variazione locale specifici.

L'errore medio rilevato nel *dataset* di calibrazione ed il corrispondente errore standard consentono di prevedere con un limite di confidenza del 95% che la biomassa stimata ricada nell'intervallo  $-11.5\% \div +3.9\%$  ( $\bar{X} \pm t_{95}SE$ ). Lo scarto medio rilevato nel *dataset* di validazione ha confermato tale previsione.

La correlazione esistente tra i valori di  $RD$  e  $Dbh$  emersa nel *dataset* di validazione evidenzia un aumentare dello scarto nelle stime effettuate all'aumentare del diametro delle singole piante, ad esclusione del *Quercus prinus*. Tale risultato può in parte essere spiegato con l'incremento nello spessore della corteccia all'aumentare del diametro, in particolare per il genere *larix* e le conifere in generale (Zhang et al. 1993, Laasasenaho et al. 2005, Nishizono et al. 2005) che porterebbe a sovrastimare il diametro stesso delle piante più grandi; per tutte le specie di conifere infatti, ad esclusione dell'abete bianco, a diametri maggiori corrisponde un errore maggiore, dovuto ad una sovrastima della biomassa epigea.

## **2.4 La gestione forestale: materiali e metodi**

### **2.4.1 Campionamento stratificato**

In base a quanto emerso nello studio preliminare è stato elaborato un piano di rilievi da svolgere in fustaie e cedui soggetti a Piano di Assestamento.

Nel territorio regionale, come anticipato, si individuano complessivamente 5827 particelle boscate suddivise in 5057 governate a fustaia, di cui 2479 precedentemente soggette a sola stima e 2578 già sottoposte a rilievo relascopico o cavallettamento totale in passato, e 770 cedui. Le particelle governate a fustaia sono state precedentemente classificate in 11 categorie forestali, 4 classi di densità e 2 classi strutturali; i cedui sono stati classificati esclusivamente in categorie forestali.

Il campionamento stratificato consiste nella suddivisione della popolazione in sottopopolazioni omogenee (strati) rispetto alla variabile statistica di interesse e nell'estrazione delle unità campionarie indipendentemente da ciascuno di essi. Se gli strati al loro interno sono più omogenei dell'intera popolazione con questo schema di campionamento si riducono i costi del rilevamento mantenendo nel contempo una buona precisione di stima. Lo scopo della stratificazione è di suddividere la popolazione in modo tale che gli strati siano differenti tra loro (cioè la varianza tra gli strati sia relativamente alta) e, al contempo, siano relativamente omogenei al loro interno (cioè la varianza entro gli strati sia relativamente bassa) (Corona 2000).

Per l'applicazione di questo schema di campionamento, è stata innanzitutto effettuata un'estrazione casuale di particelle campione appartenenti a diversi gruppi (intesi come categorie forestali suddivise in classi di densità) in modo da rappresentare il 90% del totale delle particelle presenti in regione. Sono stati esclusi dai rilievi i gruppi rappresentanti meno del 10% della numerosità complessiva. Le particelle sono state estratte, tramite campionamento casuale, in modo proporzionale alla numerosità totale di ciascun gruppo.

Fustaie → schema di stratificazione  
1° strato → categorie forestali (90% delle particelle totali)  
2° strato → classe di densità delle categorie forestali (da 1 a 4)  
→ unità campione (numero di particelle rilevate)

Le mughete non sono state considerate in quanto non rientrano nella definizione di "bosco" utilizzata dal secondo inventario forestale nazionale (INFC)<sup>3</sup>.

Per le particelle governate a ceduo i rilievi di campo sono stati eseguiti tramite campionamento casuale con l'estrazione di quattro particelle a prevalente presenza di faggio.

---

<sup>3</sup> Copertura arborea > 10 %, estensione >0.5 ha, altezza minima delle piante a maturità 5m (definizione UN-ECE FAO 2000)

Cedui → schema di stratificazione  
 1° strato → categorie forestali (95% delle particelle totali);  
 → unità campione (numero di particelle rilevate)

Le categorie forestali “Carpinetto – Quercio Carpineto” e “Castagneto” non sono state prese in considerazione per il numero troppo esiguo di particelle presente nella Regione Veneto. Tale procedura è coerente con le linee guida dell’IPCC che suggeriscono di concentrare i rilievi sulle categorie più significative per l’oggetto di indagine.

Stime per singolo strato

Lo stimatore campionario del valore medio nel j-esimo strato è pari a

$$\bar{X}_j = \frac{\sum_{i=1}^{n_j} x_{xij}}{n_j} \quad (9)$$

dove  $x_{ij}$  = valore dell’attributo  $x$  nella  $i$ -esima unità campionaria del  $j$ -esimo strato  
 $n_j$  = numero di unità campionarie del  $j$ -esimo strato.

Lo stimatore della varianza di  $\bar{X}_j$  è pari a:

$$S_{x_j}^2 = \frac{s_{x_j}^2}{n_j} \frac{N_j - n_j}{N_j} \quad (10)$$

dove  $S_{x_j}^2$  = stimatore della varianza di  $x$  nel  $j$ -esimo strato

$N_j$  = unità presenti per strato.

Lo stimatore del valore totale dell’attributo  $x$  nel  $j$ -esimo strato è pari a:

$$X_j = N_j \bar{x}_j \quad (11)$$

con varianza stimata pari a:

$$S_{X_j}^2 = N_j^2 s_{x_j}^2 \quad (12)$$

Stime complessive

Lo stimatore della media ponderata dell’attributo  $x$  nella popolazione, in termini di superfici, è:

$$\bar{X}_{ST} = \sum_{j=1}^M \frac{N_j}{N} \bar{x}_j \quad (13)$$

dove  $N$  = unità totali

Lo stimatore della varianza della media ponderata è:

$$S_{X_{ST}}^2 = \sum_{j=1}^M \left( \frac{N_j}{N} \right)^2 s_{x_j}^2 \quad (14)$$

Lo stimatore del valore totale dell'attributo  $x$  nella popolazione è:

$$X_{ST} = N \bar{x}_{ST} \quad (15)$$

con stimatore della varianza totale pari a:

$$S_{X_{ST}}^2 = N^2 s_{x_{ST}}^2 \quad (16)$$

#### 2.4.2 Protocollo di svolgimento dei rilievi

Sulle particelle appartenenti al *dataset* così estratte, sono stati eseguiti una serie di rilievi dendro-auxometrici differenziati per fustaie e cedui:

##### Fustaie

- Esecuzione, in conformità alla normativa regionale, di 30 e 20 rilievi relascopici, rispettivamente per le particelle con superficie maggiore e minore di 30 ha.
- Misurazione dell'altezza e succhiellamento di tre piante scelte casualmente, distribuendo le misurazioni nelle diverse classi diametriche di 5 cm (l'altezza è stata rilevata nel 3°, nel 6°, nel 9° rilievo relascopico fino al 18° per le particelle più piccole e fino al 27° per quelle di dimensioni maggiori).
- Conteggio degli individui morti in piedi e classificazione di questi ultimi in due classi di decadimento

1. piante vive
2. piante morte con più di  $\frac{1}{3}$  della chioma presente
3. piante morte e spezzate

##### Cedui

- Esecuzione di un rilievo relascopico ogni 1.5-2 ha.
- Succhiellamento e rilevamento dell'altezza in metà dei punti di campionamento, sugli ultimi due soggetti contati nella prova relascopica.

Per ogni particella è stato dunque poi calcolata la distribuzione diametrica e di area basimetrica (La Marca 1999):

$$Nha^{-1} = \frac{\Phi \times N_{D_i}}{g_{1.30}} \quad (17)$$

dove  $\Phi$  = fattore di numerazione (banda utilizzata nella prova relascopica)

$D_i$  = classe diametrica considerata (cm)

$g_{1.30}$  = area basimetrica ad 1.30 m di altezza ( $m^2$ )

e

$$Gha^{-1} = N \times \Phi \quad (18)$$

E' stato analizzato l'andamento della curva ipsometrica utilizzando la funzione di Chapman-Richards (Richards 1959, Fekedulegn et al. 1999, INFC 2008):

$$H = 1.3 + n(1 - e^{-qDbh})^t \quad (19)$$

con n, q e t parametri da stimare

o l'equazione di Weibull (Peng et al. 2001):

$$H = 1.3 + g(1 - e^{-iDbh^m}) \quad (20)$$

dove g, i e m parametri da stimare.

I parametri sono stati stimati attraverso il metodo di Marquardt (Motulsky and Ransnas 1987), utilizzando la procedura *ProcNLIN* del pacchetto statistico SAS<sup>TM</sup>.

### 2.4.3 Stima della biomassa arborea epigea e dello *stock* di carbonio

La stima della biomassa tramite equazioni allometriche, proposta anche nel corso della prima fase dell'indagine, costituisce una valida alternativa all'impiego di fattori di espansione desunti da fonti bibliografiche.

Secondo quanto emerso nel corso dell'approfondimento metodologico proposto nel paragrafo 2.2 la biomassa arborea epigea verrà stimata a partire da un'equazione di tipo:

$$M = aDbh^b$$

Come abbiamo visto è possibile attribuire un valore di coefficiente  $b$  costante all'interno di tre stadi ontogenetici identificati tramite seriazione diametrica o, laddove possibile, analisi della curva ipsometrica; il coefficiente di scala  $a$  può invece essere stimato a partire dalla densità basale media ( $\rho_m$ ) delle singole specie.

Si riportano di seguito i valori soglia di diametro che distinguono le tre fasi ontogenetiche, i valori del coefficiente  $b$  e le equazioni per il calcolo del coefficiente di scala  $a$ .

**Tabella 12: parametri a e b dell'equazione per la stima della biomassa epigea (kg s.s.)**

Fase di sviluppo	Dbh (cm)	b	lna
Giovanile	<=9.5	2.08	-1.63
Adulta	9.5<Dbh<=15.8	2.64	-3.64 + 1.72 $\rho_m$
Matura	>15.8	2.51	-3.32 + 1.67 $\rho_m$

Sono stati utilizzati i valori di densità basale ricavati nell'analisi delle carotine prelevate ed illustrati nel paragrafo 2.3.

Avendo a disposizione, grazie ai rilievi eseguiti, la distribuzione diametrica completa (soglia di cavallettamento 3 cm) relativa alle particelle campione, i soggetti censiti sono stati suddivisi nelle tre fasi precedentemente definite (giovanile, adulta, matura) e né è poi stata stimata la biomassa epigea totale (in kg di sostanza secca). E' sufficiente moltiplicare la massa così ottenuta per il numero di piante ad ettaro di ogni classe diametrica per ottenere la biomassa presente in ogni particella, distribuita per classi diametriche.

La massa unitaria moltiplicata per il fattore di correzione 0.5 esprime il carbonio stoccato nella biomassa epigea del singolo individuo.

#### 2.4.4 Stima degli accrescimenti

I dati relativi al numero di anelli presenti nell'ultimo centimetro delle carotine prelevate sono stati analizzati così da fornire i dati di incremento percentuale in volume, stimati attraverso la formula di Schneider (Philip 1994, La Marca 1999) relativi alle singole particelle, nonché i valori medi di incremento per categoria forestale e funzione prevalente delle particelle:

$$I\%_{c_i} = \frac{k}{Dbh \times N} \quad (21)$$

dove  $I\%_c$  incremento percentuale ( $m^3$ ) di ogni albero campione,  $Dbh$  (cm) diametro ad 1.30 m,  $N$  numero di anelli nell'ultimo centimetro e  $k$  costante pari a 400, 600 o 800 a seconda dello stadio di sviluppo dell'area campione.

La procedura per il calcolo dell'incremento corrente di volume delle particelle è così sintetizzata (CRA-ISAFSA and CFS 2006, Tonolli and Salvagni 2007, INFC 2008):

- a. L'incremento percentuale medio di volume degli alberi della specie  $S$ , di classe diametrica  $D$ , della categoria  $F$  (conifere o latifoglie), della particella  $P$  si ottiene ponderando l'incremento  $\%$  del singolo albero campione con il rispettivo diametro

$$I\%_{PFDS} = \frac{\sum_0^{i=a} (I\%_{c_i} \times Dbh_i^2)}{\sum_0^{i=a} Dbh_i^2} \quad (22)$$

dove  $Dbh$ : diametro (cm) dell'albero campione  $i$ -esimo della specie  $S$ , di classe diametrica  $D$ , della categoria  $F$  dell'unità campionaria  $P$ ;

$a$  numero di alberi campione della specie  $S$ , della classe diametrica  $D$ , della categoria forestale  $F$ , dell'unità campionaria  $P$ .

- b. L'incremento percentuale medio di volume degli alberi di classe diametrica  $D$ , della categoria  $F$  (conifere o latifoglie), della particella  $P$  si calcola ponderando l' $I\%_{PFDS}$  con la rispettiva area basimetrica di specie:

$$I\%_{PF D} = \frac{\sum_0^{i=s} (I\%_{PFDS_i} \times G_i^2)}{\sum_0^{i=s} G_i^2} \quad (23)$$

dove  $G$  area basimetrica complessiva della specie  $S$ , di classe diametrica  $D$ , della categoria forestale  $F$ , della particella  $P$ ;

$s$  numero di specie della classe diametrica  $N$ , della categoria  $F$ , della particella  $P$ .

- c. L'incremento percentuale medio di volume degli alberi della categoria  $F$  (conifere o latifoglie), della particella  $P$  si calcola ponderando l' $I\%_{PF D}$  con il peso dato dalla somma dei prodotti  $Dbh^2H$  degli alberi censiti nell'area campione:

$$I\%_{PF} = \frac{\sum_0^{i=n} (I\%_{PF D_i} \times R_i^2)}{\sum_0^{i=n} R_i^2} \quad (24)$$

dove  $R$  somma dei prodotti  $Dbh^2H$  dei soggetti arborei di classe diametrica  $D$ , della categoria forestale  $F$ , della particella  $P$ ;

$n$  numero di classi diametriche della categoria  $F$ , della particella  $P$ .

- d. L'incremento percentuale medio di volume degli alberi dell'unità campionaria  $P$  è dato dalla media ponderata di  $I\%_{PF}$  adottando come peso la somma dei prodotti  $Dbh^2H$  degli alberi censiti nell'area campione:

$$I\%_P = \frac{\sum_0^{i=f} (I\%_{PF_i} \times J_i^2)}{\sum_0^{i=f} J_i^2} \quad (25)$$

dove  $J$  somma dei prodotti  $Dbh^2H$  dei soggetti arborei della categoria forestale  $F$ , della particella  $P$ ;

$n$  numero di categorie della particella  $P$  (al massimo due: conifere e latifoglie).

- e. L'incremento corrente (IC) dell'area campione è dato dall'applicazione di  $I\%_P$  sul volume legnoso ( $m^3 ha^{-1}$ ) della stessa:

$$IC = \frac{I\%_P \times V}{100} \quad (26)$$

Il volume delle particelle è stato stimato utilizzando le equazioni sviluppate dall'Istituto Sperimentale per l'Assessment Forestale e per l'Alpicoltura nell'ambito del progetto EFOMI di valutazione ecologica di cenosi forestali sottoposte a monitoraggio

integrato, sulla base degli alberi modello prelevati dai boschi del Trentino (Fattorini et al. 2005).

- f. L'incremento corrente del sito espresso in termini di volume legnoso è stato infine convertito in carbonio ( $\text{Mg ha}^{-1}$ ) utilizzando i valori di densità basale del legno ricavati in questo studio e di contenuto di carbonio pari al 50% del peso anidro (IPCC 2003, 2006).

#### 2.4.5 Piante morte in piedi

Per ottenere un dato più significativo riguardo la presenza di piante morte in piedi all'interno delle particelle rilevate è stata stimata la biomassa di queste piante, considerandole:

- alla stregua di piante vive, le piante di classe 2 (presenza di più di  $\frac{1}{3}$  della chioma)
- prive di foglie e rami, le piante di classe 3

La biomassa relativa a tali componenti è stata stimata, per le latifoglie, attraverso le equazioni proposte da Penzo (Penzo 2007, Pilli et al. 2008) per il faggio, e, per le conifere, attraverso una equazione sviluppata *ad hoc* utilizzando i dati grezzi raccolti nell'ambito del progetto EFOMI (Fattorini et al. 2005):

Faggio

$$Ps_{rami} = e^{-2.6839} Dbh^{2.3515} \quad (27)$$

$$Ps_{foglie} = e^{-5.3721} Dbh^{2.3063} \quad (28)$$

Conifere

$$Ps_{rami+foglie} = e^{-3.4792} Dbh^{2.2481} \quad (29)$$

Dove  $Ps$  è il peso secco (kg) e  $Dbh$  il diametro in cm misurato ad 1.30 m di altezza.

Sono stati utilizzati i valori di densità basale relativi alle 2 diverse classi di decadimento rilevate e calcolati in laboratorio secondo la procedura indicata nel paragrafo 2.3.

## 2.5 Risultati

Nel corso dell'estate 2006, con la formazione di cinque squadre (di cui una costituita da personale dei Servizi Forestali di Vicenza) sono stati eseguiti i rilievi relascopici, secondo lo schema proposto, su 56 particelle distribuite nelle province di Vicenza e Belluno, così distinte:

- 29 rilievi su particelle precedentemente già soggette a rilievo
- 24 rilievi su particelle precedentemente soggette a semplice stima
- 3 rilievi su ceduo

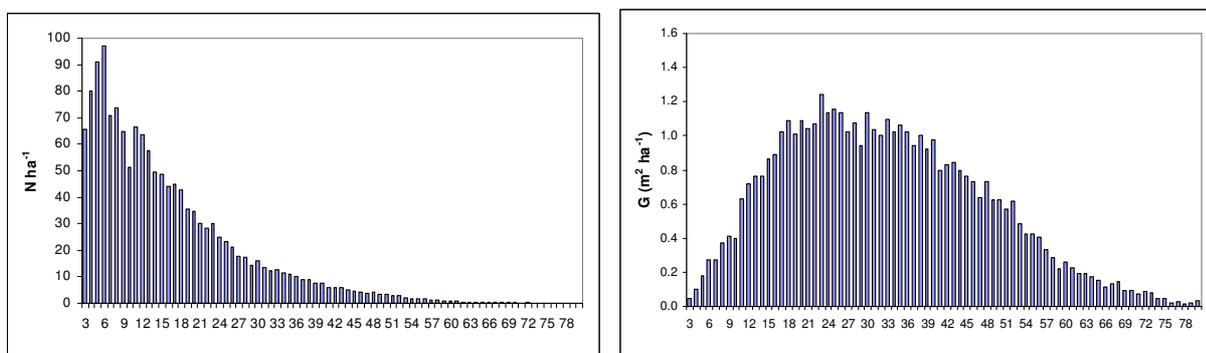
In base allo schema di campionamento anche le categorie forestali delle particelle rilevate sono differenti, in proporzione alla loro presenza sul territorio regionale (fig. 2):

- 18 peccete
- 17 abieteti
- 5 lariceti
- 7 piceo – faggeti
- 7 faggete
- 2 pinete

### 2.5.1 Distribuzione diametrica e curva ipsometrica

Per tutte le particelle rilevate è stata ricostruita la seriazione diametrica per classi di 1 cm (diametri compresi tra 3 e 100 cm). In figura 5 è riportata la distribuzione diametrica per l'insieme di tutte le particelle governate a fustaia.

Grazie alla soglia di cavallettamento utilizzata nei rilievi è stato possibile ricostruire l'intera seriazione diametrica. In termini di numero di fusti presenti ad ettaro, il 67% delle piante rilevate nel complesso delle particelle appartiene alle classi con diametri inferiori a 17.5 cm. Naturalmente l'area basimetrica risulta in maggior misura afferente alle piante con diametri maggiori, ove si colloca circa l'82% dell'area basimetrica complessiva, sempre riferita al complesso delle particelle esaminate.



**Figura 5: numero di piante ad ha per classi di 1 cm (dato riferito all'insieme delle particelle a fustaia) a sinistra e distribuzione dell'area basimetrica media in classi diametriche a destra**

La figura sottostante riporta la curva ipsometrica relativa al complesso delle piante campione dell'altezza rilevate, mentre in allegato 8.2 sono riportate le curve ipsometriche per specie.

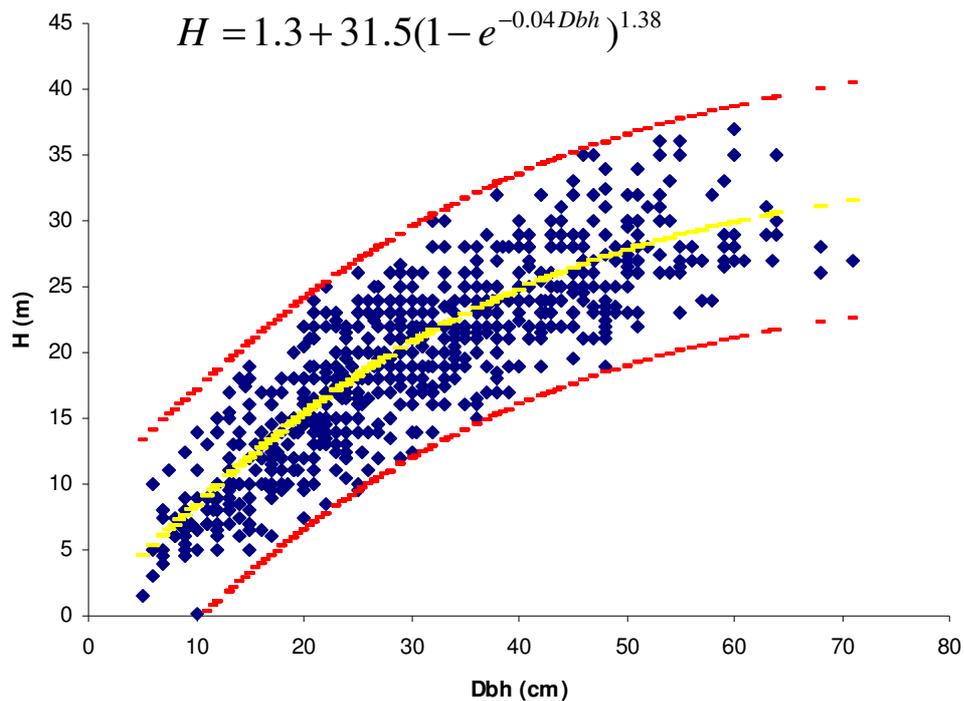


Figura 6: curva ipsometrica relativa al complesso delle piante campione dell'altezza misurate

### 2.5.2 Analisi della composizione e attribuzione della categoria forestale

Ripercorrendo le tappe dello studio preliminare è stata attribuita ad ogni particella una categoria forestale definita secondo la composizione rilevata nel soprassuolo. Le categorie forestali, giova ricordarlo, sono intese come gruppi di tipologie forestali, omogenei per composizione, e raggruppate in relazione alla presenza di una o al massimo tre specie caratteristiche.

Avvalendosi delle equazioni di ponderazione e delle equazioni discriminanti (Figura 7) sviluppate nel corso del precedente studio sono state classificate tutte le particelle rilevate in base alla composizione percentuale rilevata. Così ad esempio, le particelle con più del 60% di abete rosso sono state classificate come peccete; negli abieteti si individua invece una soglia minima del 20% per l'abete bianco, specie che distingue tale categoria dalla precedente.

Categoria Forestale	Equazione di Ponderazione*
PECCETE	$\text{Peso}=(\text{PCA}-59)*100/960*$
ABIETETI	$\text{Peso}=(\text{ABA}-19)*100/690$
ACERI-FRASSINETI	$\text{Peso}=(\text{ACX}-19)*100/3$
CARPINETI Q-CARP	$\text{Peso}=\left(\left(\left(\text{CRB}-19\right)+\text{QUX}+\text{ALX}\right)-\left(\text{LRD}+\text{PNN}+\text{PNS}+\text{CAS}+\text{OSC}-30\right)\right)*100/10$
CASTAGNETI	$\text{Peso}=(\text{CAS}-59)*100/14$
FAGGETE	$\text{Peso}=(\text{FAS}-39)*100/768$
LARICETI	$\text{Peso}=\left(\left(\text{LRD}-19\right)-\left(\text{PCA}-40\right)\right)*100/273$
ORNO-OST, OSTR-Q	$\text{Peso}=\left(\left(\left(\text{OSC}-19\right)+\text{QUP}+\text{FXU}\right)-\left(\text{PNN}+20\right)\right)*100/184$
PICEO-FAGGETI	$\text{Peso}=(\text{FAS}-19)*100/83$
PINETE	$\text{Peso}=\left(\left(\left(\text{PNN}+\text{PNS}\right)-19\right)-\left(\text{PCA}-20\right)\right)*100/176$
MUGHETE	$\text{Peso}=(\text{PNM}-49)*100/132$
* al denominatore viene indicato il numero di osservazioni inizialmente collocate entro la categoria	

**Figura 7: equazioni per il calcolo dei fattori di ponderazione per l'assegnazione delle categorie forestali nell'analisi discriminante**

Rispetto all'analisi preliminare 15 particelle sono state riclassificate (Tabella 13); di queste, 7 particelle erano state in precedenza oggetto di sola stima e 8 particelle erano già state oggetto di rilievi effettuati, in tutti i casi, più di 10 anni fa (il rilievo più recente risale infatti al 1995).

**Tabella 13: Particelle che sono state soggette a variazione di Categoria Forestale rispetto allo studio preliminare**

Cod Particella	Categoria Forestale 2000	Categoria Forestale 2006	Anno Rilievo
016_3G0120	Abieteto	Pecceta	Stima
043_2A0020	Abieteto	Piceo-faggeta	Stima
080_2E0060	Abieteto	Piceo-faggeta	1992
082_2A0190	Abieteto	Pecceta	1991
085_1A0060	Abieteto	Piceo-faggeta	1989
029_3F1042	Lariceto	Pineta	Stima
015_2G0800	Pecceta	Piceo-faggeta	1995
034_2L0210	Pecceta	Abieteto	Stima
034_2N0130	Pecceta	Piceo-faggeta	Stima
039_1C0150	Pecceta	Pineta	Stima
082_2B0020	Pecceta	Faggeta	1990
082_2B0030	Pecceta	Faggeta	1990
082_2B0370	Pecceta	Faggeta	1991
064_2A1790	Piceo-faggeta	Abieteto	Stima
084_2A0020	Piceo-faggeta	Abieteto	1993

### 2.5.3 Stima dello *stock* di carbonio

Tutti i dati analizzati nel corso dell'indagine preliminare erano relativi a soggetti con diametro superiore ai 17.5 cm; come evidenziato precedentemente lo schema di campionamento utilizzato per i rilievi ha assunto come soglia minima di cavallettamento 3 cm di diametro (ad

altezza di 1.30 m) fornendo quindi preziose informazioni sul numero di piante e sulla quantità di biomassa afferente alle piante con diametro inferiore alla soglia normalmente impiegata.

La Tabella 14 riporta, per ogni particella, la percentuale di carbonio ( $\text{Mg ha}^{-1}$ ) afferente alle classi inferiori alla soglia di cavallettamento e il carbonio totale stoccato in ogni particella.

**Tabella 14: Stima del carbonio ( $\text{Mg ha}^{-1}$ ) di ogni particella stoccato nei soggetti con diametro inferiore e superiore a 17.5 cm, carbonio totale e percentuale di carbonio presente nelle classi sottosoglia**

<b>Codice particella</b>	<b>Categoria Forestale</b>	<b>Funzione</b>	<b>MgC <math>\text{ha}^{-1}</math> &lt;17.5 cm</b>	<b>MgC <math>\text{ha}^{-1}</math> &gt;17.5 cm</b>	<b>MgC <math>\text{ha}^{-1}</math> totale</b>	<b>%C &lt;17.5 cm</b>
015_2A0190	Abieteto	Produttiva	5.97	130.59	136.56	4.37
015_2B0410	Pecceta	Produttiva	3.90	104.40	108.30	3.60
015_2D0070	Pecceta	Turistico-ricreativa	11.12	90.35	101.47	10.96
015_2G0800	Piceo - faggeta	Protettiva	15.84	119.21	135.05	11.73
015_2H0870	Lariceto	Protettiva	21.38	124.38	145.76	14.67
016_3A0050	Pecceta	Produttiva	11.15	79.40	90.55	12.31
016_3C0130	Pecceta	Produttiva	4.42	92.14	96.56	4.58
016_3C0240	Pecceta	Produttiva	18.49	40.98	59.47	31.10
016_3G0120	Pecceta	Produttiva	11.69	63.49	75.18	15.55
020_3D0010	Lariceto	Protettiva	6.15	65.22	71.37	8.61
020_3D0030	Lariceto	Protettiva	2.00	73.02	75.01	2.66
024_3A0290	Pecceta	Produttiva	4.36	121.50	125.86	3.46
029_3B1080	Pecceta	Produttiva	7.71	50.39	58.11	13.28
029_3F1042	Pineta	Protettiva	13.53	49.83	63.36	21.36
034_2A0180	Abieteto	Produttiva	14.17	132.46	146.63	9.66
034_2C0450	Abieteto	Produttiva	14.04	138.19	152.23	9.22
034_2E0700	Abieteto	Produttiva	6.50	112.69	119.19	5.45
034_2G0090	Abieteto	Produttiva	15.62	132.46	148.09	10.55
034_2G0110	Abieteto	Produttiva	3.07	112.41	115.48	2.66
034_2L0210	Abieteto	Produttiva	7.90	125.91	133.80	5.90
034_2N0130	Piceo - faggeta	Protettiva	15.62	118.66	134.28	11.63
034_2P0210	Abieteto	Produttiva	3.25	113.80	117.06	2.78
034_2P0310	Pecceta	Produttiva	3.91	119.61	123.52	3.16
034_2Q0610	Abieteto	Produttiva	12.93	90.87	103.80	12.45
034_2R0780	Abieteto	Produttiva	10.54	90.08	100.62	10.47
037_2A004A	Pecceta	Produttiva	4.16	65.59	69.75	5.96
037_2A0070	Pecceta	Produttiva	5.95	78.69	84.64	7.03
037_2B0300	Lariceto	Protettiva	6.92	80.16	87.09	7.95
039_1C0150	Pineta	Protettiva	11.97	38.10	50.07	23.91
043_2A0020	Piceo - faggeta	Produttiva	19.86	79.38	99.24	20.01
044_1A0111	Pecceta	Produttiva	6.57	106.59	113.16	5.81
059_2A0050	Pecceta	Produttiva	2.28	80.21	82.48	2.76
059_2B0330	Pecceta	Produttiva	8.04	101.78	109.82	7.32
059_2F0640	Pecceta	Protettiva	12.29	100.85	113.14	10.86
064_2A0370	Abieteto	Produttiva	7.77	174.87	182.64	4.25
064_2A0380	Abieteto	Produttiva	9.72	120.20	129.92	7.48
064_2A1180	Abieteto	Produttiva	7.70	83.10	90.80	8.48
064_2A1790	Abieteto	Produttiva	9.25	136.72	145.97	6.34
064_2A1800	Piceo - faggeta	Produttiva	16.70	145.26	161.96	10.31
064_2A1840	Abieteto	Produttiva	12.66	145.93	158.60	7.99
064_2D2160	Piceo - faggeta	Ambientale	52.46	266.61	319.07	16.44
073_1B0110	Lariceto	Protettiva	20.79	123.11	143.90	14.45

Codice particella	Categoria Forestale	Funzione	MgC ha <sup>-1</sup> <17.5 cm	MgC ha <sup>-1</sup> >17.5 cm	MgC ha <sup>-1</sup> totale	% C <17.5 cm
080_2A0010	Abieteto	Produttiva	5.56	129.83	135.39	4.10
080_2D0150	Pecceta	Produttiva	10.93	90.05	100.98	10.82
080_2E0060	Piceo - faggeta	Produttiva	32.96	67.15	100.11	32.92
080_2F0220	Pecceta	Produttiva	3.60	104.11	107.72	3.35
082_2A0190	Pecceta	Produttiva	11.22	165.68	176.89	6.34
082_2B0020	Faggeta	Produttiva	34.46	103.56	138.02	24.97
082_2B0030	Faggeta	Produttiva	35.79	104.21	140.00	25.56
082_2B0370	Faggeta	Produttiva	23.81	162.65	186.45	12.77
084_2A0020	Abieteto	Produttiva	14.93	159.28	174.21	8.57
085_1A0060	Piceo - faggeta	Produttiva	6.96	162.01	168.97	4.12
051_2B0240	Faggeta	ceduo	35.63	39.67	75.30	47.31
082_2D0410	Faggeta	ceduo	56.21	99.37	155.58	36.13
082_2F0840	Faggeta	ceduo	55.10	96.92	152.02	36.25
084_2C0100	Faggeta	ceduo	35.31	137.43	172.74	20.44

Si riportano di seguito i dati relativi allo *stock* medio di carbonio ripartiti per categoria forestale, dove possibile classe di densità (Tabella 15) e funzione prevalente delle particelle analizzate (Tabella 16), stimati attraverso i coefficienti riportati in Tabella 8.

**Tabella 15: carbonio medio per categoria forestale (Mg ha<sup>-1</sup>) complessivo e afferente alle sole piante con diametro superiore alla soglia di 17.5 cm**

Categ. forestale	classe densità	Totale		Dbh>17.5 cm		Totale		% C Dbh <17.5 cm
		MgC ha <sup>-1</sup>	Dev.Stand.	MgC ha <sup>-1</sup>	Dev.Stand.	MgC ha <sup>-1</sup>	Dev.Stand.	
Abieteto	1	112.74	10.47	102.29	11.70	133.09	11.49	7.31
	2	135.06	14.48	127.72	14.54			
	3	141.24	8.94	131.19	6.96			
	4	143.34	12.05	132.27	9.91			
Pecceta	1	90.47	8.05	82.98	9.00	100.62	9.38	7.93
	2	94.98	6.23	86.87	3.32			
	3	116.41	13.88	108.06	13.79			
Piceo - faggeta	1	117.17	9.99	96.10	13.27	166.92	30.24	13.91
	2	216.67	50.50	191.29	37.42			
Pineta	1	56.72	6.11	43.96	5.39	56.72	6.11	22.48
Faggeta	1	154.82	15.72	123.47	19.46	154.82	15.72	20.25
Lariceto	1	104.63	16.55	93.18	12.65	104.63	16.55	10.94
Ceduo di faggio	-	138.91	21.49	93.35	19.98	138.91	21.49	
Media fustaie						98.92	11.07	13.81

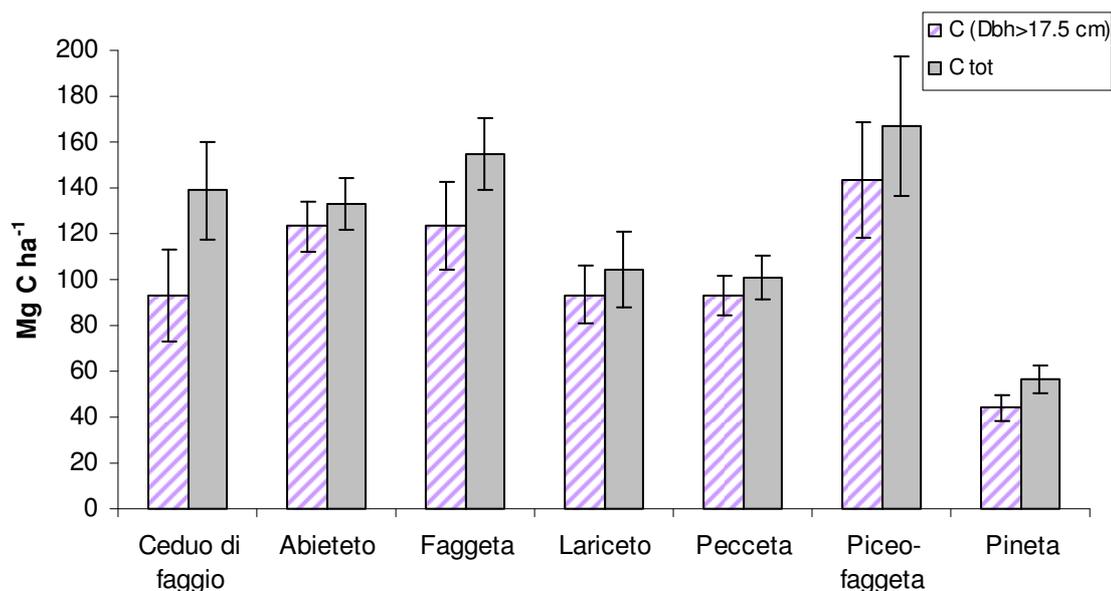


Figura 8: carbonio medio stoccato ( $\text{Mg ha}^{-1}$ ) per categoria forestale, nelle piante con diametro ad 1.30 m superiore ai 17.5 cm e totale (colonna grigia)

Tabella 16: carbonio medio per funzione predominante ( $\text{Mg ha}^{-1}$ ), complessivo e afferente alle sole piante con diametro superiore alla soglia di 17.5 cm

Funzione	Totale		Dbh>17.5 cm		% C Dbh <17.5 cm
	MgC ha <sup>-1</sup>	Dev.Standard	MgC ha <sup>-1</sup>	Dev.Standard	
Ambientale	216.67	50.50	191.29	37.42	11.71
Produttiva	125.23	12.90	113.39	12.39	9.46
Protettiva	98.73	12.88	85.41	11.44	13.49
Turistico - ricreativa	94.98	6.23	86.87	3.32	8.54

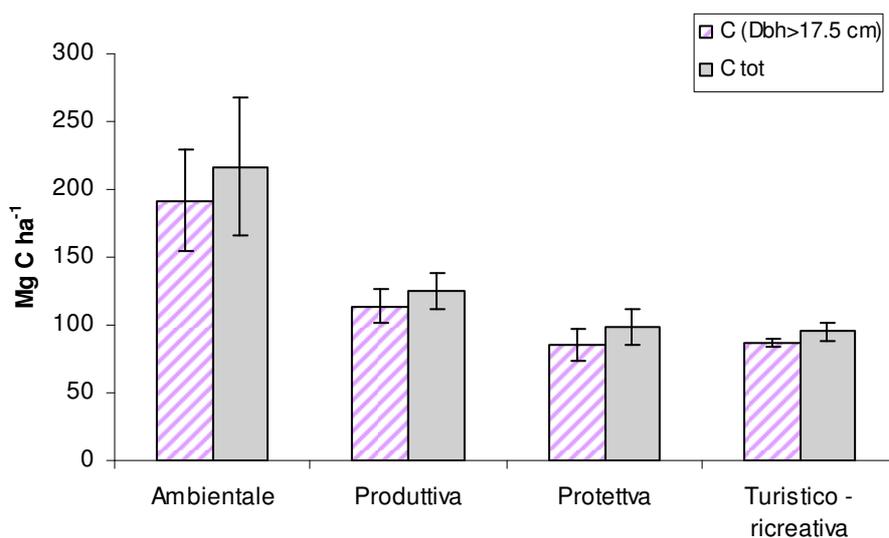
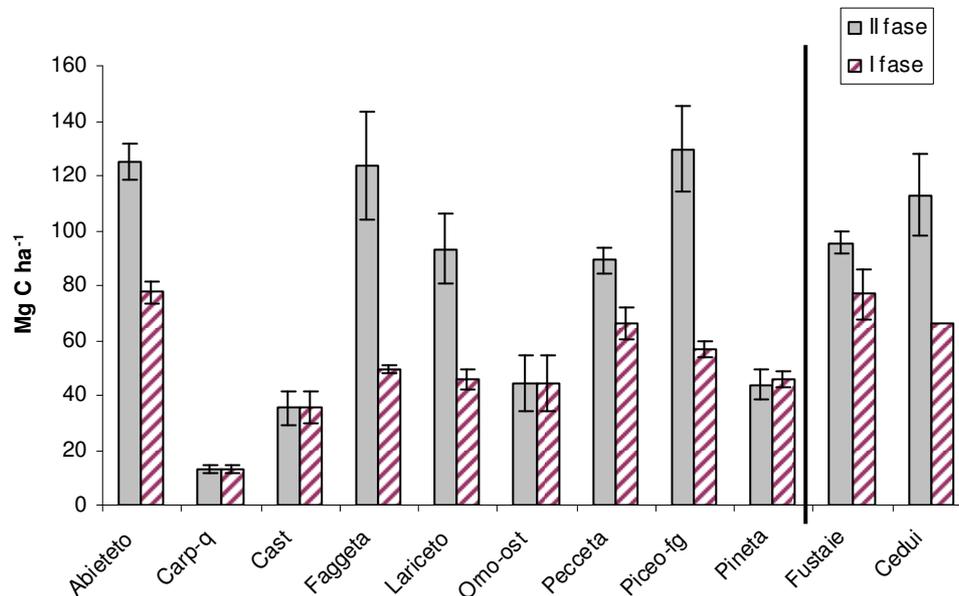


Figura 9: carbonio medio stoccato ( $\text{Mg ha}^{-1}$ ) per funzione predominante delle particelle, nelle piante con diametro ad 1.30 m superiore ai 17.5 cm e complessivo (colonna grigia)

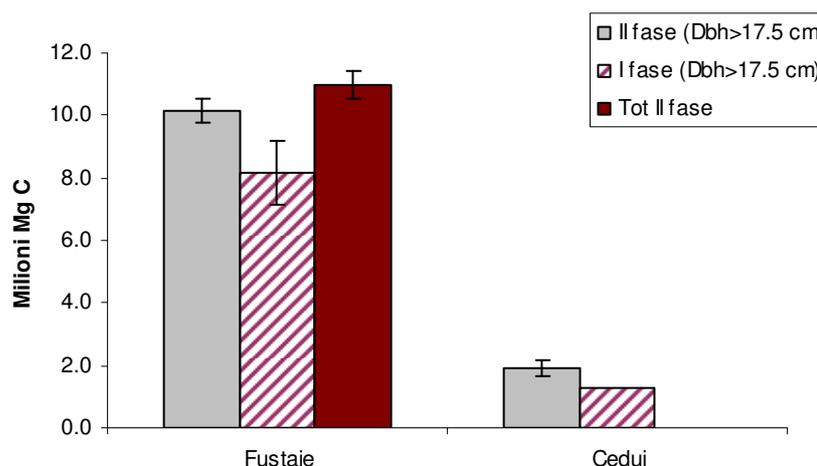
Considerando poi la superficie boscata complessiva soggetta a piani di assestamento della regione Veneto ed assegnando i valori di *stock* di carbonio stimati nel corso della fase preliminare, per quelle formazioni che non sono state oggetto di rilievo, aumentati del 14%

(percentuale media di C afferente alle classi superiori alla soglia di cavallettamento) (Figura 10) è stato valutato lo stock totale delle aree boscate gestite (intendendo per gestite le particelle per le quali è presente un piano di assestamento).



**Figura 10: stock medio di carbonio stimati nel corso di questa indagine (II fase) e nel corso della fase preliminare (I fase) per CF e afferente alle classi diametriche >17.5 cm**

I valori riportati evidenziano come l'analisi eseguita nel corso della prima fase abbia portato ad una generale sottostima rispetto ai valori elaborati utilizzando i dati rilevati, pari in media a circa il 21% per le fustaie e al 41% per i cedui.



**Figura 11: stock totale di carbonio della regione Veneto per fustaie e cedui stimati nel corso di questa indagine (II fase) e nel corso della fase preliminare (I fase)**

**Tabella 17: valori medi e complessivi di stock di carbonio distinti in categoria forestale per tutte le classi diametriche per la regione Veneto**

<b>Categoria forestale</b>	<b>A (ha)</b>	<b>Mg C ha<sup>-1</sup></b>	<b>Dev. Stand.</b>	<b>Mg C</b>	<b>Dev. Stand.</b>
Abietetto	18999.9	134.2	6.7	2549851.8	128024.3
Carp-q	166.0	13.2	1.6	2177.9	836.3
Castagneto	53.8	35.7	6.2	1915.7	311.4
Faggeta	6440.4	154.8	15.7	997102.7	101259.8
Lariceto	21310.9	104.6	16.6	2229759.5	352713.1
Orno-ostrieto	311.6	44.6	10.3	13850.6	1063.3
Pecceta	42678.3	97.2	4.9	4148527.1	210370.0
Piceo-faggeta	6615.7	152.2	18.9	1006628.4	125046.0
Pineta	6593.0	56.7	6.1	373955.0	40282.1
Fustaie	106103.0	109.8	4.5	10966682.3	461047.7
Cedui	17122.0	112.8	14.9	1931609.2	254310.5
<b>TOTALE</b>	<b>123225.0</b>			<b>12898291.5</b>	<b>393848.3</b>

Considerando invece non solo le particelle forestali sottoposte a piano di assestamento, ma l'intera superficie boscata del Veneto, secondo quanto riportato nella Carta Regionale dei Tipi Forestali (Del Favero 2006), stimata con la definizione di bosco FRA2000<sup>4</sup>, così come è stato fatto anche per l'Inventario Nazionale delle Foreste e dei serbatoi di Carbonio, stimiamo un contributo complessivo del settore forestale regionale pari a 38.8 milioni Mg C (Dev. Stand. 1.45) per una superficie di 394909.9 ha complessivi di bosco.

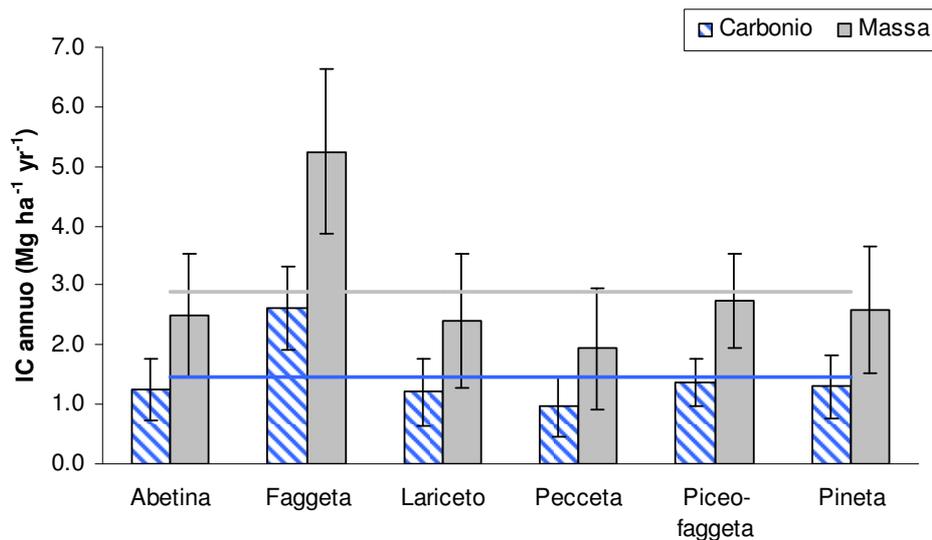
#### **2.5.4 Stima dell'accrescimento**

Attraverso la procedura precedentemente illustrata è stato stimato l'accrescimento medio in volume per ogni particella rilevata e successivamente trasformato in incremento in biomassa ed in carbonio; distinguendo per categoria forestale notiamo come l'incremento dei cedui di faggio risulti il più elevato (Tabella 18, Figura 12).

**Tabella 18: carbonio medio annuo stoccato nell'anno dei rilievi e assorbimento medio annuo suddiviso per categoria forestale, senza considerare le utilizzazioni avvenute nelle singole particelle**

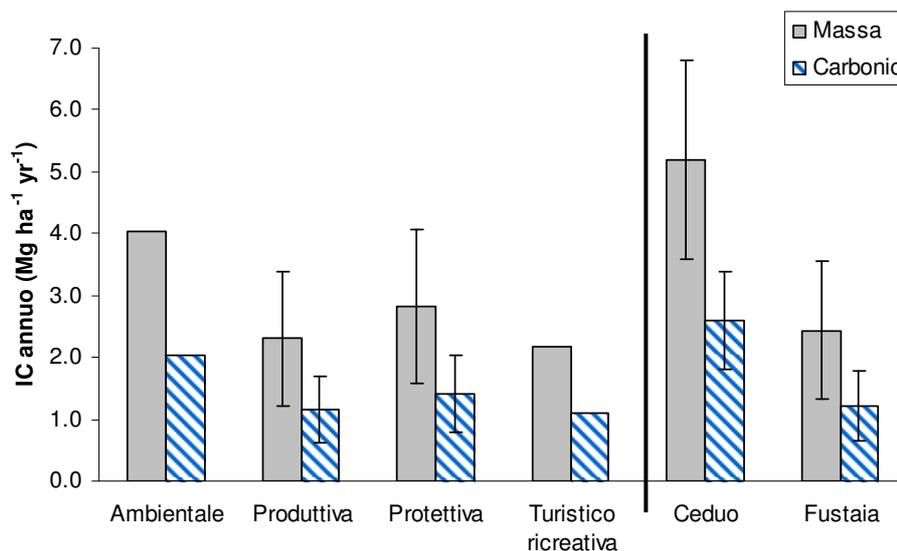
<b>Categoria Forestale 2006</b>	<b>Incremento biomassa Mg ha<sup>-1</sup>yr<sup>-1</sup></b>	<b>Dev. Stand.</b>
Abetina	2.49	1.03
Ceduo di faggio	5.24	1.39
Lariceto	2.41	1.13
Pecceta	1.94	1.01
Piceo-faggeta	2.73	0.78
Pineta	2.59	1.07

<sup>4</sup> Superficie minima di 5000 m<sup>2</sup>, copertura arborea minima del 10%, larghezza minima di 20 m, altezza minima piante a maturità 5 m



**Figura 12: incremento corrente medio di carbonio e di biomassa per categoria forestale e corrispondente valore medio di tutte le particelle rilevate**

Considerando invece la funzione prevalente attribuita alle particelle nei piani di assestamento è evidente un accrescimento maggiore nell'unica particella a funzione "ambientale" rilevata e nel complesso incrementi più elevati per le particelle con funzione prevalente protettiva, rispetto alle particelle di produzione, pur considerando l'elevata incertezza associata ai dati; le particelle gestite a ceduo, tutte di faggio, evidenziano un incremento pari a circa il doppio rispetto a quello medio rilevato per le fustaie (Figura 13).



**Figura 13: incremento corrente medio di carbonio e biomassa per funzione prevalente e forma di governo**

### 2.5.5 Assorbimento medio di carbonio

Lo *stock* di carbonio stimato per le particelle sulle quali sono stati svolti più di un rilievo in tempi diversi può essere confrontato con i valori di *stock* stimati a partire dalle seriazioni

diametriche dei rilievi precedenti, basati sulla sola biomassa epigea superiore ai 17.5 cm; in questo modo otteniamo dati di assorbimento reale di carbonio, al netto delle utilizzazioni effettuate. Tale confronto rileva un incremento nello stock di carbonio delle particelle imputabile in parte ad un effettivo aumento di biomassa arborea epigea, ma in parte anche al fatto che i rilievi a fine assestamentale tendono a volte a tralasciare talune componenti arboree come ad esempio il faggio, considerato alla stregua di ceduo sottoposto.

I dati ottenuti sono stati poi incrementati per le particelle gestite a fustaia in base alle percentuali di biomassa afferente alle classi inferiori all'usuale soglia di cavallettamento rilevate.

Il valore medio di assorbimento di carbonio, al netto delle utilizzazioni risulta pari a:

- 2.3 Mg C ha<sup>-1</sup> anno<sup>-1</sup> per le formazioni gestite a ceduo
- 1.1 Mg C ha<sup>-1</sup> anno<sup>-1</sup> per le formazioni gestite a fustaia.

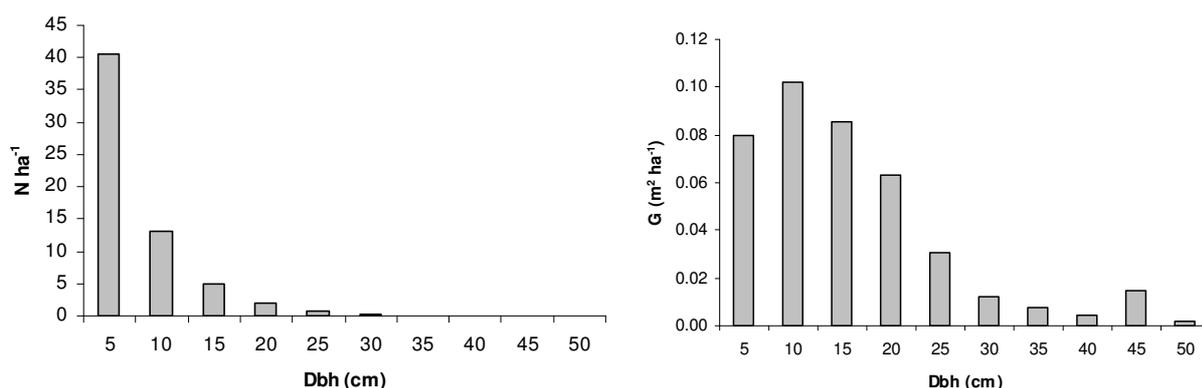
Tali dati di *sink* di carbonio dovranno essere però, secondo le regole del Protocollo di Kyoto per la gestione forestale, ridotti al 15%.

Nell'allegato 8.3 è riportata, per ogni particella con distribuzione diametrica rilevata in anni diversi, la distribuzione del carbonio epigeo per classi diametriche di 5 cm.

### **2.5.6 Piante morte in piedi**

Per tutte le particelle rilevate è stata ricostruita la seriazione diametrica delle piante morte in piedi per classi di 5 cm. Riportiamo la distribuzione diametrica e di area basimetrica per l'insieme di tutte le particelle gestite a fustaia (Figura 14).

In termini di numero di fusti presenti ad ettaro, il 95% delle piante rilevate nel complesso delle particelle appartiene alle classi con diametri inferiori alla classe del 20; anche circa il 67% dell'area basimetrica complessiva, sempre riferita al complesso delle particelle esaminate, risulta afferente alle piante con diametri inferiori ai 17.5 cm.



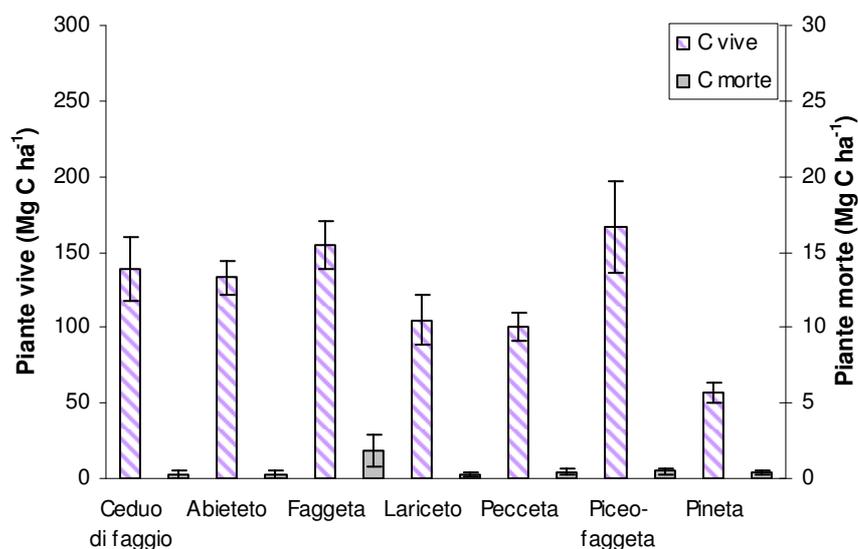
**Figura 14: distribuzione diametrica e di area basimetrica delle piante morte in piedi rilevate**

In media la percentuale di individui morti rispetto agli individui totali presenti è pari a circa il 3.1% nelle fustaie e al 2.8% nei cedui, mentre in termini di area basimetrica abbiamo rilevato un valore di 0.83% per le fustaie e 0.60% per i cedui.

Tramite la distribuzione diametrica è stata stimata la biomassa epigea delle piante morte utilizzando i valori di densità basale riferiti alle classi di decadimento 2 e 3; applicando poi le equazioni (27), (28) ed (29) alla massa epigea totale delle piante morte in piedi di classe 3 è stato possibile stimare il contributo della massa morta nelle singole particelle (allegato 8.4) nonché il valore medio per categoria forestale in termini di carbonio stoccato (Tabella 19).

**Tabella 19: carbonio stoccato nelle piante morte in piedi per categoria forestale**

Categoria forestale	classe	MgC ha <sup>-1</sup>	Dev.Standard	MgC ha <sup>-1</sup>	Dev.Standard	% Cmorte/Ctot
Abieteteto	1	0.73	0.72	0.31	0.26	0.23
	2	0.14	0.09			
	3	0.35	0.22			
	4	0.00	0.00			
Pecceta	1	0.85	0.42	0.41	0.2	0.40
	2	0.36	0.15			
	3	0.01	0.01			
Piceo-faggeta	1	0.25	0.16	0.47	0.25	0.28
	2	0.69	0.34			
Pineta				0.44	0.15	0.77
Faggeta				1.86	1.06	1.18
Lariceto				0.27	0.13	0.26
Ceduo di faggio				0.29	0.28	0.21
Media fustaie				0.49	0.11	0.50



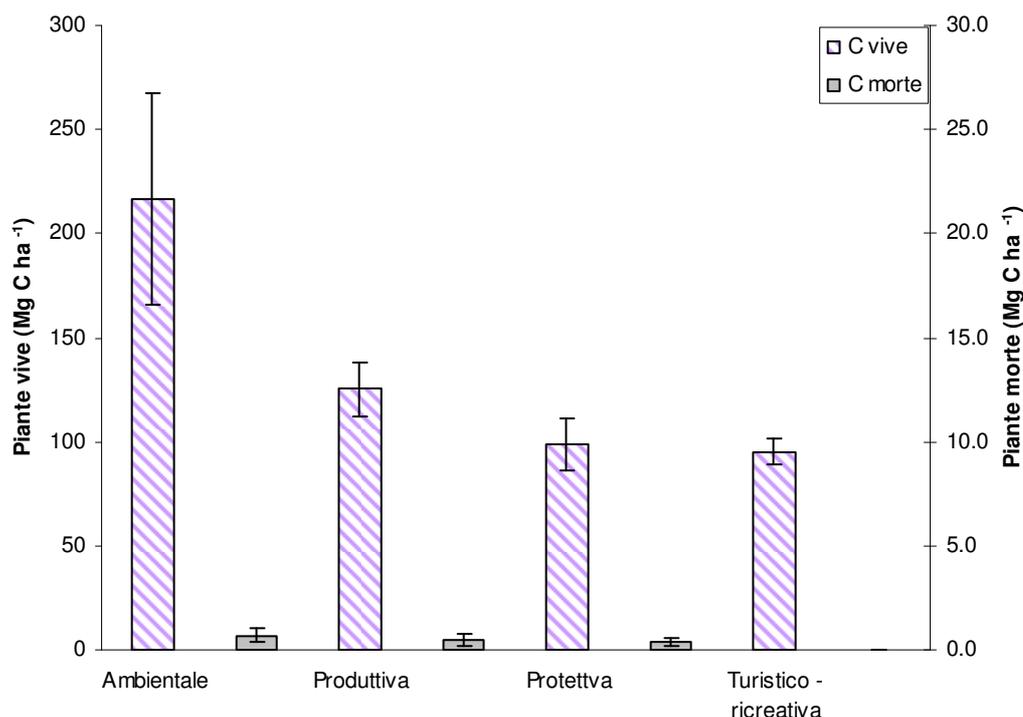
**Figura 15: carbonio stoccato nella biomassa arborea epigea delle piante vive e nelle piante morte nelle diverse categorie forestali**

La tabella sottostante evidenzia lo stock di carbonio stoccato nelle piante morte in piedi a seconda delle diverse funzioni prevalenti attribuite alle particelle sottoposte a rilievo.

**Tabella 20: carbonio stoccato nella massa morta epigea delle piante morte in piedi per funzione prevalente**

Funzione	MgC ha <sup>-1</sup>	Dev.Standard	% Cmorte/Ctot
Ambientale	0.69	0.34	0.32
Produttiva	0.49	0.29	0.39
Protettiva	0.36	0.17	0.36
Tursitico-ricreativa	0.01	0.01	0.01

Di seguito invece riportiamo i valori medi di carbonio stoccato nella biomassa arborea epigea delle piante vive e morte in piedi per funzione principale delle particelle rilevate (Figura 16).



**Figura 16: carbonio stoccato nella massa arborea epigea delle piante morte in piedi (Mg ha<sup>-1</sup>) stimato per funzione prevalente assegnata alle particelle**

Considerando la superficie boscata complessiva soggetta ai piani di assestamento della regione Veneto ed assegnando i valori di stock di carbonio medi per quelle formazioni che non sono state oggetto di rilievo è stato valutato il carbonio totale stoccato nelle piante morte in piedi delle aree boscate gestite (Tabella 22).

**Tabella 21: valori medi e complessivi di carbonio stoccato nelle piante morte in piedi distinti in categoria forestale per tutte le classi diametriche per la regione Veneto**

Categoria forestale	A (ha)	Mg C	Dev. Stand.
Abieteteto	18999.9	5719.61	2830.38
Carp-q	166.0	82.31	69.08
Castagneto	53.8	26.68	20.38
Faggeta	6440.4	11979.14	6826.82
Lariceto	21310.9	5753.94	2770.42
Orno-ostrieto	311.6	154.50	129.67
Pecceta	42678.3	21241.27	7898.80
Piceo-faggeta	6615.7	2677.50	1047.19
Pineta	6593.0	2900.92	988.95
Fustaie	106103.0	50535.87	11259.64
Cedui	17122.0	4880.20	3519.25
TOTALE	123225.0	55416.07	10272.74

Considerando invece non solo le particelle forestali sottoposte a piano di assestamento, ma l'intera superficie boscata del Veneto, stimiamo un contributo complessivo in termini di carbonio della piante morte in piedi pari a 0.29 milioni Mg C (Dev. Stand. 0.091) per una superficie di 394909.9 ha complessivi di bosco.

## 2.6 Discussione

### 2.6.1 **Analisi delle categorie forestali e stima dello *stock* di carbonio**

Come evidenziato dalla Tabella 13 le particelle che sono state riclassificate in categorie forestali (CF) differenti rispetto a quelle che erano state assegnate nella prima fase appartengono indifferentemente a campioni che erano stati oggetto in passato di sola stima o di rilievo. Si osserva però come nelle particelle già oggetto di rilievo questo sia stato effettuato più di 10 anni fa: ciò può spiegare il cambiamento nella composizione percentuale delle specie registrato nei rilievi più recenti.

Sempre considerando le particelle già oggetto di rilievo notiamo un aumento della presenza di faggio rispetto ad altre specie. Questa variazione ha una spiegazione sia dal punto di vista ecologico, considerando le potenzialità della latifolia in aree interessate da rimboschimenti di abete rosso ed altre conifere, sia ricordando che, da un lato, i rilievi eseguiti nel corso dei piani di assestamento non misurano le piante con diametro inferiore ai 17.5 cm nonché ciò che non è rilevante ai fini produttivi e, dall'altro, il faggio, soprattutto in passato, è stato spesso considerato, nelle particelle produttive, alla stregua di ceduo sottoposto.

Eseguita l'analisi discriminante e la classificazione di tutte le particelle in CF, è stata stimata la distribuzione media della biomassa, evidenziando la porzione afferente alle classi inferiori all'usuale soglia di cavallettamento.

La biomassa inferiore ai 17.5 cm per le particelle governate a fustaia in media risulta così suddivisa:

- Abietetto → 7.31% della biomassa totale
- Faggeta → 20.25% della biomassa totale
- Piceo-faggeta → 13.91% della biomassa totale
- Lariceto → 10.94% della biomassa totale
- Pecceta → 7.93% della biomassa totale
- Pineta → 22.48 % della biomassa totale

Le elaborazioni di stima del carbonio eseguite a partire dalle seriazioni diametriche attuali delle particelle campione hanno portato ad una valutazione dello *stock* di carbonio presente nella biomassa arborea epigea, evidenziando la frazione appartenente alle classi inferiori e superiori al diametro soglia di 17.5 cm, per fustaie e per cedui di faggio.

Riassumiamo ora le caratteristiche medie di questi due tipi di gestione:

1. Fustaie di diverse categorie forestali: *stock* medio di carbonio pari a 98.92 Mg ha<sup>-1</sup> (DS= 11.07), di cui circa il 14% afferente alle piante con diametro inferiore ai 17.5 cm.

2. Cedui di faggio in conversione: *stock* medio di carbonio pari a  $138.91 \text{ Mg ha}^{-1}$  (DS=21.49).

Non si evidenzia una sostanziale differenza nella distribuzione della biomassa tra le particelle governate a fustaia con predominanza di latifoglie rispetto a quelle con maggiore presenza di conifere. Le particelle a funzione protettiva ed ambientale presentano una percentuale di biomassa nelle classi piccole maggiore rispetto a quelle con funzione produttiva, probabilmente proprio per il tipo di gestione cui vengono sottoposte.

La maggiore presenza di piante piccole registrata nei cedui, pur con un campione costituito da 4 sole particelle di faggio è coerente con il trattamento cui sono sottoposte tali formazioni.

Considerando l'insieme di tutte le particelle governate a fustaia, il valore medio di biomassa afferente alle classi inferiori alla normale soglia di cavallettamento è pari al 14% della biomassa totale presente. Il precedente studio aveva utilizzato un fattore di correzione della biomassa arborea inferiore a 17.5 cm, desunto dall'Inventario dei Boschi non Pubblici (Preto 1984) relativi alle formazioni d'altofusto, pari a 1.3. Questo significa che la biomassa delle classi inferiori era considerata pari al 30% della biomassa totale della particella, valore che risulta sovrastimato rispetto a quanto ottenuto tramite i rilievi effettuati.

Per quanto riguarda i dati relativi allo stoccaggio di carbonio, per la Provincia di Trento viene riportato uno *stock* di  $55 \text{ Mg C ha}^{-1}$  per le faggete, di  $71 \text{ Mg C ha}^{-1}$  per le peccete secondarie e di  $140 \text{ Mg C ha}^{-1}$  per le abetine (Tonolli and Salvagni 2007). Le categorie proposte per il trentino tuttavia, coincidono solo in parte con le categorie forestali adottate nel presente studio; si registrano valori analoghi a quanto emerso in questa indagine considerando il valore medio riportato per il Trentino per le fustaie, pari a  $99.66 \text{ Mg C ha}^{-1}$ , mentre per i cedui i valori risultano nettamente inferiori ( $57 \text{ Mg C ha}^{-1}$ ); in questo studio i cedui su cui sono stati svolti i rilievi, nonostante siano ancora registrati con questa forma di gestione nei piani di assestamento, sono nella realtà cedui invecchiati o già in conversione.

Lo stock rilevato in Veneto per le faggete risulta nettamente superiore a quanto evidenziato in Trentino, ma analogo allo stock ( $120 \text{ Mg C ha}^{-1}$ ) riportato per le faggete della Germania occidentale (Joosten et al. 2004). Hajny (Hajny 2003) per i boschi coetanei di Leinefelde (Germania nord orientale) riporta valori di biomassa totale epigea compresi tra  $97 \text{ Mg ha}^{-1}$  per popolamenti di 30 anni e  $240 \text{ Mg ha}^{-1}$  per formazioni di oltre 150 anni. Per le peccete, ancora Hajny (2003), per il sito di Tharandt (Germania orientale) indica una biomassa totale epigea compresa tra 291 e  $70 \text{ Mg ha}^{-1}$ , rispettivamente per popolamenti coetanei di 107 e 24 anni, mentre per il sito di Renòn (Provincia di Bolzano), riporta una biomassa totale di 156

Mg ha<sup>-1</sup>. L'INFC riporta per il Veneto valori medi di fitomassa arborea epigea per la categoria boschi alti di 128.7 Mg ha<sup>-1</sup>, e per l'Italia di 101 Mg ha<sup>-1</sup> (INFC 2008); ricordiamo che la metodologia di assegnazione di tali categorie differisce in parte da quella proposta in questo studio poiché sono state assegnate attraverso l'individuazione al suolo delle specie arboree prevalenti su di un'area di osservazione di 2000 m<sup>2</sup>.

Tutti i valori riportati in questo studio per il Veneto si riferiscono alla sola biomassa arborea epigea, non comprendente perciò né la componente ipogea, né il carbonio stoccato a livello di suolo e lettiera. Secondo Liski *et al.* (Liski et al. 2002) il C stoccato a livello del suolo, per l'Italia, sarebbe pari al 31% dello *stock* complessivo salendo, per i Paesi dell'Europa centrale, al 42%. Ancora Tonolli e Salvagni. (2007) indicano per la Provincia di Trento uno *stock* a livello del suolo variabile tra 160 Mg ha<sup>-1</sup>, in querceti misti della fascia collinare e 38 Mg ha<sup>-1</sup> nei lariceti secondari con valori medi, rispetto alla biomassa totale, del 9.6% per la biomassa epigea e del 44.6% per la sostanza organica nel suolo, sostanzialmente pari allo *stock* presente nella biomassa epigea.

## 2.6.2 Stima del *sink* di carbonio

Le informazioni relative all'accrescimento legnoso dei boschi risultano particolarmente importanti per la comprensione e la quantificazione della funzione di assorbimento di carbonio effettuata dagli ecosistemi forestali.

L'analisi delle carotine prelevate durante i rilievi a portato ad una stima dell'incremento in biomassa arborea epigea pari in media a 2.4 Mg ha anno<sup>-1</sup> (SD=1.13) per le fustaie e 5.19 Mg ha anno<sup>-1</sup> (SD=1.60) per i cedui. Per la Provincia di Trento è stato stimato un incremento medio in biomassa per il periodo 1995-2000 pari a 3.2 Mg ha anno<sup>-1</sup> (Tonolli and Salvagni 2007).

Confrontando però i dati provenienti dai rilievi svolti in anni differenti è stato stimato l'assorbimento medio di carbonio al netto delle utilizzazioni, che, ridotto al 15% secondo le regole di contabilizzazione del PK, porta a valori pari a:

- a. 0.16 Mg C ha anno<sup>-1</sup> per le formazioni gestite a fustaia
- b. 0.34 Mg C ha anno<sup>-1</sup> per le formazioni gestite a ceduo

Moltiplicando il *sink* netto così ottenuto per l'estensione della superficie forestale otteniamo che il carbonio fissato nella componente arborea epigea a livello regionale sarà pari a:

- a. Considerando solo la superficie soggetta a Piani di Assestamento:
  - 16976.5 Mg C anno<sup>-1</sup> per le fustaie
  - 5821.5 Mg C anno<sup>-1</sup> per i cedui

Per un totale di 22798 Mg C anno<sup>-1</sup> (83592 Mg CO<sub>2</sub> anno<sup>-1</sup>).

b. Considerando l'intera superficie forestale del Veneto (Del Favero 2006)

- 38400.9 Mg C anno<sup>-1</sup> per le fustaie
- 52667.4 Mg C anno<sup>-1</sup> per i cedui

Per un totale di 91068 Mg C anno<sup>-1</sup> (333917 Mg CO<sub>2</sub> anno<sup>-1</sup>).

A titolo di confronto si ricorda che per la Valle d'Aosta è stato riportato un *sink* medio annuo proveniente dalla gestione forestale pari a 65490 Mg CO<sub>2</sub> anno<sup>-1</sup> (Ciccarese et al. 2006), con una superficie boscata riportata dall'INFC pari a 98439 ha. Per la Provincia di Trento invece è stato stimato un assorbimento netto di carbonio, senza scontare le utilizzazioni e senza ridurre al 15%, pari a 0.23 milioni Mg C anno<sup>-1</sup> per i cedui e 0.29 Milioni Mg C anno<sup>-1</sup> per le fustaie (Tonolli and Salvagni 2007).

### 2.6.3 Contributo delle piante morte in piedi

Contrariamente alle attese, la percentuale media di piante morte in piedi rispetto alle piante totali è risultata superiore nelle particelle a funzione produttiva rispetto a quelle con funzione protettiva, anche se con una grande variabilità tra le diverse particelle considerate.

Uno studio svolto nel Parco Nazionale dell'Aspromonte riporta per il pino laricio un valore medio di piante morte in piedi in numero di individui pari al 3.5% rispetto al numero totale per popolamenti naturali e il 6.4% per rimboschimenti (La Fauci et al. 2006) mentre per foreste mature del centro Europa e del sud della Svezia diversi studi riportano valori medi del 10% (Lee et al. 1997, Nilsson et al. 2002, La Fauci et al. 2006). L'INFC riporta valori per il Veneto valori medi di 117 piante morte ad ha<sup>-1</sup>, superiore rispetto a quanto rilevato in questo studio (55 piante morte ha<sup>-1</sup> per le fustaie e 146 piante morte ha<sup>-1</sup> per i cedui).

Rileviamo poi come: (i) per entrambi i tipi di gestione (fustaia e ceduo), la maggiore parte di piante morte in piedi appartenga alle classi diametriche più piccole, mentre i soggetti con diametri maggiori sono poco interessati dal fenomeno, coerentemente con quanto riportato anche in altri studi (Lee et al. 1997, Greif and Archibold 2000, La Fauci et al. 2006) e (ii) la numerosità sia superiore, sempre per le classi diametriche più piccole, nelle particella a funzione prevalente produttiva.

Una seconda osservazione riguarda il rilevamento delle piante morte in piedi e della corrispondente massa morta, stimata rispetto alla categoria forestale di appartenenza della particella, per verificare se la maggiore presenza di alcune specie arboree comporti una mortalità maggiore, soprattutto nelle classi diametriche più piccole. La Tabella 19 evidenzia come la formazione con maggiore presenza di massa morta sia la faggeta governata a fustaia, anche se con un intervallo di errore molto ampio, seguita dalla piceo-faggeta.

Infine non vengono riscontrate differenze significative tra le quantità di massa morta (e di carbonio stoccato) nelle particelle con funzione differente. La necromassa in piedi in media risulta pari a 0.49 Mg ha<sup>-1</sup> per le fustaie e a 0.29 Mg ha<sup>-1</sup> per i cedui; La Fauci *et al.* (2006) riportano, sempre per il pino laricio in Aspromonte valori che variano da 0.3 Mg ha<sup>-1</sup> a 4.95 Mg ha<sup>-1</sup>.

## **2.7 Conclusioni: gestione forestale (Art.3.4 PK)**

Il presente studio ha permesso di approfondire l'indagine preliminare fornendo indicazioni in particolare riguardo:

1. La quantità di biomassa e di carbonio presente nei soggetti con diametro inferiore alla normale soglia di cavallettamento, andando così ad individuare la percentuale di *stock* che non viene stimata utilizzando i dati dei Piani di Assestamento:
  - Fustaie: Dbh < 17.5 cm → 14 % del carbonio totale
2. Il *sink* medio annuo, ridotto al 15%, per la regione Veneto è:
  - a. considerando la sola superficie forestale soggetta a piani di assestamento 22798 Mg C anno<sup>-1</sup> (83592 Mg CO<sub>2</sub> anno<sup>-1</sup>), pari allo 0.8% del tetto massimo fissato per l'Italia nella contabilizzazione degli assorbimenti di carbonio provenienti dalla gestione forestale (*cap* nazionale pari a 2.78 milioni Mg C anno<sup>-1</sup>);
  - b. considerando l'intera superficie forestale 91068 Mg C anno<sup>-1</sup> (333917 Mg CO<sub>2</sub> anno<sup>-1</sup>), pari al 3.3% del *cap* nazionale.
3. La quantità di massa e di carbonio stoccato nelle particelle sotto forma di piante morte in piedi rispetto al carbonio totale:
  - Fustaie: 0.50% del carbonio totale
  - Cedui di faggio: 0.21% del carbonio totale
3. *Stock* di carbonio complessivo stimato per la biomassa arborea epigea delle piante vive e delle piante morte in piedi, nell'ambito dell'art 3.4 del PK (gestione forestale) per la regione veneto:
  - a. considerando la sola superficie forestale soggetta a piano di assestamento
    - 12.9 milioni Mg C (47.5 milioni Mg CO<sub>2</sub>)
  - b. considerando l'intera superficie forestale del Veneto
    - 39.1 milioni Mg C (143.3 milioni Mg CO<sub>2</sub>)

Ipotizzando un contributo della biomassa arborea ipogea pari a quanto riportato per la Provincia di Trento otteniamo un stock complessivo della componente arborea pari

rispettivamente a 13.4 milioni Mg C per le sole foreste con piano di assestamento e 40.7 milioni Mg C per tutta la superficie forestale; a tale valori va ancora aggiunto un apporto circa paritario per il carbonio stoccato nella sostanza organica del suolo (Tonolli and Salvagni 2007).

Secondo quanto emerge dai dati di superficie stimati con la conclusione della II fase dell'Inventario Nazionale (INFC 2007) circa il 9% della superficie boscata regionale risulta non disponibile e solamente il 35% circa soggetta a strumenti pianificatori specifici, quali i Piani di Riordino o di Assestamento, anche se circa il 88% della superficie risulta soggetto alle Prescrizioni di Massima e di Polizia Forestale. Potrebbero dunque rimanere alcune perplessità circa la possibilità di sostenere la presenza di effettivi interventi gestionali sull'intera superficie boscata; fonti ministeriale hanno tuttavia chiarito che "l'Italia seguirà nella definizione della gestione forestale il cosiddetto Broad Approach allineandosi a quanto si sta facendo in altri Paesi e sottolineando come sia ormai comune interpretazione affermare che tutte le aree forestali europee siano da considerarsi come aree gestite" (Lumicisi et al. 2007a, Lumicisi et al. 2007b).

### **3 Caso studio: il progetto CarbonPro**

#### **3.1 Introduzione**

CARBON-PRO è un progetto INTERREG di iniziativa comunitaria, promosso dalla Regione Friuli Venezia-Giulia e dalla Regione Veneto allo scopo di definire delle politiche per la gestione dei sistemi agricoli e forestali coerenti con il ruolo che tali aree sono chiamate a svolgere in riferimento all'applicazione del Protocollo di Kyoto. Al progetto hanno partecipato anche partner austriaci, tedeschi, ungheresi, sloveni, croati, greci e bosniaci.

Il progetto prevedeva tre tipi di azioni: la creazione di un database contenente le informazioni disponibili sui sistemi agricoli e forestali nei territori afferenti a ciascun partner, la predisposizione di modelli gestionali rivolti alla pubblica amministrazione volti a massimizzare le potenzialità dei sistemi analizzati e la disseminazione dei risultati. La realizzazione di tali azioni è stata realizzata attraverso una serie di *workpackages* (WP):

- *WP1: Transnational data collection and identification of CADSES cross-border territorial areas of intensive monitoring.*
- *WP2: Analyses of the cross-border gaps and enhancement to support the description of carbon cycle in the target areas;*
- *WP3: Carbon cycle evaluation and targets definition to improve management of resources of the cross border CADSES areas;*
- *WP4: Pilot actions for application of transnational principles of sustainable management of agricultural and forest resources;*
- *WP5: Dissemination actions*
- WP6: gestione delle attività progettuali.

Per il conseguimento di tali obiettivi, l'amministrazione regionale ha incaricato il Dipartimento TeSAF dell'Università di Padova di curare la consulenza scientifica e l'esecuzione dei rilievi previsti, partecipando ai tavoli tecnici di lavoro (TTB) previsti durante lo svolgimento del progetto.

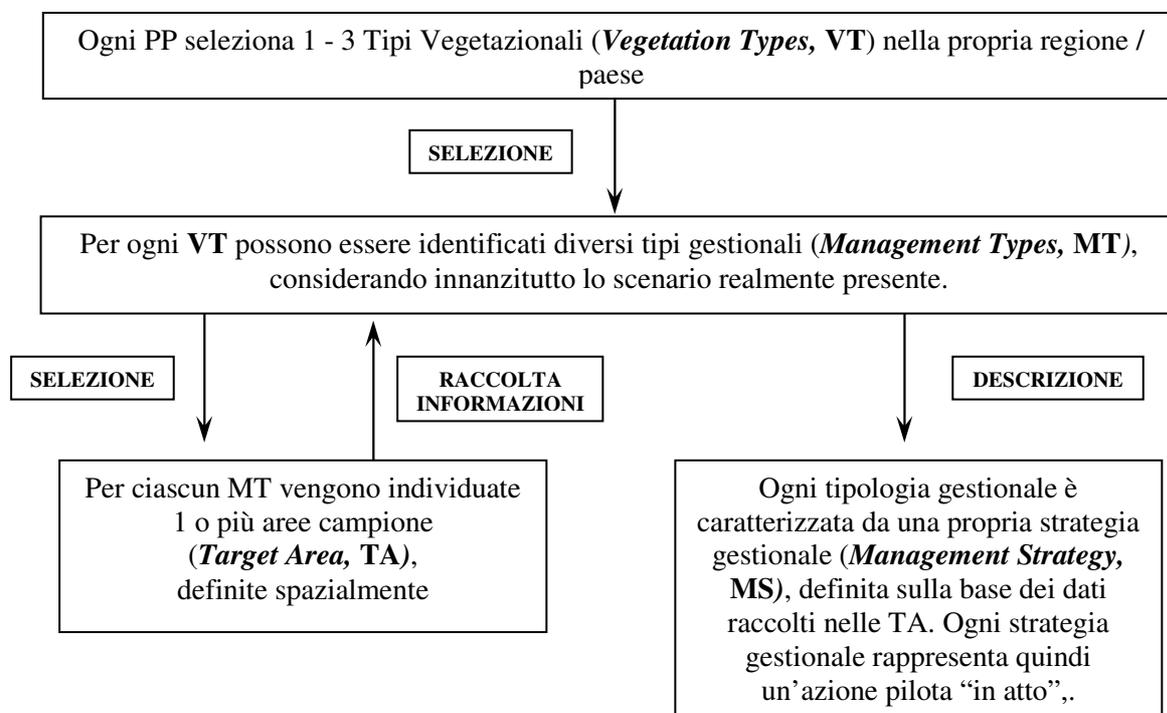
#### **3.2 Analisi preliminare degli obiettivi e definizione delle strategie di lavoro**

Tenuto conto degli obiettivi previsti e dell'esperienza maturata in ambito regionale, è stata innanzitutto presentata una proposta operativa di definizione delle Target Area e delle possibili strategie gestionali.

Per valutare il ruolo delle superfici forestali ed agro-forestali in relazione alle strategie individuate dal Protocollo di Kyoto è necessario tenere in considerazione le Linee Guida dell'IPCC (*Good practice guidance for land use, land use change and forestry*), che forniscono

metodi ed indicazioni per la stima, la misurazione, il monitoraggio e la rendicontazione dei cambiamenti nello *stock* di carbonio e delle emissioni di gas serra legate a cambiamenti d'uso del suolo.

In base a tali premesse, è stata predisposta la procedura di seguito sintetizzata:



Questo approccio ha consentito ad ogni partner di scegliere uno o più tipi vegetazionali (VT, corrispondenti ad es. a diverse tipologie forestali) in funzione delle specifiche caratteristiche del proprio territorio. In base ai tipi gestionali presenti in ogni tipo vegetazionale, sono state identificate diverse strategie gestionali (MS). Ogni strategia gestionale ha rappresentato una azione pilota in fase di svolgimento ed ha immedesimato uno scenario possibile di evoluzione nell'assorbimento del carbonio. I differenti scenari sono poi stati confrontati tenendo conto le potenzialità di assorbimento del carbonio e la situazione socio-economica.

### **3.3 Selezione delle Target area per la Regione Veneto**

In base allo schema sopra sintetizzato le aree campione sono state individuate attraverso la seguente procedura:

#### **1. Identificazione del Tipo Vegetazionale (*Vegetation type, VT*)**

Considerata la mancanza di informazioni sulle proprietà forestali private e l'ampio lavoro già svolto per conto dell'Amministrazione Regionale per le particelle assestate (Anfodillo et al.

2006c), le aree campione sono state selezionate tra queste ultime formazioni, identificando innanzitutto i seguenti tipi vegetazionali:

**- VT 1 Foreste di conifere:**

- Abieteti: 1041 particelle con foresta mista di abete bianco (*A. alba*), abete rosso (*P. abies*) e faggio (*F. sylvatica*);
- Peccete: 2172 particelle di foresta pura di abete rosso.

Entrambe queste formazioni sono caratterizzate da una presenza rilevante di abete rosso e sono quindi state considerate come un unico tipo vegetazionale.

- **VT 2 Faggete:** 842 particelle con formazioni a prevalenza di faggio, gestite sia a fustaia sia a ceduo.

## **2. Identificazione del Tipo Gestionale (Management Type, MT)**

- **VT 1: Foreste di conifere:** includono un solo tipo gestionale

**MT1- Fustaia di Conifere:** particelle a dominanza di abete rosso, eventualmente associato a faggio ed abete bianco, con funzione prevalentemente produttiva, normalmente trattate con taglio saltuario con periodi di curazione di 15 – 20 anni o taglio a buche con turni di circa 100 anni. Questo tipo gestionale rappresenta la situazione più diffusa nelle proprietà assestate della Regione Veneto.

- **VT 2 Faggete:** comprendono due tipi gestionali

**MT2 – Faggeta ad altofusto:** formazioni a funzione produttiva trattate a tagli successivi con turni di 120 anni. Tale tipo gestionale comprende anche giovani fustaie di faggio recentemente avviate a conversione ed attualmente soggette a diradamenti bassi, ampiamente diffuse nella fascia pedemontana del territorio regionale.

**MT3 – Faggeta a ceduo:** cedui a regime destinati alla produzione di legna da ardere, trattati con taglio raso con riserva, con turni di 20 anni.

## **3. Identificazione della Strategia Gestionale (Management Strategies, MS)**

- **VT 1 Foreste di conifere:** per la concreta individuazione delle TA sono state considerate le sole particelle soggette a rilievo relascopico o cavallettamento totale (802 Abieteti e 1223 Peccete). Nell'ambito degli Abieteti (assunti come rappresentativi dell'intero Tipo Vegetazionale), opportunamente suddivisi in categorie omogenee per densità e tipologia strutturale (Anfodillo et al. 2006c), sono state selezionate le sole particelle aventi due seriazioni diametriche complete rilevate nell'ambito di due Piani di Assestamento successivi. Confrontando, per ciascuna particella, la provvigione stimata in ciascun piano, sono stati calcolati l'incremento corrente annuo ed il tasso di utilizzazione, così definiti:

$$CAI = V_2 \times \frac{Ip}{100} \quad (30)$$

$V_2$ = provvigione ( $m^3 ha^{-1}$ ) relativa al secondo rilievo.

$Ip$ = incremento percentuale stimato nel secondo rilievo.

$$RD = \frac{CAI \times \Delta t - (V_2 - V_1)}{CAI \times \Delta t} \times 100 \quad (31)$$

$V_1$ = provvigione ( $m^3 ha^{-1}$ ) relativa al primo rilievo.

$\Delta t$ = anni intercorsi tra i due rilievi.

In base al valore assunto dal tasso di utilizzazione, è stato possibile individuare 4 diverse strategie gestionali. Si ricorda che la strategia gestionale, a rigore, andrebbe valutata su tutta la compresa e non a livello particellare. Questa vuole essere solo un piccolo esempio di approccio metodologico:

- **MS1 – “Business as usual”**: particelle con un tasso di utilizzazione pari a circa il 100% dell’incremento annuale (RD=100%).
- **MS2 – Selvicoltura minimale**: particelle con un tasso di utilizzazione pari a circa il 50% dell’incremento annuale (RD=50%).
- **MS3 – Selvicoltura intensiva**: particelle con un tasso di utilizzazione pari a circa il 150% dell’incremento annuo (RD>150%).
- **MS4 – Nessun intervento**: particelle con un tasso di utilizzazione pari a meno del 10% dell’incremento annuo (RD<10%).

- **VT 2 Faggete:**

**MT2 – Faggeta ad altofusto**: attraverso l’analisi dei principali parametri selvicolturali sono state identificate le seguenti Strategie Gestionali:

- **MS5 – Fustaia produttiva**: fustaia matura di faggio (età superiore ai 30 anni) destinata ad una preminente funzione produttiva .
- **MS6 – Fustaia transitoria**: ceduo recentemente sottoposto a taglio di conversione ad altofusto, ora gestito con diradamenti bassi, destinato ad una preminente produzione di legname da opera.

**MT3 – Faggeta a ceduo**:

- **MS7 – Ceduo**: ceduo a regime destinato alla produzione di legna da ardere.

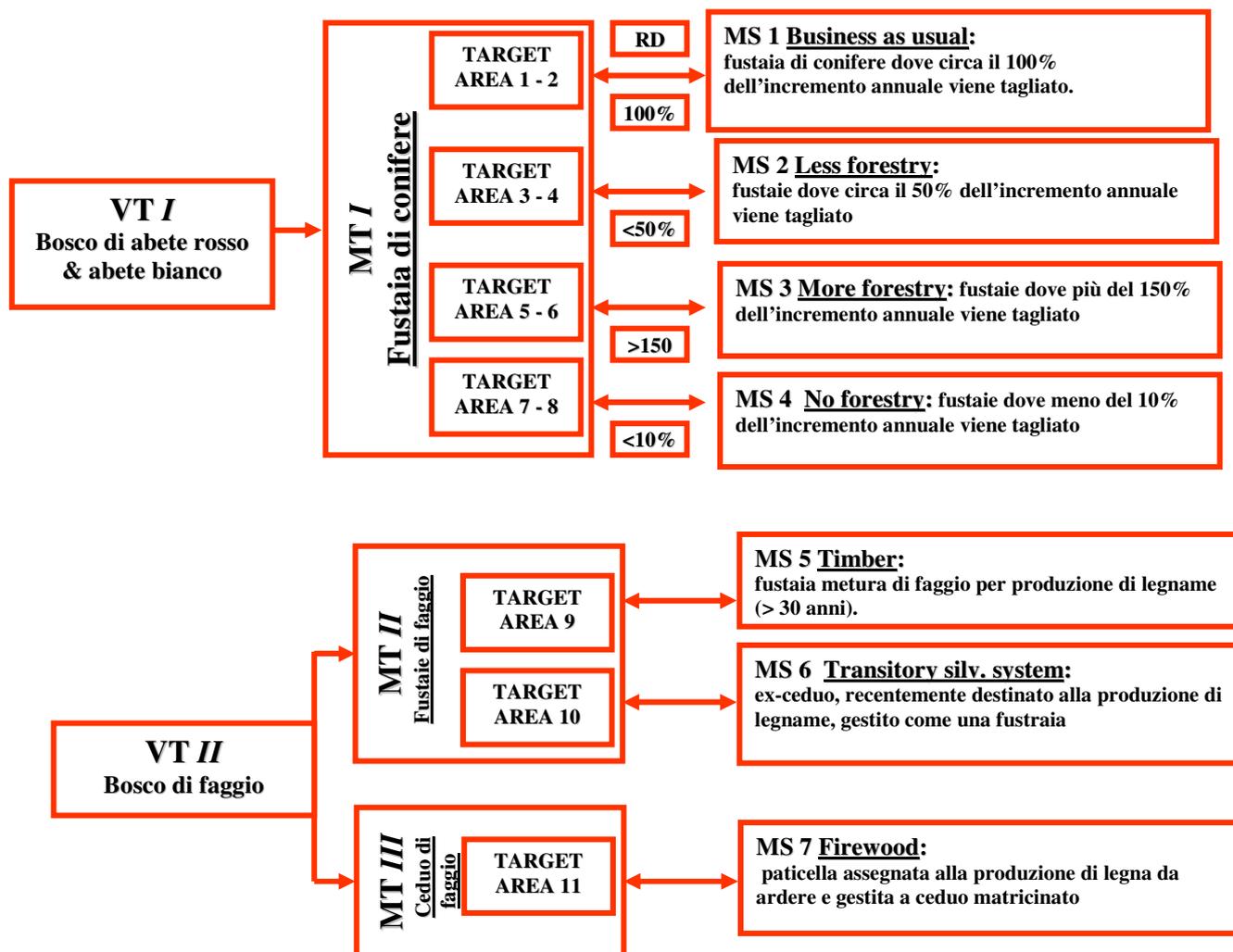


Figura 17: schema di sintesi delle strategie gestionali selezionate per la Regione Veneto

### Arece campione

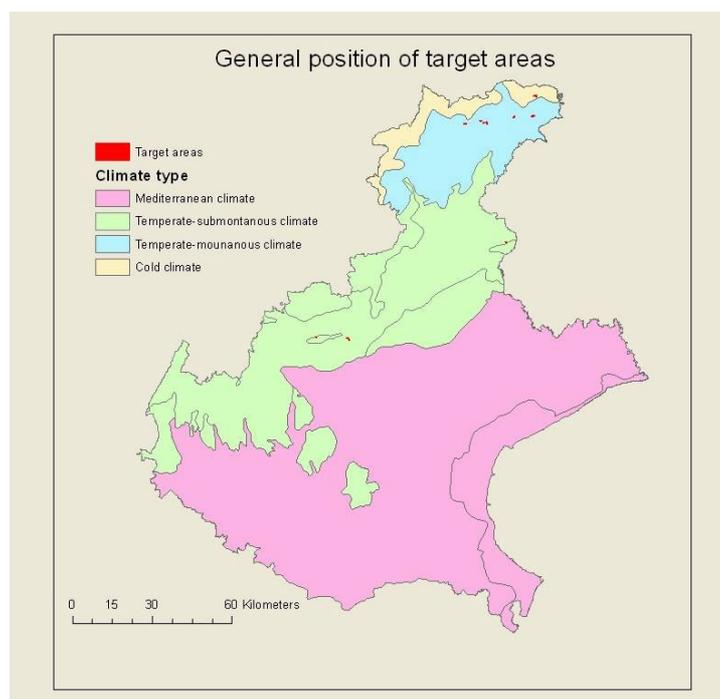
I principali parametri selvicolturali delle 11 particelle selezionate come TA per il progetto CARBON-Pro sono riportate nella tabella sottostante:

Plot ID	MS	Codice Piano	Cod Part.	Sup. (ha)	Alt. (m)	CAI (m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> y <sup>-1</sup> )	Età (y)	Densità (Piante ha <sup>-1</sup> )	Area basim. (m <sup>2</sup> ha <sup>-1</sup> )	CAI (m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> )	Distribuzione diametrica		RD (%)
											1st remark	2nd remark	
1	1	012_3	A0420	20.10	1300	7.7	160	325	36.3	425.1	1985	1996	96.6
2	1	012_3	A0910	23.40	1250	8.2	155	374	37.1	429.5	1985	1996	100.8
3	2	012_3	B0050	31.70	1275	7.5	165	384	36.4	394.5	1985	1996	46.8
4	2	012_3	B0010	23.50	1275	6.5	155	353	31.7	342.4	1985	1996	52.5
5	3	023_3	A0122	32.27	1400	6.6	170	302	30.0	327.9	1985	1996	183.2
6	3	032_3	A0231	15.80	1430	6.2	170	321	31.5	343.0	1986	1997	189.8
7	4	001_2	A0200	39.50	1450	6.3	140	326	29.0	347.9	1982	1995	4.6
8	4	064_2	A0470	10.90	1230	7.5	160	422	34.8	358.8	1984	1999	9.3
9	5	045_2	A0100	11.20	1190	-	70	420	30,7	311,4	-	-	-
10	6	070_1	A0100	21.42	1075	-	45	274	10,3	93,4	-	-	-
11	7	070_1	B0070	16.60	1015	-	-	-	-	-	-	-	-

Di seguito l'indicazione del Piano di Assestamento ove si collocano le singole TA:

Plot ID	Codice Piano	Cod Part.	Piano di Assestamento
1	012_3	A0420	Comune di Auronzo di Cadore
2	012_3	A0910	Comune di Auronzo di Cadore
3	012_3	B0050	Comune di Auronzo di Cadore
4	012_3	B0010	Comune di Auronzo di Cadore
5	023_3	A0122	Regola di Campolongo
6	032_3	A0231	Regola di Tutta Danta
7	001_2	A0200	Regola di S. Stefano di Cadore
8	064_1	A0470	Comune di Asiago
9	045_2	A0100	Comune di Tambre d'Alpago
10	070_1	A0100	Comune di Bassano del Grappa
11	070_1	B0070	Comune di Bassano del Grappa

La figura sottostante indica il posizionamento geografico delle singole particelle, concentrate per la maggior parte in Provincia di Belluno.



### 3.4 Raccolta dati e compilazione dei database

In base a quanto stabilito nei contatti tenuti con i diversi partner, si è provveduto alla raccolta, analisi ed implementazione in idonei database di tutte le informazioni tecniche disponibili per ciascuna TA.

Per la Regione Veneto è stato poi proposto per la stima della biomassa arborea l'impiego di equazioni allometriche, già utilizzate in altri progetti di ricerca condotti in ambito regionale (Anfodillo et al. 2006c, Anfodillo et al. 2007), fondate sull'applicazione di una relazione allometrica unica (Pilli et al. 2006a), basata sulle ipotesi funzionali formulate dal modello WBE

(West et al. 1999). Tale modello è stato dunque inserito nel documento di progetto "Common Transnational Guidelines on how to match models" nel quale vengono presentati tutti i diversi modelli scelti dai partner per la stima dello stock di carbonio delle aree campione selezionate.

Il progetto è poi proseguito con l'esecuzione di una serie di rilievi in foresta volti ad integrare le informazioni ad oggi disponibili.

### 3.5 Materiali e metodi

#### 3.5.1 Biomassa arborea epigea

La biomassa arborea epigea è stata stimata applicando le equazioni allometriche proposte nel corso della fase preliminare di indagine (Pilli et al. 2006a):

Fase di sviluppo	<i>b</i>	<i>Lna</i>
Giovanile	2.08	-1.64
Adulto	2.64	-3.12+1.11 <i>p</i>
Maturo	2.51	-3.51+1.27 <i>p</i>

La biomassa arborea ipogea è stata considerata pari al 30% della biomassa arborea epigea, utilizzando i valori bibliografici forniti dalle linee guida dell' IPCC (2003- Tabella 3A.1.8).

#### 3.5.2 Rilievi al suolo

Per la stima della biomassa epigea totale tramite l'utilizzo del modello *WBE* sono stati svolti nei boschi di abete bianco ed abete rosso (TA 1-8) e nelle faggete (TA 9 e 11) i seguenti rilievi:

- Rilievi relascopici (1 area ha<sup>-1</sup>) per ottenere la distribuzione diametrica con classi di 1 cm, soglia di cavallettamento 3 cm, rilievo piante morte in piedi.
- Misurazioni dell'altezza su piante campione così da ottenere la relazione diametro – altezza

#### 3.5.3 Rilievi ed analisi specifici: Target area 10

Faggeta in conversione nel comune di Bassano del Grappa<sup>5</sup> (VI), obiettivi:

1. Costruzione di una relazione allometrica empirica.
2. Costruzione di una tavola ponderale.

A tale scopo è stata rilevata la massa epigea di un congruo numero di 41 alberi modello, ripartita nella componente legnosa e fogliare:

---

<sup>5</sup> Tale lavoro è stato svolto nell'ambito dello svolgimento della tesi di laurea triennale in Tecnologie Forestali e Ambientali di Penzo D (2007) Confronto tra metodo empirico e funzionale per la stima della biomassa arborea epigea in *Fagus sylvatica*.

FUSTO, comprensivo di branche principali e rami (con corteccia), è stato suddiviso in topi dalla forma riconducibile ad un tronco di cono. Per ciascuno di essi è stata prelevata una rotella campione la cui densità è stata calcolata in laboratorio attraverso la massa e il volume della stessa ed attribuita al toppe d'appartenenza. Dalla sommatoria del peso di tutti i topi, determinata attraverso la densità ed il loro volume, è stata ottenuta la massa del fusto della singola pianta.

RAMI E RAMAGLIA: Da ciascuna delle piante modello, sono stati prelevati 1-2 rami di diverso diametro al colletto (da 1 a 10 cm). E' stata quindi pesata la componente legnosa totale e quella fogliare totale (peso fresco) di ognuno di essi. Da ciascuna componente fresca è stata poi prelevata e pesata una frazione che, posta in stufa ventilata a 103°C fino al raggiungimento di un peso costante, ha fornito il peso secco del campione. La variazione del peso della frazione (prima e dopo il posizionamento in stufa), ha quindi consentito di risalire al peso secco totale della componente di provenienza.

Noti il peso secco e il peso fresco di ciascun ramo di *i-esimo* diametro basale, distinto in foglie, ramaglia e rami, è stato possibile costruire una tavola ausiliaria (Zaccoletti 1977, Dibona 1981), ponendo in relazione tali valori con il diametro basale dei rami (*di*), attraverso delle funzioni matematiche.

Conoscendo il numero e il diametro dei rami presenti su ciascuna pianta modello, con la tavola ausiliaria è stata stimata la corrispondente massa blastometrica. Sommando quest'ultima alla massa del fusto, è stata ricavata la massa legnosa epigea e, infine, conteggiando anche la massa fogliare, è stata calcolata la biomassa epigea totale.

#### **3.5.4 Analisi della gestione pregressa**

Poiché tutte le TA prescelte ricadono entro aree soggette a piano di assestamento, è stato possibile ricostruire la gestione pregressa di ciascuna particella attraverso l'analisi delle schede particellari e dei dati relativi alle utilizzazioni.

Si è dunque proceduto alla raccolta dei piani di assestamento e dei dati relativi alle utilizzazioni delle TA così da ricostruire l'evoluzione della strategia gestionale nelle diverse particelle campione. Combinando i dati storici con i rilievi che sono stati svolti durante i primi mesi dell'estate è stato possibile identificare e confrontare i diversi scenari in atto nelle singole TA.

L'informazione ricavata da questo tipo di analisi risulta di diretto interesse ai fini delle possibili scelte gestionali.

### 3.6 Risultati

Dopo aver effettuato i campionamenti su tutte le particelle è stato dunque possibile, per le differenti strategie gestionali:

1. ottenere la seriazione diametrica attuale delle particelle campione e confrontarla con la due seriazioni precedenti già in nostro possesso
2. stimare lo stock di carbonio attualmente presente in foresta al netto delle utilizzazioni
3. stimare la variazione netta di carbonio nelle particelle campione
4. stimare la biomassa legnosa asportata con le utilizzazioni

#### 3.6.1 Distribuzione diametrica

Ogni Target Area del primo tipo vegetazionale (Abietine) al termine dei rilevamenti al suolo presenta tre seriazioni diametriche che sono dunque state poste a confronto e poi impiegate per la stima dello *stock* e quindi del *sink* di carbonio, così da ottenere un valore medio per ogni strategia gestionale. Riportiamo di seguito le seriazioni diametriche di ogni Target area del VT 1.

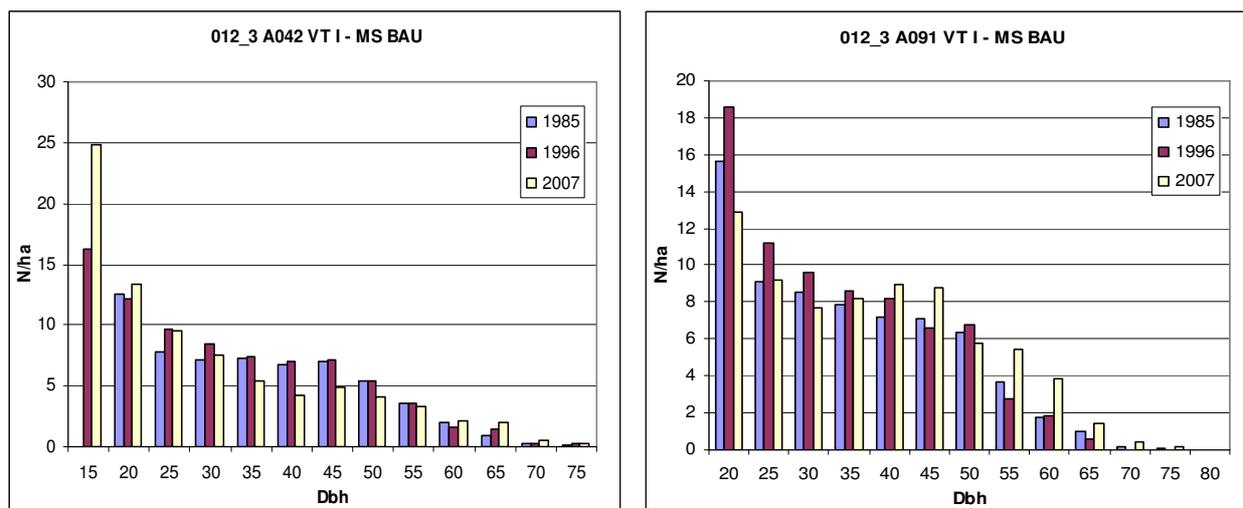


Figura 18: Distribuzione diametrica delle TA della MS1 (*Business As Usual*)

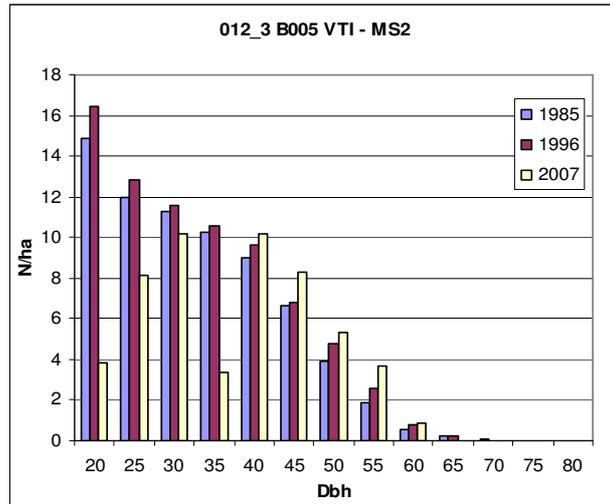
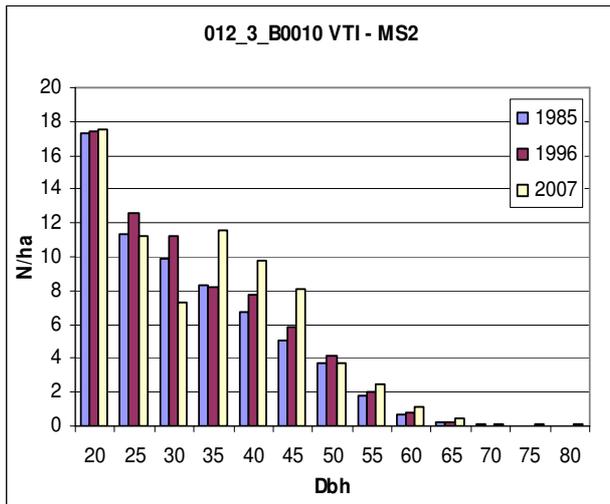


Figura 19: Distribuzione diametrica delle TA della MS2 (*Less Forestry*)

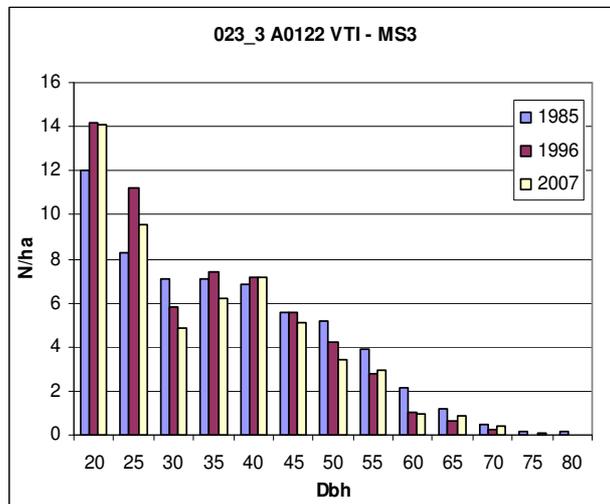
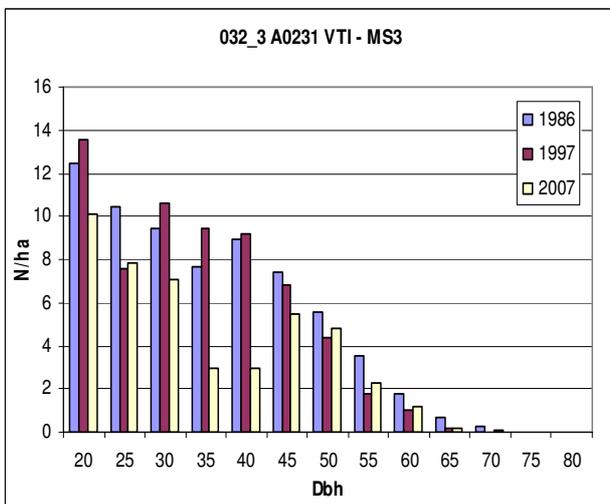


Figura 20: Distribuzione diametrica delle TA della MS3 (*More Forestry*)

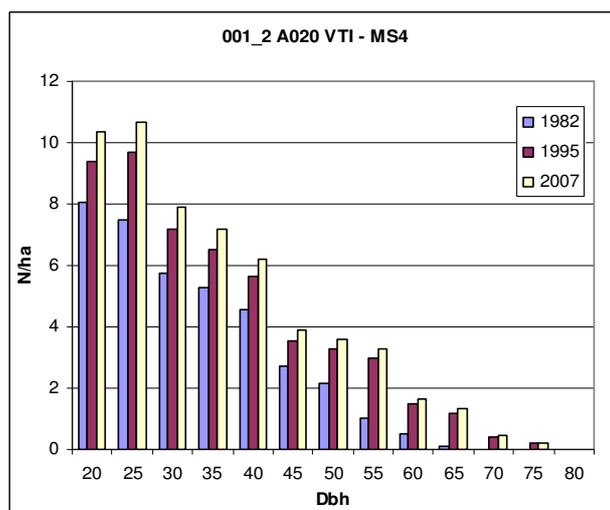
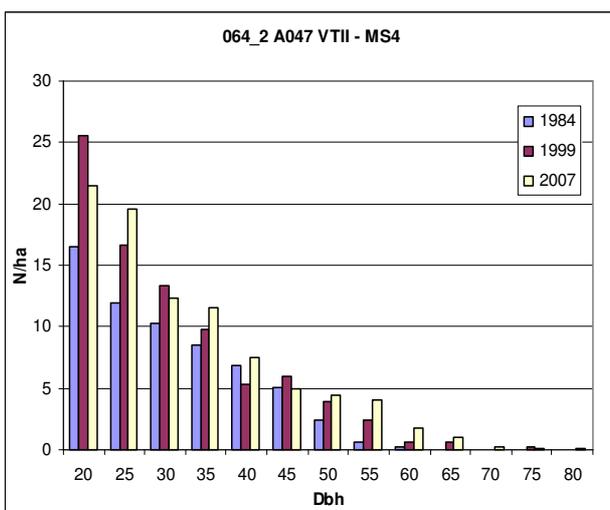


Figura 21: Distribuzione diametrica delle TA della MS3 (*No Forestry*)

### 3.6.2 Stock e sink di carbonio nelle aree campione

La biomassa arborea epigea di ogni area campione è stata stimata utilizzando i tre valori medi del coefficiente  $b$  (2.08, 2.64 e 2.51 rispettivamente per gli stadi giovanile, adulto e maturo), mentre il parametro  $a$  è stato stimato con le equazioni riportate nel paragrafo 4.5.1.

Solamente la biomassa arborea epigea dell'area campione 10 è stata stimata utilizzando le equazioni sviluppate con le misurazioni specifiche effettuate.

La Tabella 22 mostra i valori di densità utilizzati per ogni specie.

**Tabella 22: valori medi di densità, espresso come rapporto tra massa e volume al 12% di contenuto idrico (Giordano, 1980, 1988)**

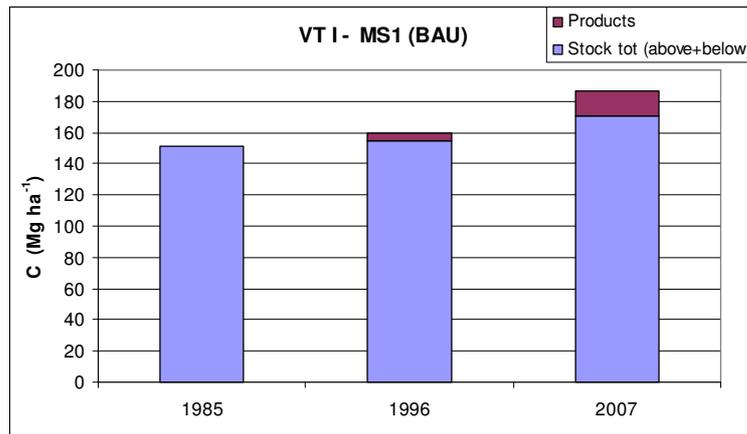
Specie	Peso specifico (Mg m <sup>-3</sup> )
Abete bianco	0.44
Abete rosso	0.45
Larice	0.65
Faggio	0.73
Pino silvestre	0.55

Nella prima tipologia vegetazionale (VTI, Abieteti) sono presenti 4 diverse strategie gestionali, ognuna rappresentata da 2 aree campione. La tabella sottostante (Tab. 23) riporta per ogni MS il valore di carbonio stoccato e di assorbimento annuo medio tra le due TA; i valori si riferiscono alla biomassa arborea epigea, stimata tramite equazioni allometriche, insieme alla biomassa arborea ipogea, stimata utilizzando valori bibliografici (IPCC,2003).

**Tab. 23: Sink di carbonio (Mg ha<sup>-1</sup> y<sup>-1</sup>) e stock (Mg ha<sup>-1</sup>) delle Target Areas del primo Tipo Vegetazionale per ogni differente Strategia Gestionale**

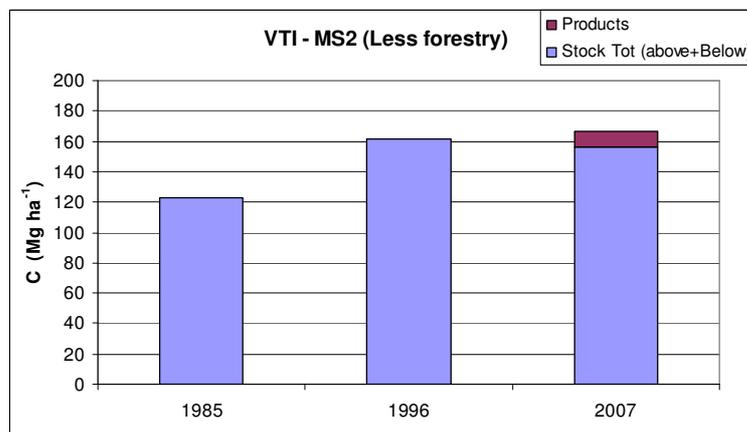
VT	MS	Target Area	Anni	Sink (Mg C ha <sup>-1</sup> y <sup>-1</sup> )	Stock 2007 (Mg C ha <sup>-1</sup> )
Abieteti	BAU	012_3 A091	1985-2007	+1.80	194.74
		012_3 A042	1985-2007	-0.03	146.46
		<b>Valore medio per la MS</b>		<b>+0.88</b>	<b>170.60</b>
	Less Forestry	012_3 B005	1985-2007	+0.13	132.92
		012_3 B001	1985-2007	+2.90	178.80
		<b>Valore medio per la MS</b>		<b>+1.52</b>	<b>155.85</b>
	More Forestry	023_3 A0122	1985-2007	-1.50	118.17
		032_3 A0231	1986-2007	-2.72	96.82
		<b>Valore medio per la MS</b>		<b>-2.11</b>	<b>107.49</b>
	No Forestry	001_2 A0200	1982-2007	4.17	171.81
		064_2 A0470	1984-2007	+3.28	171.80
		<b>Valore medio per la MS</b>		<b>+3.72</b>	<b>171.81</b>

**MS1 – Business as usual:** particelle di conifere gestite ad alto fusto dove circa il 100% dell'incremento corrente annuo viene prelevato.



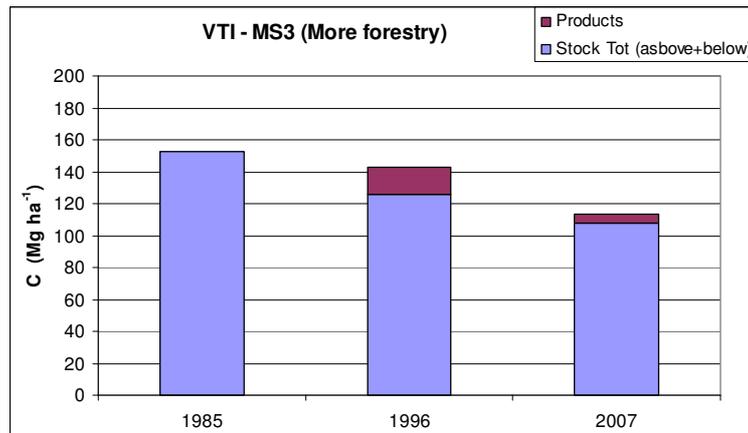
VTI	MS1	TA	Periodo	Sink (Mg C ha <sup>-1</sup> y <sup>-1</sup> )	Sink (Mg CO <sub>2</sub> ha <sup>-1</sup> y <sup>-1</sup> )
Abietine	BAU	012_3 A091	1985-1996	-0.18	-0.66
			1996-2007	+3.78	+13.86
			1985-2007	+1.80	+6.60
		012_3 A042	1985-1996	+0.87	+3.19
			1996-2007	-0.93	-3.41
			1985-2007	-0.03	-0.11
<b>Valore medio per la MS</b>				<b>+0.88</b>	<b>+3.24</b>

**MS2 – Less forestry:** particelle di conifere gestite ad alto fusto dove circa il 50% dell'incremento corrente annuo viene prelevato.



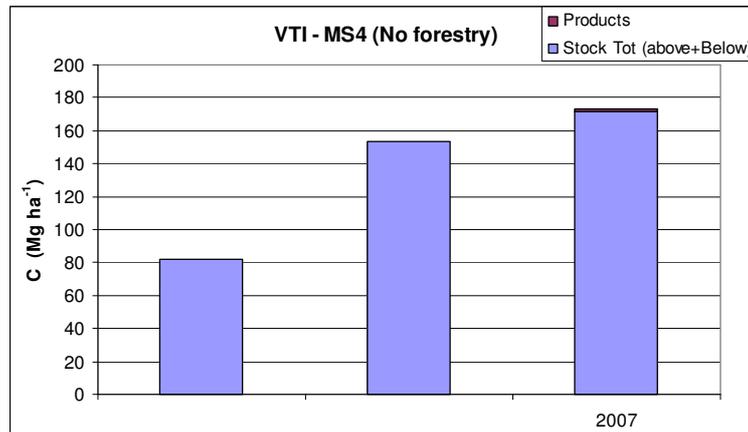
VTI	MS2	TA	Periodo	Sink (Mg C ha <sup>-1</sup> y <sup>-1</sup> )	Sink (Mg CO <sub>2</sub> ha <sup>-1</sup> y <sup>-1</sup> )
Abietine	Less Forestry	012_3 B005	1985-1996	+1.04	3.81
			1996-2007	-0.77	-2.83
			1985-2007	+0.13	+0.49
		012_3 B001	1985-1996	+6.01	22.04
			1996-2007	-0.20	-0.73
			1985-2007	+2.90	+10.65
<b>Valore medio per la MS</b>				<b>+1.52</b>	<b>+5.57</b>

**MS3 – More forestry:** particelle di conifere gestite ad alto fusto dove circa il 150% dell'incremento corrente annuo viene prelevato.



VT I	MS3	TA	Periodo	Sink (Mg C ha <sup>-1</sup> y <sup>-1</sup> )	Sink (Mg CO <sub>2</sub> ha <sup>-1</sup> y <sup>-1</sup> )
Abietine	More Forestry	023_3 A0122	1985-1996	-2.57	-9.43
			1996-2007	-0.42	-1.55
			1985-2007	-1.50	-5.49
		032_3 A0231	1986-1997	-2.34	-8.58
			1997-2007	-3.15	-11.54
			1986-2007	-2.72	-9.99
<b>Valore medio per la MS</b>				<b>-2.11</b>	<b>-7.74</b>

**MS4 – No forestry:** particelle di conifere gestite ad alto fusto dove meno del 100% dell'incremento corrente annuo viene prelevato.



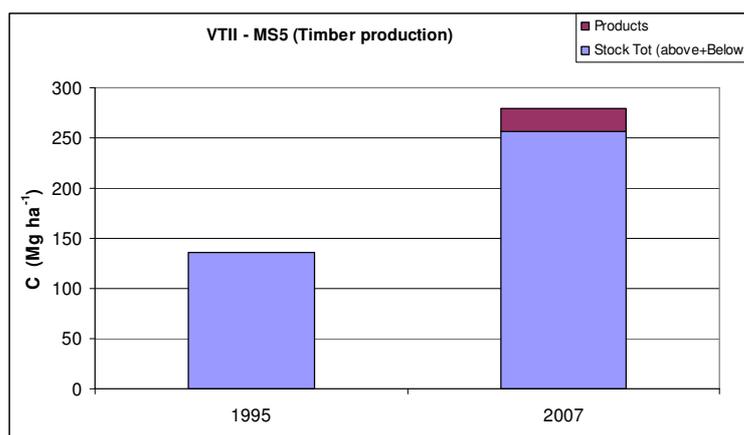
VT I	MS4	TA	Periodo	Sink (Mg C ha <sup>-1</sup> y <sup>-1</sup> )	Sink (Mg CO <sub>2</sub> ha <sup>-1</sup> y <sup>-1</sup> )
Abietine	No Forestry	001_2 A0200	1982-1995	7.70	28.24
			1995-2007	0.34	1.25
			1982-2007	4.17	15.28
		064_2 A0470	1984-1999	+2.90	10.64
			1999-2007	+4.00	14.68
			1984-2007	+3.28	12.03
<b>Valore medio per la MS</b>				<b>+3.72</b>	<b>+13.64</b>

Nella seconda tipologia vegetazionale (VTII, Foreste di faggio) abbiamo selezionato due tipologie gestionali (MT, Ceduo ed alto fusto), e strategie gestionali e 1 area campione per ogni MS. Riportiamo il valore dello *stock* di carbonio e di *sink* per ogni strategia gestionale considerate (Tab. 24).

**Tab. 24: Sink di carbonio (Mg ha<sup>-1</sup> y<sup>-1</sup>) e stock (Mg ha<sup>-1</sup>) delle Target Areas del secondo Tipo Vegetazionale per ogni differente Strategia Gestionale**

VT	MT	MS	Target Area	Anni	Sink (Mg C ha <sup>-1</sup> y <sup>-1</sup> )	Stock 2007 (Mg C ha <sup>-1</sup> )
Faggete	Fustaie	<i>Timber Production</i>	045_2 A0100	1985-2007	+5.44	256.12
		<i>Transitory Silvicultural System</i>	045_2 A0100	1983-2005	+2.49	139.52 <sup>(6)</sup>
	Ceduo	<i>Firewood</i>	070_1 B007	1984-2007	+0.62	55.99

**MS5 – Timber: fustaia matura di faggio con funzione produttiva (età superiore ai 30 anni).**



VT II	MS5	TA	Periodo	Sink (Mg C ha <sup>-1</sup> y <sup>-1</sup> )	Sink (Mg CO <sub>2</sub> ha <sup>-1</sup> y <sup>-1</sup> )
Faggeta	<i>Timber Production</i>	045_2 A01400	1985-2007	+5.44	+19.94

**MS6 – Transitory silvicultural system: ex ceduo, recentemente attribuito alla produzione di legname e gestito come una fustaia.**

Riportiamo di seguito i risultati ottenuti dai rilevamenti specifici svolti in questa TA

### Tavola allometrica

In totale le piante abbattute ed analizzate sono state 41. Dalla loro sezionatura, sono state raccolte, trasportate in laboratorio e analizzate 123 rotelle e 50 rami, per un totale

<sup>6</sup> Final stock referred to 2005

rispettivamente di 193.87 kg e 650.22 kg (615.94 kg di componente legnosa e 34.28 kg di foglie).

Dall'analisi eseguita in laboratorio è stato possibile ricavare la densità basale delle rotelle e quindi il peso secco di ciascun *i*-esimo toppo di dato volume  $V_i$ . La sommatoria dei pesi secchi dei toppi costitutivi ciascuna pianta modello, ha fornito la massa (in g) allo stato secco per fusto e branche principali.

Dalla relazione tra diametro ( $Dbh$ ) e peso secco del fusto e delle branche principali si è ricavata una funzione lineare con coefficiente di correlazione  $R^2$  pari a 0.95:

$$\ln Ms_F = 2.4174 \cdot \ln Dbh - 2.0841 \quad (32)$$

dove  $Ms_F$  è il peso secco totale del fusto e branche principali in kg e  $Dbh$  è il diametro ad 1.30 m della pianta, in cm.

Sono state determinate anche le relazioni per le tre componenti del ramo (rami >5 cm; ramaglia <5 cm; foglie), tenendo distinte le foglie dalla parte legnosa. L'equazione che lega il diametro ( $D$ ) del ramo al peso secco delle foglie ( $Psfg$ ) è:

$$\ln Psfg = 2.1331 \cdot \ln D - 2.3015 \quad (33)$$

Per questa relazione il valore  $R^2$  è pari a 0.89.

La relazione tra il peso secco della parte legnosa ( $Ps (R^*+r^*)$ ) con il diametro  $D$  del ramo è:

$$\ln Ps (R^*+r^*) = 3.0861 \cdot \ln D + 3.0337 \quad (34)$$

con  $R^2$  pari a 0.95.

La relazione tra diametro e peso secco totale del ramo ( $Ps (R^*+r^*+fg)$ ) è

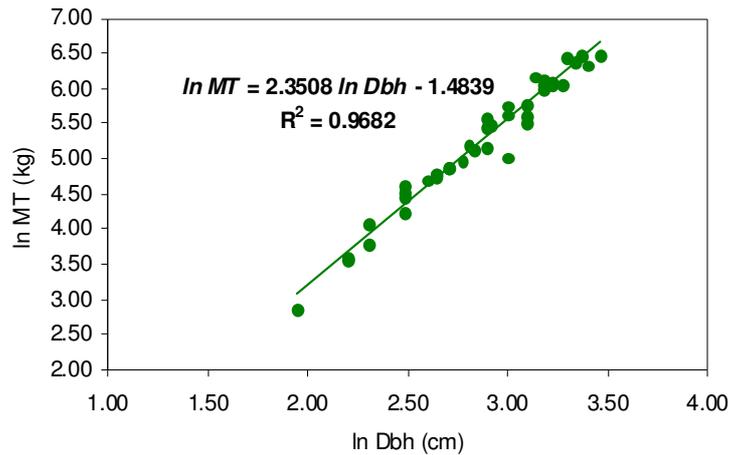
$$\ln Ps (R^*+r^*+fg) = 2.9425 \cdot \ln D + 3.3961 \quad (35)$$

dove  $Ps (R^*+r^*+fg)$  è il peso secco totale in g e  $D$  è il diametro del ramo in cm.  $R^2$  è pari a 0.95.

Sommando la massa cormometrica alla massa del rispettivo fusto d'appartenenza, è stato possibile ottenere la biomassa epigea totale di ciascuna pianta (Fig. 22). La relazione tra tale grandezza ed il diametro ad 1.30 m è espressa dalla funzione:

$$\ln MT = 2.3508 \cdot \ln Dbh - 1.4839 \quad (36)$$

dove  $MT$  è il peso secco totale dell'intera pianta, in kg, e  $Dbh$  è il diametro ad 1.30 m, in cm, con un  $R^2$  pari a 0.97.



**Fig. 22:** Relazione tra diametro pianta ad 1.30 m e biomassa epigea totale (kg) (fitomassa), espressa in scala logaritmica.

Le relazioni allometriche ricavate per ciascuna componente della pianta (foglie, legno dei rami, legno del fusto e, infine, totale epigeo) hanno permesso di ottenere i dati con i quali è stata realizzata la tavola allometrica riportata in Tab. 25.

**Tab. 25** Tavola allometrica del faggio di Rubbio (VI)

Dbh (cm)	Ms foglie (kg)	Ms Legno rami (kg)	Ms Fusto (kg)	Ms Totale epigeo (kg)
7	0.41	6.63	13.73	20.77
8	0.56	9.08	18.96	28.6
9	0.74	11.98	25.21	37.93
10	0.94	15.34	32.53	48.81
11	1.17	19.20	40.95	61.32
12	1.44	23.56	50.54	75.54
13	1.73	28.44	61.33	91.5
14	2.05	33.85	73.36	109.26
15	2.40	39.81	86.68	128.89
16	2.78	46.33	101.31	150.42
17	3.20	53.43	117.30	173.93
18	3.65	61.12	134.68	199.45
19	4.13	69.41	153.49	227.03
20	4.65	78.31	173.75	256.71
21	5.21	87.83	195.50	288.54
22	5.79	97.98	218.77	322.54
23	6.42	108.77	243.59	358.78
24	7.08	120.22	269.99	397.29
25	7.78	132.34	297.99	438.11
26	8.51	145.12	327.62	481.25
27	9.29	158.59	358.92	526.8
28	10.10	172.75	391.90	574.75
29	10.95	187.61	426.60	625.16
30	11.84	203.18	463.03	678.05
31	12.76	219.46	501.23	733.45
32	13.73	236.47	541.22	791.42

### Tavola ponderale

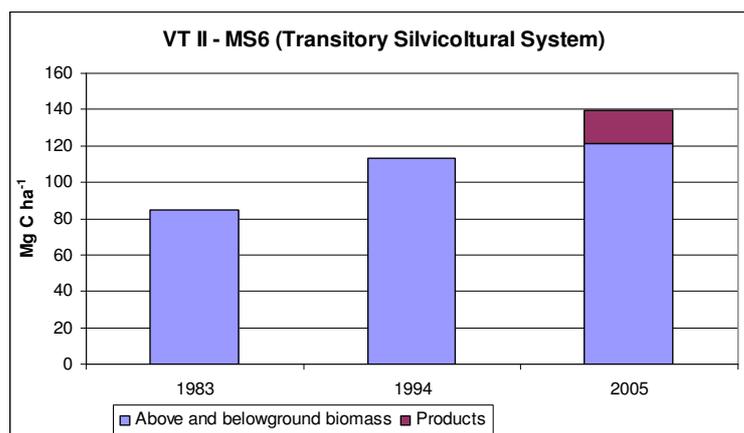
La tavola ponderale è stata ottenuta stimando la massa del fusto e delle branche principali ( $D > 5\text{cm}$ ) alle percentuali di umidità del 10%, 20% e 30%. Sono state perciò determinate le relazioni che legano il diametro ad 1.30 m al peso (in kg) del legno di tali componenti ottenendo i pesi riportati in Tab. 26.

Umidità %

10%	Fusto	$\ln P_{SF} = 2.4174 \cdot \ln Dbh - 1.9885$
	Rami >5cm	$\ln P_{SR} = 2.0303 \cdot \ln Dbh - 3.1281$
20%	Fusto	$\ln P_{SF} = 2.4174 \cdot \ln Dbh - 1.9018$
	Rami >5cm	$\ln P_{SR} = 2.0303 \cdot \ln Dbh - 3.0428$
30%	Fusto	$\ln P_{SF} = 2.4174 \cdot \ln Dbh - 1.822$
	Rami >5cm	$\ln P_{SR} = 2.0303 \cdot \ln Dbh - 2.9623$

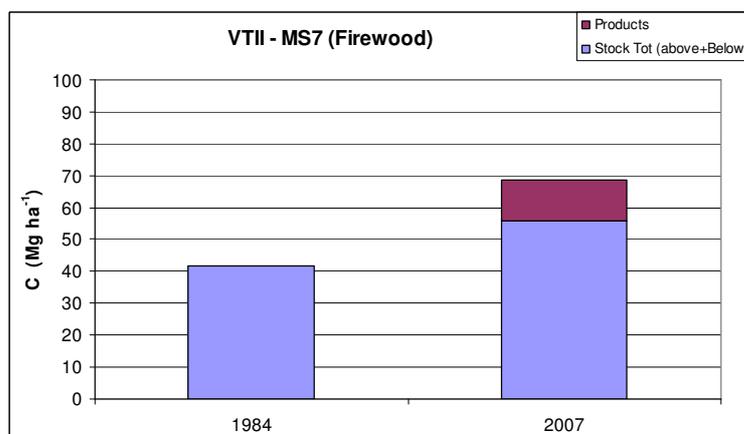
**Tab. 26: Tavola ponderale per la stima del peso (in kg) del fusto commerciabile, con un contenuto d'acqua del 10%, 20% e 30%.**

Dbh (cm)	10%			20%			30%		
	fusto	>5cm	TOT	fusto	>5cm	TOT	fusto	>5cm	TOT
5	6.70	1.15	<b>7.85</b>	7.31	1.25	<b>8.56</b>	7.91	1.36	<b>9.27</b>
6	10.41	1.66	<b>12.08</b>	11.35	1.81	<b>13.17</b>	12.30	1.97	<b>14.26</b>
7	15.11	2.28	<b>17.39</b>	16.48	2.48	<b>18.96</b>	17.85	2.69	<b>20.54</b>
8	20.87	2.99	<b>23.86</b>	22.76	3.25	<b>26.01</b>	24.65	3.52	<b>28.18</b>
9	27.75	3.79	<b>31.54</b>	30.26	4.13	<b>34.39</b>	32.77	4.48	<b>37.25</b>
10	35.79	4.70	<b>40.49</b>	39.04	5.11	<b>44.15</b>	42.28	5.54	<b>47.82</b>
11	45.07	5.70	<b>50.77</b>	49.15	6.21	<b>55.36</b>	53.23	6.73	<b>59.96</b>
12	55.62	6.80	<b>62.42</b>	60.66	7.41	<b>68.06</b>	65.69	8.03	<b>73.72</b>
13	67.49	8.00	<b>75.49</b>	73.60	8.71	<b>82.32</b>	79.72	9.44	<b>89.16</b>
14	80.73	9.30	<b>90.03</b>	88.05	10.13	<b>98.17</b>	95.36	10.98	<b>106.34</b>
15	95.39	10.70	<b>106.08</b>	104.03	11.65	<b>115.68</b>	112.67	12.63	<b>125.29</b>
16	111.49	12.20	<b>123.69</b>	121.59	13.28	<b>134.87</b>	131.69	14.40	<b>146.08</b>
17	129.09	13.79	<b>142.88</b>	140.78	15.02	<b>155.80</b>	152.47	16.28	<b>168.76</b>
18	148.22	15.49	<b>163.71</b>	161.64	16.87	<b>178.51</b>	175.07	18.28	<b>193.35</b>
19	168.91	17.29	<b>186.20</b>	184.21	18.83	<b>203.04</b>	199.51	20.41	<b>219.92</b>
20	191.21	19.18	<b>210.40</b>	208.53	20.89	<b>229.42</b>	225.85	22.64	<b>248.49</b>
21	215.15	21.18	<b>236.33</b>	234.63	23.07	<b>257.70</b>	254.12	25.00	<b>279.13</b>
22	240.76	23.28	<b>264.04</b>	262.56	25.35	<b>287.92</b>	284.37	27.48	<b>311.85</b>
23	268.07	25.48	<b>293.55</b>	292.35	27.75	<b>320.10</b>	316.63	30.08	<b>346.70</b>
24	297.12	27.78	<b>324.90</b>	324.03	30.25	<b>354.28</b>	350.94	32.79	<b>383.73</b>
25	327.93	30.18	<b>358.11</b>	357.63	32.87	<b>390.50</b>	387.34	35.62	<b>422.96</b>
26	360.55	32.68	<b>393.23</b>	393.20	35.59	<b>428.79</b>	425.86	38.58	<b>464.44</b>
27	394.99	35.28	<b>430.27</b>	430.76	38.43	<b>469.19</b>	466.54	41.65	<b>508.19</b>
28	431.28	37.99	<b>469.27</b>	470.35	41.37	<b>511.72</b>	509.41	44.84	<b>554.25</b>
29	469.47	40.79	<b>510.26</b>	511.99	44.42	<b>556.41</b>	554.51	48.15	<b>602.66</b>
30	509.56	43.70	<b>553.26</b>	555.72	47.59	<b>603.31</b>	601.87	51.58	<b>653.45</b>
31	551.60	46.71	<b>598.30</b>	601.56	50.87	<b>652.42</b>	651.52	55.13	<b>706.65</b>
32	595.60	49.82	<b>645.41</b>	649.55	54.25	<b>703.80</b>	703.49	58.80	<b>762.30</b>
33	641.59	53.03	<b>694.62</b>	699.71	57.75	<b>757.46</b>	757.82	62.59	<b>820.41</b>
34	689.61	56.34	<b>745.95</b>	752.07	61.36	<b>813.43</b>	814.53	66.50	<b>881.03</b>
35	739.66	59.76	<b>799.42</b>	806.66	65.08	<b>871.74</b>	873.66	70.54	<b>944.19</b>



VT II	MS6	TA	Periodo	Sink (Mg C ha <sup>-1</sup> y <sup>-1</sup> )	Sink (Mg CO <sub>2</sub> ha <sup>-1</sup> y <sup>-1</sup> )
Faggeta	Transitory Silvicultural System	045_2 A0100	1983-1994	+2.59	+9.49
			1994-2005	+2.39	+8.76
			1983-2005	+2.49	+9.13

**MS7 – Firewood:** particella assegnata alla produzione di legname da biomassa e gestita a ceduo con riserve.



VT II	MS7	TA	Periodo	Sink (Mg C ha <sup>-1</sup> y <sup>-1</sup> )	Sink (Mg CO <sub>2</sub> ha <sup>-1</sup> y <sup>-1</sup> )
Faggeta	Firewood	070_1 B007	1984-2007	+0.62	+2.29

La Fig. 23 evidenzia le differenze di *stock* arboreo epigeo nelle diverse classi diametriche nelle diverse MS relative alle faggete; osserviamo quindi il diverso stock e il diverso contributo per classe diametrica nella faggeta governata a ceduo (MS7), nella fustaia transitoria (MS6) e nella faggeta di produzione (MS5).

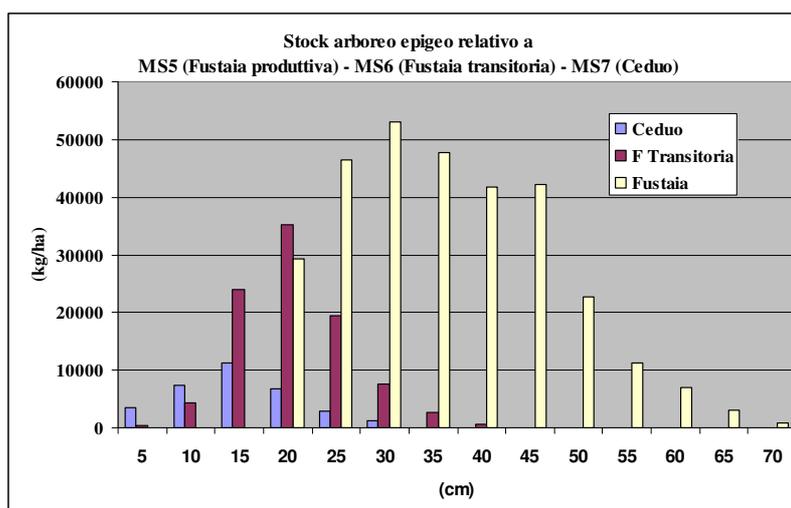


Fig. 23: Stock arboreo epigeo (kg ha<sup>-1</sup>) delle MS5, 6 e 7

Nel corso del progetto sono state anche raccolte informazioni riguardo all'ammontare delle utilizzazioni effettuate nella gestione delle particelle considerate; in questo modo è stato possibile stimare la quantità di legname (e di carbonio) prelevata. E' stato poi attribuito un valore medio di vita ai prodotti finali, identificando 4 diverse tipologie, così da poter stimare la permanenza del carbonio nei prodotti

1. Prodotti vita breve                      durata 1 anno
2. *Long lived*                                durata 30 anno
3. *Landfill*                                    durata 140 anno
4. Biomassa                                    durata 1 anno

Le diverse strategie gestionali comportano una differente quantità di biomassa utilizzata, nonché producono diverse tipologie di prodotti finali; la Tab. 27 evidenzia per ogni MS e per i due VT la quantità di carbonio stoccata nei prodotti.

Tab. 27: Total harvested biomass (Mg ha<sup>-1</sup>) and carbon (Mg ha<sup>-1</sup> y<sup>-1</sup>) in the products for each MS

VT	Management Strategy	C Sink (Mg C ha <sup>-1</sup> y <sup>-1</sup> )	Total harvested (Mg C ha <sup>-1</sup> )	Products	Products Lifespan (Years)	C in the products (Mg C ha <sup>-1</sup> y <sup>-1</sup> )
Bosco di abete bianco e abete rosso	BAU	+0.88	21.26	30% short life 70% long life	1 30	0.50
	<i>Less Forestry</i>	+1.52	10.77	30% short life 70% long life	1 30	0.25
	<i>More forestry</i>	- 2.12	23.04	30% short life 70% long life	1 30	0.54
	<i>No forestry</i>	+3.72	1.77	Short life	1	0.00
Bosco di faggio	<i>Timber Production</i>	+5.44	23.56	40% short life 60% long life	1 30	0.47

VT	Management Strategy	C Sink (Mg C ha <sup>-1</sup> y <sup>-1</sup> )	Total harvested (Mg C ha <sup>-1</sup> )	Products	Products Lifespan (Years)	C in the products (Mg C ha <sup>-1</sup> y <sup>-1</sup> )
	<i>Transitory Silvicultural System</i>	+2.49	18.5	<i>Bio energy</i>	1	0.00
	<i>Beech Coppices</i>	+0.63	12.9	<i>Bio energy</i>	1	0.00

### 3.7 Discussione

#### Confronto tra le diverse strategie gestionali

L'approccio con cui è stato affrontato il progetto permette il confronto delle differenti strategie gestionali e può dunque essere uno strumento di aiuto per la gestione del territorio. La figura seguente evidenzia il confronto tra le strategie gestionali attraverso le aree campione analizzate.

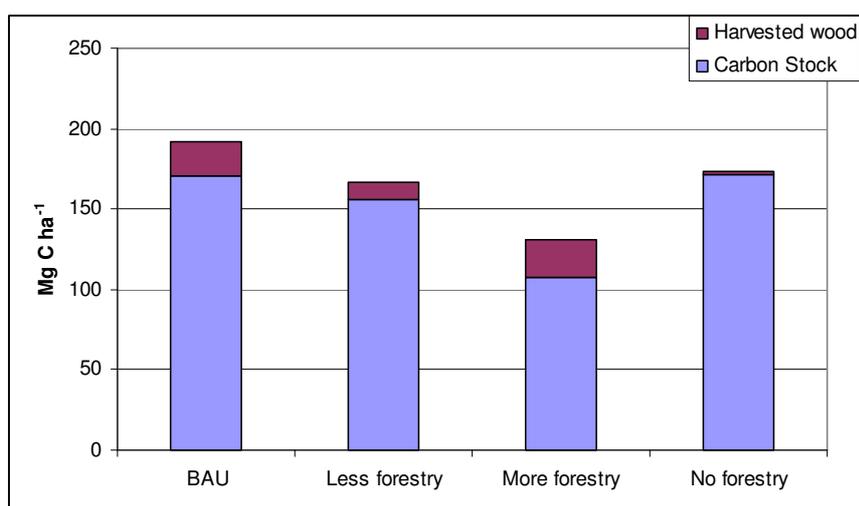


Fig. 24: Carbon stock and carbon in the harvested biomass (Mg C ha<sup>-1</sup>) in the VTI

Come evidenziato nella Fig. 24 nelle aree campione gestite con MS1 (*BAU*-100% dell'incremento corrente annuo prelevato) il carbonio stoccato risulta simile a quanto presente nelle aree con MS4 (*No forestry*, meno del 10% dell'incremento prelevato), ma in quest'ultimo caso non c'è carbonio stoccato nei prodotti, nè profitto derivante dall'utilizzazione del bosco per la comunità locale; se guardiamo poi l'assorbimento annuo di carbonio di queste due strategie vediamo come nella MS4 il sink sia superiore, +3.72 Mg C ha<sup>-1</sup> y<sup>-1</sup> contro il + 0.88 Mg C ha<sup>-1</sup> y<sup>-1</sup> della prima strategia.

La MS2 (*Less forestry*) conserva circa il 50% dell'incremento e i risultati dei rilievi effettuati ne mettono in luce l'effetto; il *sink* di carbonio (+1.52 Mg C ha<sup>-1</sup> y<sup>-1</sup>) risulta infatti circa il doppio rispetto a quello della MS1 e metà della MS4; anche la biomassa tagliata è circa la metà della strategia BAU.



energia e sarebbe dunque possibile stimare l'effetto di sostituzione dei combustibili fossili (anche se non per il Primo Periodo d'Impegno di Kyoto). L'ex ceduo in transizione verso la fustaia presenta valori maggiori sia di *stock* sia di *sink*, ma non ancora al livello della fustaia di faggio gestita per la produzione di legname.

Anche in questo caso nelle decisioni sulla tipologia di gestione più opportuna per un territorio è necessario avere una chiara idea della situazione del luogo poiché il tipo di gestione influenza direttamente le condizioni economiche della popolazione locale. Un cambiamento nella strategia comporta anche variazioni nell'economia locale, nel potenziale profitto dei proprietari e nelle possibilità lavorative della popolazione.

### **3.8 Conclusioni**

L'aumento degli stock di carbonio è una delle priorità emerse in questi ultimi anni proprio grazie all'impatto del Protocollo di Kyoto anche nel settore forestale e agroforestale, ma è necessario conoscere a fondo le regole internazionali, non dimenticare il ruolo tradizionale delle foreste e considerare gli effetti delle scelte politiche sulle economie locali.

E' interessante sottolineare alcuni aspetti che potrebbero risultare importanti per le decisioni future nella gestione del territorio:

Al momento attuale il carbonio stoccato nei prodotti legnosi non è conteggiabile ai fini del Protocollo di Kyoto, ma in futuro potrebbe diventare un'opportunità; la sfida è affrontare il problema analizzando per esempio l'intero ciclo di vita dei prodotti, così da poterne certificare la durata nel tempo.

Sarebbe anche interessante analizzare l'utilizzo delle biomasse legnose come energia così da poter quantificare l'effetto di sostituzione dei combustibili fossili.

Un'altra sfida sarebbe cercare di organizzare un mercato dei crediti di carbonio locale, indipendente dal mercato europeo dove i crediti generate dal settore forestale e agricolo non sono utilizzabili.

## **4 Bilancio del carbonio in foresta: la variazione di superficie boscata e la fissazione di carbonio nei boschi di neoformazione**

### **4.1 Introduzione**

Il presente capitolo si colloca, come precedentemente ricordato, all'interno delle iniziative promosse dalla Regione Veneto allo scopo di valutare le effettive potenzialità del settore forestale nelle attività dell'art. 3.3 del Protocollo di Kyoto. In questo quadro rientrano altri lavori, tra cui quello di Salvadori (2005), sulla variazione di superficie boscata nella Comunità Montana (CM) del Grappa, una zona rappresentativa della fascia pedemontana del territorio regionale.

In particolare, in questo studio, ci si è proposti di:

- stimare la superficie boscata in un'area della fascia montana del territorio regionale, (territorio delle Comunità Montane Agordina e della Valle del Boite), fornendo un'indicazione della variazione verificatasi a partire dal 1990;
- stimare la fissazione di carbonio nelle aree soggette ad “*afforestation*” e “*reforestation*”, al netto della “*deforestation*” (*ARD*), nelle suddette aree;
- proporre una metodologia d'indagine per la stima delle capacità fissative delle zone di *ARD*.

A tale scopo è stata analizzata la variazione della superficie boscata all'interno della Comunità Montana Agordina (BL), utilizzando un approccio multitemporale basato sull'impiego di dati telerilevati in momenti successivi: sono state infatti confrontate le foto aeree del 1991 con le ortofoto del 2003, osservando circa 1200 punti disposti casualmente su alcune aree campione all'interno della Comunità Montana.

Grazie alla metodologia utilizzata, la medesima dell'Inventario Nazionale delle Foreste e dei Serbatoi di Carbonio (INFC 2003) i dati ottenuti possono apportare un contributo significativo, sia perché confrontabili sia perché di maggior dettaglio, alle informazioni reperite su scala nazionale nel nuovo Inventario in corso di redazione (INFC).

### **4.2 L'articolo 3.3 nel Protocollo di Kyoto**

Le emissioni e gli assorbimenti risultanti dai cambiamenti nelle forme d'uso del suolo potranno essere incluse, secondo alcune regole di contabilizzazione, nei bilanci nazionali di gas-serra, con la funzione di compensare una parte delle emissioni prodotte dall'utilizzo dei combustibili fossili (in genere per i paesi dell'Annesso I il bilancio delle attività di uso del suolo è positivo per quanto riguarda l'assorbimento di carbonio). L'articolo 3.3 fa riferimento alle

attività di afforestazione (*afforestation* A), riforestazione (*reforestation* R) e deforestazione (*deforestation* D), realizzate dopo il 1990.

Alla COP-7, tenutasi a Marrakesh nel 2001, si è giunti ad una precisa definizione di foresta, e quindi di afforestazione, riforestazione, e di tutte le misure LULUCF (UNFCCC 2002):

- *Foresta*: area di minimo 0.05-1.0 ha di superficie con una copertura delle chiome di più del 10-30% con alberi che raggiungono i 2-5 m di altezza a maturità.
- *Afforestation A*: conversione a foresta indotta dall'uomo attraverso piantagione, semina e/o attività di sostegno alla rinnovazione naturale, di un terreno in precedenza non boscato per un periodo di almeno 50 anni.
- *Reforestation R*: riconversione a foresta di un terreno non boscato, indotta dall'uomo attraverso piantagione, semina o agevolazione della rinnovazione naturale, su un terreno un tempo boscato ma in seguito convertito in terreno non boscato. Per il primo periodo vengono contate solo le aree riforestate dopo il 1990.
- *Deforestation D*: conversione indotta dall'uomo da terreno boscato a non boscato.
- *Revegetation RV*: attività indotta dall'uomo per incrementare lo *stock* di carbonio in un sito, attraverso l'introduzione di vegetazione su una superficie di almeno 0.05 ha, e che non raggiunge i criteri minimi di foresta.

Al contrario dei crediti provenienti dalla gestione forestale (art 3.4 PK) quelli derivati da attività di *afforestation* e *reforestation* possono essere utilizzati *in toto* purché contabilizzati secondo le indicazioni fornite dalle “*Good Practice Guidance for Land use, Land-use Change and Forestry*” (IPCC 2003).

In tale contesto è fondamentale poter disporre di una stima degli effetti fissativi dovuti alle attività di *afforestation* e *reforestation*, al netto della *deforestation* (ARD), per poter quantificare il reale contributo delle foreste nella fissazione del carbonio.

### **4.3 Definizione di bosco**

Il nuovo Inventario Nazionale delle foreste e dei Serbatoi di Carbonio (INFC), riprende la definizione adottata per il *Temperate and Boreal Forest Resources Assessment 2000* (UN-ECE/FAO 2000), definendo come bosco i terreni con una copertura arborea superiore al 10%, un'estensione superiore a 0.5 ha e un'altezza minima delle piante a maturità di 5 m (ISAF 1998). Nel precedente Inventario Forestale del 1985 (Castellani et al. 1988) il bosco veniva

invece definito come un territorio con copertura arborea maggiore del 20% e con un'estensione di almeno 0.2 ha (ISAFSA 1998).

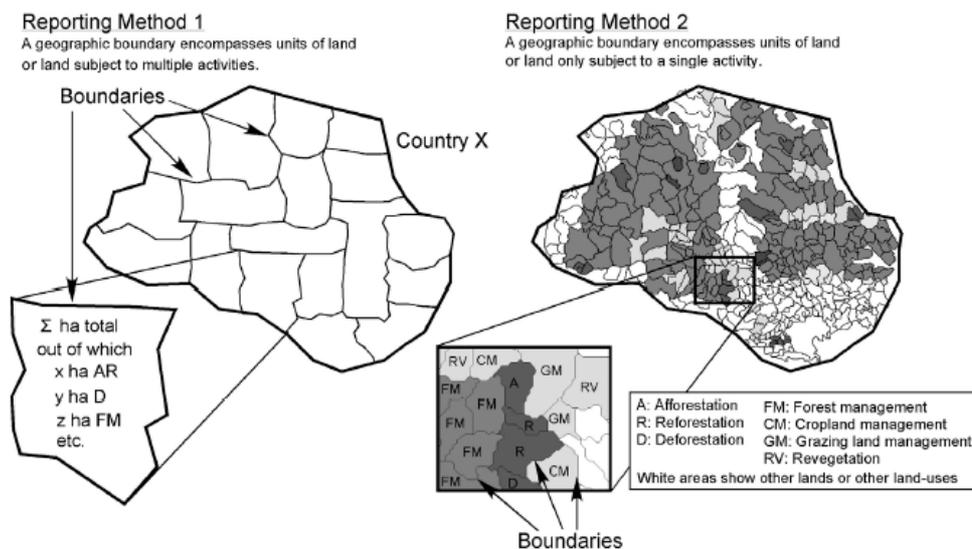
Tenuto conto delle diverse definizioni di bosco presenti a livello nazionale e regionale, si è scelto di applicare la definizione di bosco data dall'UN-ECE/FAO 2000 (FRA2000) e dall'INFC, che prevede:

- superficie minima di 5000 m<sup>2</sup>
- copertura arborea minima del 10%
- larghezza minima di 20 m
- altezza minima 5 m.

#### **4.4 Spazializzazione delle informazioni**

Per rispondere alle richieste formulate dagli accordi di Marrakesh, tra le informazioni generali da riportare per le attività elencate agli artt. 3.3 e 3.4 del PK, deve comparire una chiara identificazione geografica delle aree interessate tanto da processi di *ARD*, quanto dalle eventuali attività aggiuntive. Per questo le GPG propongono l'impiego dei seguenti metodi, riportati in Figura 26 (IPCC 2003):

- il *Reporting Method 1 (RM1)*, che prevede la definizione sulla base di confini amministrativi, legali e/o tipologie ambientali, di porzioni accorpate di territorio ciascuna comprendente aree soggette ad *ARD* ed altre attività aggiuntive,
- il *Reporting Method 2 (RM2)*, che prevede l'identificazione geografica di ogni singola unità di territorio che racchiuda al suo interno una sola delle attività afferenti agli artt. 3.3. e 3.4.



**Figura 26: Reporting method 1 e 2 per un territorio soggetto alle attività previste dagli articoli 3.3 e 3.4 del Protocollo di Kyoto (da: IPCC 2003, GPG for LULUCF, fig. 4.2.3)**

Tenuto conto delle informazioni disponibili e della necessità di proporre una metodologia applicabile anche in altre aree, Salvadori *et al* (2006) propongono l'impiego del *RMI*, che è quello utilizzato anche in questo lavoro. Secondo gli Autori, su scala nazionale, l'area di riferimento potrebbe essere costituita dalle Regioni, mentre in ambito regionale può essere assunto come riferimento il territorio di una Comunità Montana (CM) o di altri enti sovracomunali.

#### **4.5 Stima delle capacità fissative dei boschi di neoformazione**

In generale, lo *stock* di foreste in Europa sta aumentando, come risultato della gestione forestale e dell'incremento dei popolamenti in fase di crescita (UN-ECE/FAO 2000, Nabuurs et al. 2003b, Lethonen 2005, Liski et al. 2006, Mäkipää 2006).

In Italia l'aumento degli *stock* è dovuto in gran parte alla ricolonizzazione spontanea delle cenosi boschive a seguito dell'abbandono delle attività agro-pastorali degli ultimi decenni (Corona *et al.*, 2005; Anfodillo e Urbinati, 2001); ricordiamo però che per l'Italia tale evento viene definito, per rispondere alle esigenze del PK, "ricolonizzazione indotta" piuttosto che riforestazione naturale dal MATTM (Lumicisi et al. 2007a, Lumicisi et al. 2007b). Non sono disponibili dati aggiornati, omogenei e oggettivi per quantificare il fenomeno, almeno con riferimento a una scala territoriale a livello regionale o nazionale (Corona et al. 2005).

Dal momento che il PK indica i *sink* di carbonio forestali come una delle possibilità di mitigare il cambiamento climatico, e questi devono essere contabilizzati in modo il più possibile preciso, appare evidente la necessità di disporre di stime più accurate e più trasparenti (Mäkipää 2006). Le *Good Practice Guidance* richiedono infatti, oltre ad una stima rigorosa dell'estensione

delle aree soggette a processi di *ARD*, anche la valutazione dello *stock* di carbonio fissato ed emesso in tali aree (Zanchi 2006). Come ricordato nel primo capitolo i criteri per contabilizzare le attività di LULUCF sono forniti dalle stesse GPG, e sono distinti secondo l'uso del suolo, per evitare che l'utilizzo di un solo metodo porti a una forte sproporzione tra la quantità di crediti generabili con le diverse attività. Per quanto riguarda le attività di gestione forestale e di *ARD*, il metodo da adottare è quello del *gross-net accounting*, che considera le variazioni di *stock* di carbonio dovute alle differenze tra emissioni e prelievi all'interno di un Periodo d'Impegno, senza che queste siano confrontate con le variazioni degli *stock* nel periodo (o anno) di riferimento (Pettenella and Zanchi 2006).

Per valutare su scala locale gli effetti fissativi delle foreste, le informazioni potranno venire solo da studi specifici o inventari appositi.

La stima dello *stock* di carbonio della biomassa vivente può avvenire (Pilli et al. 2006b):

- attraverso l'applicazione di BEF (*Biomass Expansion Factors*), derivanti da specifici rilievi effettuati nell'area in esame o desunti da fonti bibliografiche (Nabuurs et al. 2003a), oppure
- attraverso l'impiego di equazioni allometriche, sviluppate *ad hoc* per il territorio in esame (Joosten et al. 2004), oppure basate su di un modello funzionale di validità generale, quale quello proposto da Anfodillo *et al.* (Anfodillo et al. 2006b).

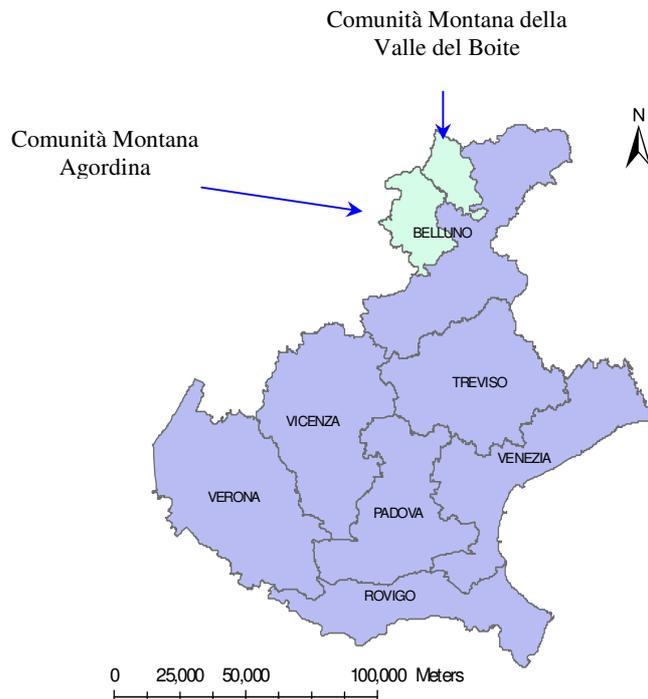
Se si analizza la situazione delle foreste non assestate, o delle aree interessate da processi di *afforestation/reforestation*, la situazione è aggravata dal fatto che i dati disponibili per tali aree sono scarsi e non aggiornati, quando non del tutto assenti. Alcune informazioni locali, per quanto riguarda ad esempio le foreste non assestate della regione Veneto, si possono trarre dall'Inventario regionale dei boschi non pubblici (Preto 1984), ma queste sono comunque approssimative per il tipo di accuratezza richiesto, e l'errore associato alla stima che deriva dall'utilizzo di tale fonte non è al momento quantificabile (Pilli et al. 2006b).

Presupposto per un adeguato studio sullo *stock* di carbonio e le capacità fissative di tali formazioni, è disporre un'adeguata valutazione della variazione della superficie boscata. Questa, da sola, può essere già utile per ricavare un'indicazione del carbonio fissato anche se tale informazione, senza ulteriori dati sul tipo di formazioni e l'origine dei processi di *afforestation/reforestation*, assume un valore soltanto di massima, e deve essere sottoposta ad ulteriori verifiche (Pilli et al. 2006b).

#### **4.6 Scelta dell'area di studio e della metodologia d'indagine**

L'area di indagine comprende due Comunità Montane (CM) in Provincia di Belluno: la maggior parte dello studio riguarda la CM Agordina cui si è aggiunto un confronto con alcuni

dati relativi alla CM della Valle del Boite (Figura 27). Le due Comunità Montane sono state scelte in quanto rappresentative della fascia montana della regione Veneto.



**Figura 27:** del Veneto con le Comunità Montane Agordina e della Valle del Boite in evidenza

Per la stima della superficie complessiva interessata da *ARD* all'interno della CM Agordina, è stata applicata la metodologia già adottata per la Comunità Montana del Grappa da Salvadori *et al.* (2006). Il metodo utilizzato è quello della conta per punti basato sull'impiego di ortofoto e foto aeree opportunamente georeferite (Tabacchi 2002).

La rappresentazione spaziale di un territorio e l'analisi dei cambiamenti che si sono verificati può essere effettuata attraverso l'esame di *database* preesistenti (spesso insufficienti per il territorio italiano) o mediante la raccolta di nuovi dati per mezzo di rilievi a terra (così come previsto per la terza fase dell'INFC), o di tecniche di *remote sensing* (Mline and Jallow 2003). In quest'ultimo caso però bisogna tener conto del fatto che non sempre sono disponibili foto aeree, o immagini da satellite o radar, con una adeguata risoluzione spaziale e temporale. Per il territorio italiano, ad esempio, sono disponibili le immagini Landsat, impiegate nell'ambito del progetto CORINE, ma queste, pur disponibili per il 1990, non presentano un'adeguata risoluzione spaziale rispetto alla definizione di bosco adottata (Munafò *et al.* 2005, Salvadori *et al.* 2006). Le foto aeree invece si prestano bene a questo tipo di studio, offrendo un'adeguata risoluzione sia spaziale sia temporale.

Per la determinazione speditiva dell'estensione di determinate superfici mediante fotointerpretazione si può fare ricorso al sistema dei *transects* paralleli o a quello della conta di punti, che hanno il pregio di essere rapidi, facilmente eseguibili e poco costosi. In particolare, il

metodo della conta di punti è molto più diffuso, perché più rapido e perché il calcolo delle aree e del loro probabile errore è molto semplice e attendibile (Preto 1982). Tale metodo è stato utilizzato anche nella prima fase dell'INFC (INFC 2003): esso infatti consente di stimare la superficie di ciascuna categoria d'uso del suolo (per es. bosco o improduttivo) come proporzione di punti campione ricadenti nella medesima classe, conoscendo l'estensione complessiva dell'area da inventariare (Corona 2000, Corona et al. 2005, Salvadori et al. 2006).

Nota la scala del fotogramma è possibile definire l'area ricoperta da ogni singolo punto; tuttavia poiché la scala varia in base alla quota del terreno, o alla quota relativa di volo rispetto al suolo, tale metodologia è applicabile direttamente soltanto in zone pianeggianti (Preto 1982). In presenza di rilievi montuosi è invece opportuno trasferire su un supporto cartografico inserito in un sistema di riferimento corretto le foto aeree oppure operare direttamente in ambiente GIS con l'impiego di immagini ortorettificate, se queste sono disponibili (Salvadori et al. 2006).

Se per la valutazione della superficie interessata da processi di *ARD*, sono già state predisposte valide metodologie di indagine (Corona et al. 2005, Salvadori et al. 2006, De Natale et al. 2007) per la stima delle capacità di assorbimento di tali formazioni, generalmente rappresentate da boschi di neo-formazione derivanti da processi di ricolonizzazione naturale di ex prati o pascoli, esistono, al momento, minori supporti metodologici (De Natale et al. 2004).

La metodologia qui adottata consiste nel rilievo a terra di alcuni parametri biometrici delle formazioni presenti nelle zone di variazione di superficie boscata individuate, che vengono utilizzati per stimare la biomassa arborea epigea e quindi lo *stock* presente al 2006, attraverso l'impiego di idonee equazioni allometriche. Sempre a partire dai dati rilevati in campo, vengono poi calcolati gli incrementi diametrici medi nel periodo di variazione, la seriazione diametrica pregressa relativa al 1990, da cui si ricava la biomassa stoccata in tale data, e infine l'assorbimento medio annuo.

L'impiego delle equazioni allometriche, secondo lo stesso approccio proposto in precedenza, può costituire una valida alternativa all'applicazione di fattori di espansione desunti da fonti bibliografiche, generalmente destinati a formazioni costituite da soprassuoli coetanei e monospecifici, e quindi inadatti per le aree soggette ad *ARD* (Pilli et al. 2006b).

La procedura di stima della biomassa arborea epigea risulta in questo caso, almeno in parte, "aspecifica", in quanto il valore dell'esponente di scala  $b$  è correlato con la sola fase di crescita arborea, e avente validità generale; il valore del coefficiente di scala  $a$  è a sua volta correlato con la sola densità media del legno della specie considerata (vedi capitolo 2).

## **4.7 Materiali e metodi**

### **4.7.1 La Comunità Montana Agordina**

La Comunità Montana Agordina si trova nella zona NO della Provincia di Belluno, si estende su una superficie di 65916.29 ha, e comprende 16 comuni: Agordo, Alleghe, Canale d'Agordo, Cencenighe Agordino, Colle S. Lucia, Falcade, Gosaldo, La Valle Agordina, Livinallongo, Rivamonte, Rocca Pietore, S. Tomaso Agordino, Vallada Agordina, Voltago Agordino. La densità media di popolazione è di 33.3 ab/Kmq, decisamente al di sotto sia rispetto alla media della Regione Veneto (244 ab. km<sup>-2</sup>), sia alla media italiana (186 ab. km<sup>-2</sup>), e questo a causa dell'elevata montuosità del territorio.

Questo comprende la quasi totalità del bacino idrografico del torrente Cordevole, principale affluente del fiume Piave, e presenta una morfologia complessa, andando dai 300 m s.l.m. nel punto di confluenza tra il Cordevole e il Piave, ai 3000 s.l.m. delle montagne più elevate (Monte Civetta 3220 m, Marmolada 3343 m). Tutta l'area è percorsa da numerosi rivi, che sono stati spesso la fonte di energia primaria per le attività produttive della zona, costituite essenzialmente dai mulini, le segherie e gli stabilimenti minerari (Gaiardo 1994).

I giacimenti minerari sparsi un po' ovunque infatti, pur essendo per la maggior parte di modeste dimensioni, hanno svolto nel territorio un importante ruolo economico per molto tempo, con conseguenze a volte positive e a volte no, contribuendo da un lato a rallentare l'emigrazione nella zona, dall'altro provocando dei danni all'ambiente vegetale, privandolo della sua fertilità. L'altro aspetto dell'economia locale che ha più degli altri influito sulla gestione del territorio, è lo sfruttamento boschivo, che ha costituito spesso un freno o un incentivo per l'ampliamento o la soppressione sia dell'attività mineraria sia di quella legata alla gestione di mulini e segherie (Gaiardo 1994).

La Comunità Montana si estende, da Sud a Nord, attraverso i distretti climatici esalpico, mesalpico ed endalpico, che presentano caratteristiche diverse tra loro (Del Favero and Lasen 1993): il distretto esalpico è quello caratteristico delle Prealpi, con una temperatura media di 12° C, e precipitazioni annue di circa 1500 mm, distribuiti secondo un regime pluviometrico equinoziale. In questo ambiente si trovano spesso consorzi, puri o misti, di carpino nero.

Il distretto mesalpico interessa la parte interna del Veneto, soprattutto nella parte medio - alta della provincia di Belluno, e la maggior parte della Comunità Montana Agordina. È anch'esso caratterizzato da elevate precipitazioni annue (circa 1400 mm), distribuite però in modo più uniforme nei mesi da aprile a novembre. Le temperature medie annue sono notevolmente più basse (circa 7° C). E' questa l'area tipica delle faggete montane, degli abieteti e dei piceo-faggeti, le formazioni forestali di maggior interesse nel Veneto.

La parte più alta della Provincia di Belluno, in un'area relativamente ristretta che comprende la conca di Cortina e l'alta valle del Cordevole, è interessata dal distretto endalpico, in cui le precipitazioni si riducono notevolmente (1100 mm annui) e si distribuiscono secondo un regime di tipo continentale, con il massimo in luglio. Anche le temperature scendono in modo considerevole e l'escursione termica è molto marcata. In questo distretto si possono trovare il cembro e il larice al di sopra dei 1600 m di quota, oltre alle peccete, che però scendono anche più in basso. Larice e abete rosso sono stati particolarmente diffusi dall'uomo nei pressi degli insediamenti, oggi non più sfruttati dall'attività agricola.

#### **4.7.2 La Comunità Montana Valle del Boite**

La Comunità Montana della Valle del Boite si trova a NE di quella Agordina, e comprende i Comuni di Cortina d'Ampezzo, San Vito di Cadore, Borca di Cadore, Vodo di Cadore e Cibiana di Cadore, per una superficie totale di 40995.84 ha.

Il suo territorio comprende il bacino idrografico del Boite, e presenta anch'esso una morfologia complessa, includendo montagne come il Pelmo, l'Antelao e il Sorapiss.

Grazie alla bellezza delle montagne e della natura, il settore turistico è molto sviluppato, attivo sia d'estate che d'inverno.

Il settore foreste è gestito dalle Regole, proprietà collettive che hanno una tradizione plurisecolare, e che rappresentano una realtà molto importante, in quanto esercita, tra le altre, funzioni di manutenzione e salvaguardia del territorio, anche dal punto di vista silvo - pastorale e ambientale. Nel 1990 è stato istituito il Parco Naturale delle Dolomiti d'Ampezzo, che si estende su un'area di 11200 ha a nord del centro abitato di Cortina, al confine del Veneto con l'Alto Adige, sulla antica ed indivisa proprietà delle Regole d'Ampezzo, interamente compresa nel comune di Cortina. Nato con il consenso dell'assemblea generale dei Regolieri, il Parco è stato affidato in gestione dalla Regione alla Comunità delle Regole d'Ampezzo "in virtù della specificità delle forme antiche di gestione del patrimonio naturale ampezzano, da esse conservato e tutelato per centinaia di anni".

Il territorio della Comunità Montana rientra nei distretti climatici mesalpico ed andalpico (Del Favero and Lasen 1993).

#### **4.7.3 Stima della variazione della superficie boscata**

L'analisi della variazione della superficie boscata nella CM Agordina è stata realizzata attraverso un approccio multitemporale, che prevede l'impiego di dati telerilevati in momenti successivi (Cerutti 1997, Salvadori et al. 2006).

Il Protocollo di Kyoto fissa l'anno di riferimento per la stima di *ARD* al 1990. Poiché non è stata effettuata nessuna ripresa aerea sul territorio della regione Veneto in tale anno, si sono utilizzate le foto aeree scattate con il volo Montagna Veneta nel 1991, che sono state successivamente confrontate con le ortofoto digitali del 2000 e del 2003, messe a disposizione dalla Direzione Foreste ed Economia Montana della Regione Veneto.

Pertanto, il materiale utilizzato per la fotointerpretazione è costituito da:

- foto aeree del volo Montagna Veneta del 1991, scala 1:16 000,
- ortofoto del 2000, con risoluzione 1 m,
- ortofoto del 2003, con risoluzione 0.5 m,
- CTRN (Carta Tecnica Regionale in formato numerico), in scala 1:5000, disponibili in formato digitale.

La definizione di bosco adottata è quella data dall'UN-ECE/FAO 2000 e dall'INFC.

Il procedimento adottato è il seguente:

1. dimensionamento del campione (numero di CTRN e punti da analizzare),
2. prima acquisizione e georeferenziazione delle foto aeree del 1991, relativamente alla sola superficie utile, cioè la parte centrale rappresentata da un quadrato di 8.5 cm di lato,
3. fotointerpretazione dei punti sulle foto aeree georeferite e sulle ortofoto, e confronto dei risultati,
4. verifica sul campo di alcuni punti di incerta determinazione, e di tutti i punti in cui è stata riscontrata una variazione di superficie nella fase di fotointerpretazione,
5. in questi ultimi, rilievo a terra di alcuni parametri biometrici delle piante presenti,
6. elaborazione dei dati.

#### **4.7.4 Dimensionamento del campione**

In base alle indicazioni dello studio effettuato da Salvadori (2006), è stato estratto un campione multistadio (in questo caso, a due stadi).

L'approccio inizialmente definito, prevedeva la realizzazione dell'analisi su entrambe le CM, Agordina e della Valle del Boite, con l'applicazione di una procedura di estrazione del campione multistadio, secondo il seguente schema (Corona 2000):

1. Suddivisione della popolazione (qui rappresentata dalle due CM), in un numero relativamente grande di sottopopolazioni, dette unità primarie, in questo caso le CTRN (28 CTRN disponibili per la CM della valle del Boite, 24 per la CM Agordina).

2. Estrazione, dal totale delle unità primarie (M), di un campione casuale (m), inizialmente predisposto per comprendere 8 CTRN per ciascuna CM, corrispondente a una superficie di 6962 ha (8 x 87.25 ha).

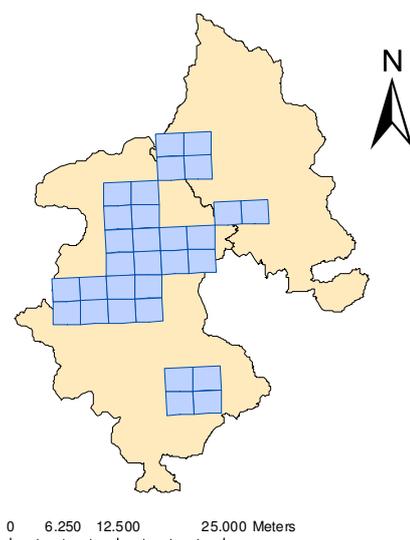
3. Suddivisione delle unità primarie campione m in sottoinsiemi più piccoli, le unità secondarie, cioè i punti di indagine casuali con densità di 1 punto ogni 12 ha, per entrambe le CM (densità ritenuta ottimale in base allo studio di Salvadori, 2006). Si ottiene quindi un campione pari a  $6962/12 = 580$  punti per ogni CM, con un totale di 1160 punti.

4. Estrazione di un campione casuale di unità secondarie in ciascuna unità primaria campione.

5. Rilevamento dell'attributo oggetto di interesse, sulle unità selezionate nell'ambito dell'ultimo stadio: in questo caso sono i punti di indagine che ricadono nell'ambito delle foto aeree delle CTRN estratte, su cui viene eseguita la fotointerpretazione.

Purtroppo il materiale a disposizione non ha consentito di attenersi alla procedura prevista, in quanto (i) le foto aeree disponibili per il 1991 non hanno garantito la completa copertura delle unità primarie estratte e (ii) parte del materiale fotografico riguardava porzioni di territorio non coperte dalle CTRN.

Dal confronto tra CTRN e foto aeree, è stato possibile individuare 24 CTRN per la CM Agordina e 6 CTRN per la CM della Valle del Boite aventi una corrispondenza con le foto aeree del 1991 (Figura 28).



**Figura 28: Comunità Montane Agordina e della Valle del Boite, con le CTRN utilizzate in evidenza**

L'analisi della variazione di superficie boscata è stata perciò effettuata solo nell'ambito della CM Agordina, utilizzando tutte le 24 CTRN individuate.

E' stata comunque realizzata, con i medesimi criteri, un'indagine complementare nella CM della Valle del Boite, utilizzando i dati ottenuti per un confronto con la situazione emersa nella CM Agordina.

Ai fini statistici si può comunque ritenere che l'estrazione delle unità campione sia assimilabile ad un'estrazione casuale.

#### **4.7.5 Foto aeree e ortofoto**

L'analisi multitemporale è stata effettuata attraverso il confronto tra le ortofoto del 2000 e del 2003 e le foto aeree del 1991.

Le prime hanno il vantaggio di essere raddrizzate e proiettate sul piano orizzontale, grazie a una procedura di ortorettifica, per cui il piano dell'immagine non corrisponde più a una proiezione centrale degli oggetti, ma a una proiezione ortogonale rigorosa. Sono disponibili in formato digitale, e possono essere proiettate a video a scala costante e, entro un sistema di riferimento comune, sovrapposte ad altre carte. Le foto aeree del 1991, invece, erano disponibili solo su supporto cartaceo, e quindi non riferite a un sistema di coordinate geografiche note. Il piano del fotogramma corrisponde ad una proiezione centrale degli oggetti con una progressiva deformazione dell'immagine dal centro verso l'esterno della foto (INFC 2003, Salvadori et al. 2006).

Per poter confrontare a video le foto aeree con le ortofoto e le CTRN a disposizione, è stato quindi necessario acquisire con uno scanner (modello AGFA DUOSCAN) i fotogrammi, per portarli in formato digitale. In seguito è stata effettuata l'operazione di georeferenziazione, o correzione geometrica, che consiste nell'attribuire delle coordinate geografiche ad ogni punto dell'immagine. La foto georeferita mantiene comunque insita la proiezione centrale, in quanto non è stata sottoposta ad un processo di ortorettifica rigoroso. Inoltre non contiene l'informazione relativa alla quota, che si otterrebbe associando l'immagine a un modello digitale del terreno (DEM, *Digital Elevation Model*), e che permette di quotare i punti presenti nella stessa (Gomasca 2004).

Le foto aeree del 1991 hanno una grandezza di 23 x 23 cm circa, ma una loro scansione per intero è inutile, in quanto accentua molto gli errori di scala e di distorsione della ripresa e comporterebbe la sovrapposizione di una buona parte delle aree scandite (Preto 1983). Si procede quindi alla scansione della sola superficie utile (*Su*) di ciascun fotogramma, che è definita come la massima superficie che può essere utilmente esaminata, a partire dal punto centrale dell'immagine, senza incorrere in una eccessiva sovrapposizione tra fotogrammi attigui. Tale area può essere calcolata come (Preto 1982):

$$Su = \frac{l^2(1-R_1)(1-R_2)}{SF^2} \quad (37)$$

dove

$l$  = lato del fotogramma

$R_1$  = ricoprimento lungo la strisciata

$R_2$  = ricoprimento tra strisciate attigue

$SF$  = scala media<sup>7</sup> delle riprese o dei singoli fotogrammi.

Le foto utilizzate per questo studio appartengono allo stesso volo di quelle usate da Salvadori (2006), caratterizzate da un  $R_1 = 75\%$  e  $R_2 = 50\%$ . Considerando una scala media di 1:16000, si dispone di una superficie utile di 191 ha. È stata perciò adottata la stessa  $Su$ , definita da un quadrato di 8.5 cm di lato, cui corrisponde un'area di circa 200 ha.

La scansione ha una risoluzione di 2000 ppi (*pixel per inch*), e permette di ottenere un'immagine in formato jpeg inserita in un piano cartesiano virtuale di origine  $x = 0, y = 0$ .

A questo punto la foto aerea può essere importata in ambiente GIS ed essere georeferita, con l'assegnazione delle coordinate del sistema di riferimento prescelto. Il *software* usato per la georeferenziazione è ArcGIS<sup>TM</sup> 9.1 della ESRI<sup>8</sup>, che contiene un'apposita procedura detta "georeferencing". L'immagine da georeferire viene sovrapposta alla base di riferimento, costituita dalla CTRN, cui viene sovrapposta, per comodità, anche l'ortofoto del 2003 (o del 2000 nel caso l'immagine del 2003 risultasse di difficile interpretazione) in modo da poter individuare più rapidamente i punti necessari alla georeferenziazione. Tali punti sono detti "punti di controllo" (*Ground Control Points, GCP*): sono cioè coppie di punti per cui viene identificata una corrispondenza sulla foto aerea e sulla CTRN, con coordinate rispettivamente  $x, y$ , e N, E. Si crea un *link* (collegamento) tra i vari punti di controllo di foto aerea e CTRN. Il

<sup>7</sup> Le foto si differenziano principalmente in base alla scala e al tipo di pellicola utilizzata. La scala media di un fotogramma è data dal rapporto tra la distanza focale della camera da presa e la distanza tra la camera da presa e l'oggetto da fotografare. Si parla di scala media sia per la natura prospettica dell'immagine, che causa delle distorsioni allontanandosi dal centro del fotogramma, sia per il territorio fotografato, che presenta dei rilievi e quindi in ciascun punto dell'immagine varia la quota relativa del volo e di conseguenza il rapporto di scala (Salvadori 2005, ISAF 2003)

<sup>8</sup> I parametri del sistema di riferimento usato in ArcMap di ArcGIS9.1 sono:

Projection: Transverse_Mercator
False_Easting: 1500000.000000
False_Northing: 0.000000
Central_Meridian: 9.000000
Scale_Factor: 0.999600
Latitude_of_Origin: 0.000000
Linear Unit: Meter (1,000000)
Geographic Coordinate System: GCS_Monte_Mario
Datum: D_Monte_Mario
Prime Meridian: Greenwich 0
Spheroid: (ellissoide Hayford) International_1924

numero di questi *link* varia a seconda dell'immagine. Il miglior risultato si ottiene con una distribuzione dei punti il più omogenea possibile sulla superficie della foto da georeferire.

La procedura di georeferimento o “correzione geometrica”, prevede poi l'applicazione all'immagine dell'algoritmo di trasformazione, basato su un polinomio i cui coefficienti vengono stimati dal programma con il metodo dei minimi quadrati, minimizzando gli scarti quadratici dei GPC. Il polinomio usato può essere di primo, secondo o, come in questo caso, terzo grado. L'accuratezza della trasformazione è espressa dallo scarto quadratico medio:

$$RMSE = \sqrt{\frac{e_1^2 + e_2^2 + \dots + e_n^2}{n}} \quad (38)$$

dove  $e$  rappresenta l'errore residuo (distanza tra le coppie di GCP) e  $n$  il numero di coppie individuate (Salvadori, 2006).

#### 4.7.6 Fotointerpretazione

Ad ogni punto campione è stata associata la corrispondente classe d'uso del suolo nel 1990 e nel 2003. Le classi individuate con la fotointerpretazione, conformi ai criteri adottati dall'INFC, sono:

- bosco
- produttivo non boscato
- improduttivo.

La procedura proposta dall'ISAFSA (2003) è la seguente:

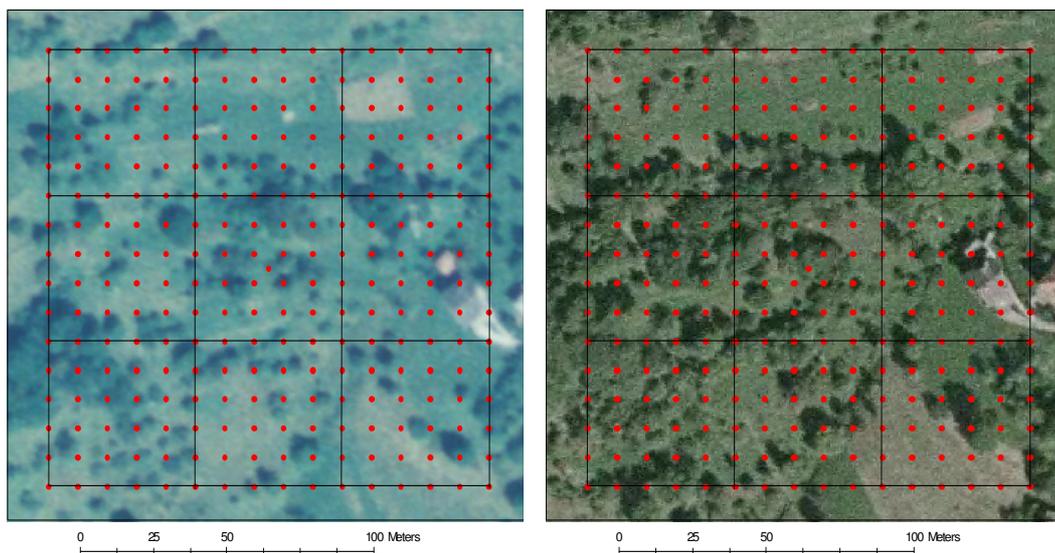
1. Individuazione del poligono omogeneo in cui ricade il punto.
2. Verifica della superficie del poligono (almeno 5000 m<sup>2</sup>) e della larghezza minima (almeno 20 m). Se il poligono non rispetta le soglie minime imposte dalla definizione, viene considerato come un incluso e ricade nella categoria del poligono circostante.
3. Verifica della percentuale di copertura arborea (almeno 10%). Se il poligono non è coperto da superficie arborea, può essere classificato come *improduttivo* (se per esempio cade in corrispondenza di un lago, di una formazione rocciosa, o di un centro urbano), oppure come *produttivo non boscato*, nel caso sia coperto da vegetazione non classificabile come arborea, o in cui questa sia presente con una copertura inferiore al 10%. Negli altri casi (poligono maggiore o uguale a 5000 m<sup>2</sup>, larghezza maggiore di 20 m e copertura maggiore del 10%), il punto viene classificato come *bosco*.

Individuato il poligono omogeneo in cui ricade il punto, si procede quindi a misurarne l'estensione. Per facilitare questa operazione, nei casi dubbi, è possibile sovrapporre al punto un intorno di analisi, ripartito in nove quadrati di superficie 2500 m<sup>2</sup> ciascuno, al centro del quale si

colloca il punto campione. In questo modo è facile valutare abbastanza velocemente se il poligono omogeneo considerato rispetta la soglia minima di 5000 m<sup>2</sup>: basta che ricopra una superficie pari ad almeno due dei nove quadrati visualizzati. Nel caso in cui il punto ricada in un poligono di forma allungata, è opportuno verificare se la larghezza sia superiore a 20 m. Anche in questo caso ci si può aiutare con l'intorno di analisi, che ha quadrati di 50 m di lato, oppure si può ricorrere allo strumento "misuratore di distanza" fornito da ArcGIS.

Per quanto riguarda la copertura arborea, quando essa è superiore al 20% il poligono è facilmente riconoscibile come bosco. Nel tracciare i confini del poligono, si deve fare attenzione a includere solo le piante arboree più esterne distanti almeno 20 m dal nucleo di bosco più denso. Se la copertura è al di sotto del 20%, i limiti del poligono possono essere individuati congiungendo le piante distanti meno di 20 m tra di loro, e valutando poi la copertura all'interno del poligono così definito. Nel caso in cui le piante siano distanti più di 20 m, è necessario verificare che non si tratti di boschi radi (copertura tra 5 e 10%).

Per poter dare una valutazione il più oggettiva possibile del grado di copertura, si sovrappone all'intorno di analisi una griglia di punti (distanziati tra loro di 10 m), centrata sul punto di campionamento. Si contano quindi i punti con copertura arborea, all'interno del quadrante centrale, e si verifica che questi costituiscano almeno il 10% del totale nel quadrante<sup>9</sup>. Successivamente si verifica che questa copertura si mantenga almeno su una superficie pari a un altro dei quadranti dell'intorno di analisi, in modo da raggiungere una superficie minima di 5000 m<sup>2</sup> (Figura 29).



**Figura 29: intorno di analisi e griglia di punti utilizzati per la valutazione delle dimensioni del poligono omogeneo e della copertura**

<sup>9</sup> Una copertura del 10% corrisponde a 4 punti sui 36 totali di ogni quadrante. Punti che intercettano chiome situati sul lato comune di due quadranti devono essere contati una sola volta ai fini della copertura, il numero di punti richiesti per il raggiungimento della soglia di copertura è invariato (10% corrisponde a 4 punti) (INFC 2003).

Nel caso di punti di incerta classificazione e ricadenti in zone in ombra, per cui non fosse possibile interpretare la situazione, si è effettuato un ulteriore confronto con le ortofoto del 2000. Nel caso anche queste risultassero non leggibili, i punti sono stati classificati come indeterminati.

#### 4.7.7 Controllo al suolo

Il controllo al suolo ha riguardato alcuni punti di incerta classificazione sulla base del solo supporto fotografico, e i punti classificati come “*afforestation*” e “*reforestation*”.

I punti dubbi sono quelli per cui, in base alle immagini a disposizione, non era sufficientemente sicura l’attribuzione alla categoria *bosco* o *produttivo non boscato*. La verifica in campo di alcune situazioni reali ha permesso così una più attendibile classificazione anche degli altri punti.

Per i punti classificati come “*afforestation*” e “*reforestation*”, sono stati effettuati ulteriori rilievi a terra, individuando due aree di saggio circolari concentriche, con l’acquisizione di attributi diversi sulle due superfici di riferimento. La metodologia usata è quella suggerita da De Natale *et al.* (De Natale et al. 2004), per i boschi di neoformazione.

Il centro delle aree di saggio è costituito dal punto in cui è stata individuata una variazione.

Per l’area esterna, avente un raggio di 18 m, per una superficie di 1000 m<sup>2</sup> circa, sono stati rilevati i seguenti parametri:

1) *uso del suolo precedente*

- a) prati falciati, pascoli
- b) colture orticole, frutteti su piccoli appezzamenti
- c) cereali, colture orticole estese
- d) frutticoltura a carattere intensivo

2) *origine della neoformazione*

- a) naturale
- b) artificiale
- c) mista

3) *rinnovazione* (stima a vista degli individui arborei con altezza inferiore a 2 m)

- a) assente
- b) presente
  - i) quantità
    - o abbondante (presente su più di metà dell’area di osservazione)

- mediamente presente (presente da 1/10 a metà dell'area di osservazione)
- sporadica (presente su meno di 1/10 dell'area di osservazione)
- ii) distribuzione
  - diffusa (distribuita in modo uniforme sull'area di osservazione)
  - aggregata (presente in gruppi e concentrata in particolari condizioni microstazionali)
  - di margine (concentrata soprattutto sul margine del bosco)
- iii) specie prevalente (codici specie)

#### 4) *specie arbustive presenti*

Nell'area interna avente un raggio di 8 m per una superficie di circa 200 m<sup>2</sup>, si sono rilevate le seguenti informazioni:

- *specie arboree*;
- *cavallettamento totale* con soglia 3 cm e classi diametriche di 1 cm;
- *altezze delle piante*: rilievo eseguito su alcuni soggetti identificati come rappresentativi del popolamento; sulla base dell'intervallo di variazione dei diametri registrato si distinguono tre classi diametriche (diametri piccoli, medi e grandi) e per ciascuna specie prevalente si individuano 1-2 piante modello delle altezze per ogni classe diametrica (con un minimo di 4 alberi modello totali);
- *succhiellamento* degli alberi modello delle altezze della classe dei diametri medi su cui si sono effettuati i rilievi auxometrici (la carotina viene prelevata alla base per piante con diametro < 15 cm, ad 1.30 m per piante con diametro >15 cm).

Le misurazioni nell'area di saggio di 200 m<sup>2</sup> sono state fatte considerando tutte le piante di bordo come interne all'area stessa, senza tenere conto dell'incidenza della chioma; questa scelta è legata alla ridotta dimensione dei soggetti presenti nelle aree di saggio rilevate, tutte caratterizzate da boschi di neoformazione.

Tutti i dati sono stati registrati in schede di rilevamento apposite e successivamente trasferiti in formato digitale, per le elaborazioni.

#### **4.7.8 Elaborazione dei dati**

I rilievi in campo sono stati utilizzati per verificare che la variazione della superficie boscata risultasse successiva al 1990. Si sono pertanto contati gli anelli di accrescimento di ogni

carotina prelevata dalle piante campione. fissata su appositi supporti, levigata e analizzata mediante il CCTRMD (Computer Controlled Tree RWG Measuring Device), uno strumento che permette di individuare e misurare gli anelli con risoluzione al centesimo di millimetro. I dati sono stati successivamente acquisiti, archiviati e rielaborati mediante il software CATRAS.

Per prima cosa è stata valutata la significatività delle differenze di superficie boscata rilevate tra il 1991 e il 2003 attraverso l'applicazione del test di McNemar per dati appaiati (Zar 1999). Per questo i dati devono essere dapprima inseriti in una tabella di contingenza 2 x 2, che accorpa i punti ricadenti nella classe *produttivo non boscato* con quelli dell'*improduttivo*, in un'unica categoria, *non bosco*, distinta dai punti classificati come *bosco* (Tabella 28).

**Tabella 28: tabella di contingenza per l'applicazione del Test di McNemar:  $f$  è la frequenza osservata**

	2003		
1991		Bosco	Non bosco
Bosco		$f_{11}$	$f_{12}$
Non bosco		$f_{21}$	$f_{22}$

Dopo aver elaborato la tabella di contingenza, si può procedere al calcolo della significatività delle variazioni nel campione, con la formula (Zar 1999):

$$\chi_c^2 = \frac{(|f_{12} - f_{21}| - 1)^2}{f_{12} + f_{21}} \quad (39)$$

Lo stimatore campionario della proporzione di unità statistiche ricadenti in una certa classe  $C$  (per esempio, *bosco*, o *improduttivo*), all'interno della popolazione esaminata è (Corona 2000):

$$p_{DSr} = \frac{\sum_{j=1}^m N_j p_j}{\sum_{j=1}^m N_j} \quad (40)$$

dove  $p_j = \frac{n_{Cj}}{n_j}$

$n_{Cj}$  = numero di unità secondarie campione della  $j$ -esima unità primaria campione (CTRN), appartenenti alla classe  $C$

$n_j$  = numero di unità secondarie campione nella  $j$ -esima unità primaria campione

$N_j$  = numero totale di unità secondarie nella  $j$ -esima unità primaria campione

La varianza di  $p_c$  può essere stimata pari a (Corona 2000):

$$s_{p_{DSr}}^2 = \frac{m \left[ (M - m) \frac{\sum_{j=1}^m N_j^2 (p_j - p_{DSr})^2}{m - 1} + \sum_{j=1}^m \frac{N_j (N_j - n_j) p_j (1 - p_j)}{n_j - 1} \right]}{M \left( \sum_{j=1}^m N_j \right)^2} \quad (41)$$

Lo stimatore della variazione del cambiamento della proporzione di unità in una certa classe  $C$  nei due momenti successivi (1991 – 2003) è (Corona 2000):

$$\hat{Z}_{pc} = \hat{p}_{DSr\ 2} - \hat{p}_{DSr\ 1} \quad (42)$$

L'errore standard di  $\hat{z}_{pc}$  può essere stimato pari a:

$$\hat{s}_{\hat{z}_{pc}} = \sqrt{\hat{s}_{\hat{p}_{DSr\ 2}}^2 + \hat{s}_{\hat{p}_{DSr\ 1}}^2 - 2\hat{s}_{\hat{p}_{c2}\hat{p}_{c1}}} \quad (43)$$

dove:

$\hat{s}_{\hat{p}_{c2}\hat{p}_{c1}}$  stimatore conservativo della correlazione di  $\hat{p}_{c1}$  e  $\hat{p}_{c2} = r_{p_1 p_2} s_{p_1} s_{p_2}$

$$e \quad r_{p_1 p_2} = \frac{(p_{12} - p_1 p_2)^2}{p_1 p_2 (1 - p_1)(1 - p_2)}$$

$p_{12}$  = stimatore della proporzione di punti campione afferenti alla classe di copertura del suolo  $C$  considerata sia nel 1991 che nel 2003.

Lo stimatore di variazione di superficie nella classe di copertura del suolo  $C$  tra il 1991 e il 2003 è pari a:

$$\hat{Z}_c = A \hat{z}_{pc} \quad (44)$$

con  $A$  pari alla superficie della Comunità Montana.

L'errore standard stimato è:

$$\hat{s}_{\hat{Z}_c} = A \hat{s}_{\hat{z}_{pc}} \quad (45)$$

Il valore medio annuo di variazione di superficie della classe di copertura del suolo  $C$  può essere stimato pari a:

$$\hat{v}_c = \frac{\hat{Z}_c}{l} \quad (46)$$

dove  $l$  = numero di anni tra il primo e il secondo rilevamento (12 anni).

Lo stimatore dell'errore standard di  $\hat{v}_c$  è pari a:

$$\hat{s}_{\hat{v}_c} = \frac{\hat{s}_{\hat{Z}_c}}{l} \quad (47).$$

Infine, è possibile, con le stesse equazioni (calcolo di  $\hat{v}_c$ ), stimare l'estensione della superficie boscata riferita al 1990 ed effettuare una proiezione dal 2003 al periodo 2008 - 2012. L'intervallo di tempo esaminato, pari a 12 anni, suggerisce infatti di non eseguire previsioni su orizzonti temporali maggiori del periodo preso in esame (Salvadori, 2006).

#### 4.7.9 Stima del carbonio epigeo fissato

Il metodo proposto si basa anche in questo caso sull'impiego del modello *WBE* (West et al. 1999), espresso nella forma logaritmica.

In particolare, per le piante giovani, quelle cioè che interessano le aree soggette ad *afforestation/reforestation*, si individua un valore medio di *lna* uguale a -1.63 (con errore standard di 0.05), e un valore di *b* pari a 2.08.

A partire dalle seriazioni diametriche delle aree di saggio con centro nel punto soggetto a variazione della superficie boscata, è stata quindi stimata la biomassa presente al momento del rilievo, utilizzando la seguente formula:

$$\ln( M ) = -1.638 + 2.08 \ln( Dbh ) \quad (48).$$

Dall'esame delle carotine prelevate dalle piante campione, si ricavano le età delle piante, e da qui gli incrementi diametrici medi annui (dividendo il diametro per l'età della pianta), che vengono poi mediati per ricavare un valore unico per ogni specie.

Utilizzando gli incrementi medi delle specie, si può stimare la seriazione diametrica pregressa relativa al 1990, sottraendo al diametro attuale l'incremento stimato per i 16 anni trascorsi dalla *baseline*. Dalla seriazione diametrica del 1990, si può ricavare la biomassa stoccata a tale data (tutti i dati vengono riferiti all'ettaro).

La quantità di carbonio fissato nella biomassa si stima pari al 50% della biomassa stessa (IPCC/OECD/IEA 1997, Nabuurs et al. 2003a), pertanto per effettuare la conversione da biomassa a carbonio è sufficiente moltiplicare i dati ottenuti per il fattore di conversione 0.5.

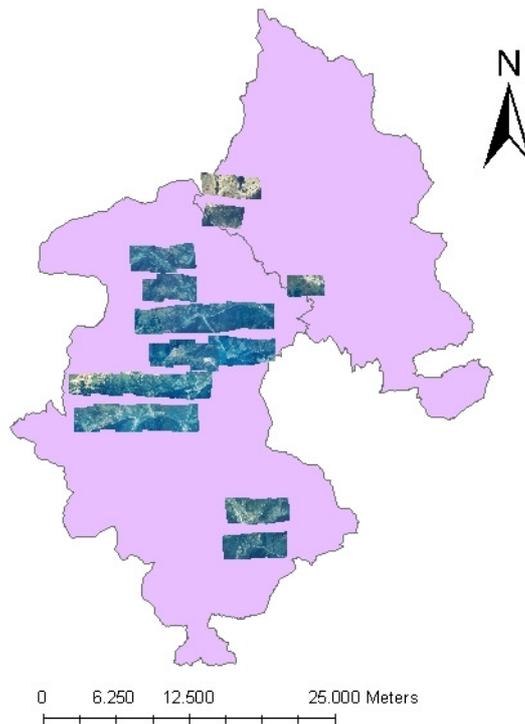
L'assorbimento medio annuo a questo punto può essere stimato come differenza tra lo *stock* presente nel 1990 e quello attuale, diviso per i 16 anni intercorsi dalla *baseline*. È possibile così calcolare il *sink* medio rilevato nelle diverse formazioni.

I dati stimati per ogni punto di variazione, sono stati successivamente aggregati per ricavare un unico valore di assorbimento medio, esteso poi all'intera superficie di variazione della Comunità Montana.

## 4.8 Risultati

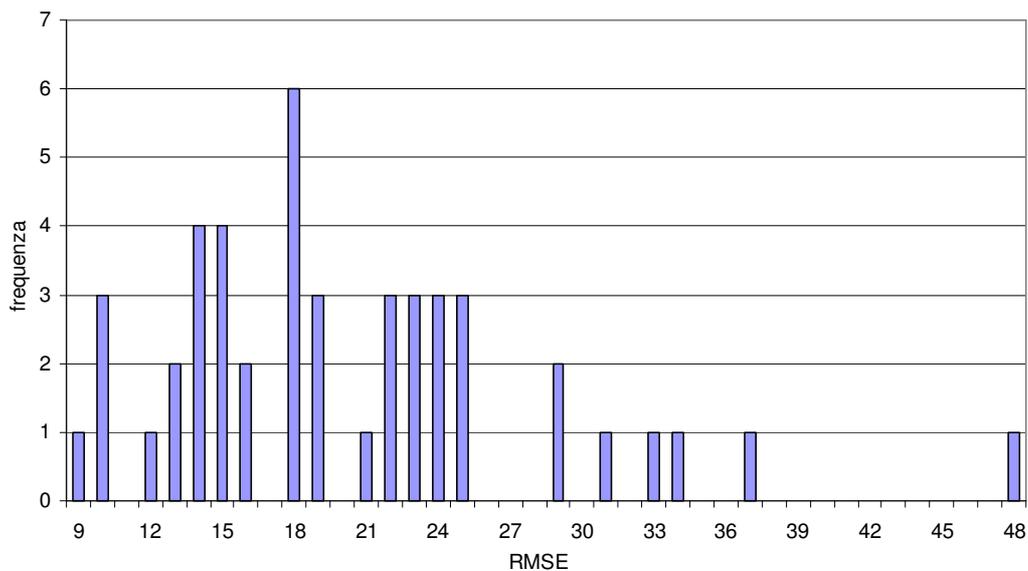
### 4.8.1 Georiferimento delle immagini

Sono state analizzate in tutto 39 foto aeree per la CM Agordina, e 7 per la CM della Valle del Boite, georeferite attraverso la creazione di 1332 *link* tra le immagini scandite e le CTRN di riferimento (Figura 30); mediamente sono stati quindi formati 29 *link* per fotogramma.



**Figura 30: foto aeree utilizzate**

Il programma utilizzato permette di calcolare direttamente lo scarto quadratico medio per ciascuna porzione georeferita, attraverso una polinomiale di terzo grado. È stata analizzata la frequenza degli scarti (Figura 31), raggruppati in categorie unitarie comprese tra il valore minimo (9) e quello massimo (48) registrato. Il valore medio dell'errore è di 21.7 m.

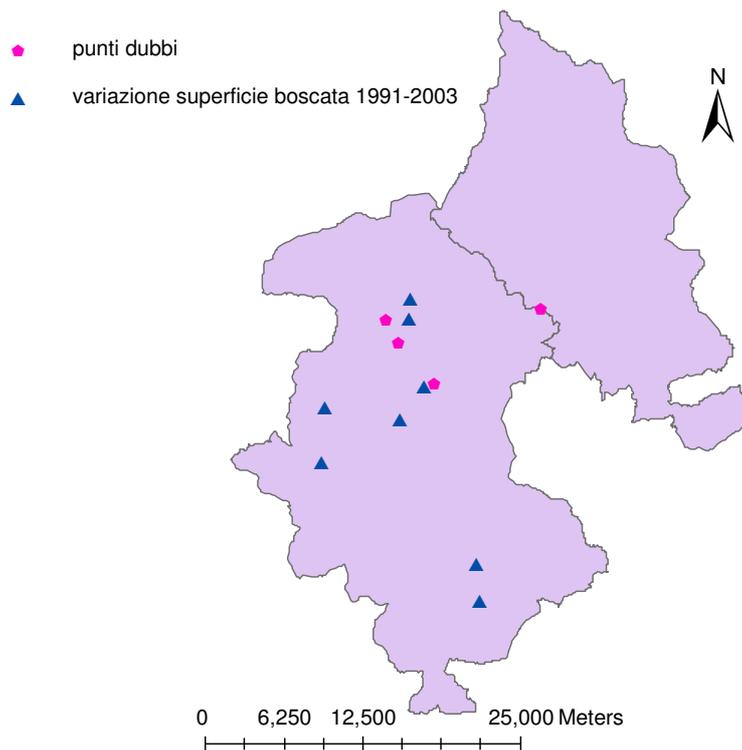


**Figura 31: frequenza degli scarti calcolati per ogni porzione di fotogramma georeferita**

Il valore medio dell'errore evidenziato nell'operazione di georeferimento delle immagini, è dovuto essenzialmente alla morfologia del territorio analizzato, eterogenea e caratterizzata da rilievi molto accentuati.

#### 4.8.2 Verifica a terra

I rilievi a terra hanno permesso di verificare sul campo alcune situazioni dubbie, in riferimento alla classificazione dei punti bosco o produttivo non boscato, e degli 8 punti classificati come variazione di superficie boscata (Figura 32). I rilievi biometrici sono stati eseguiti su 6 di questi, per problemi di accessibilità agli altri due siti.



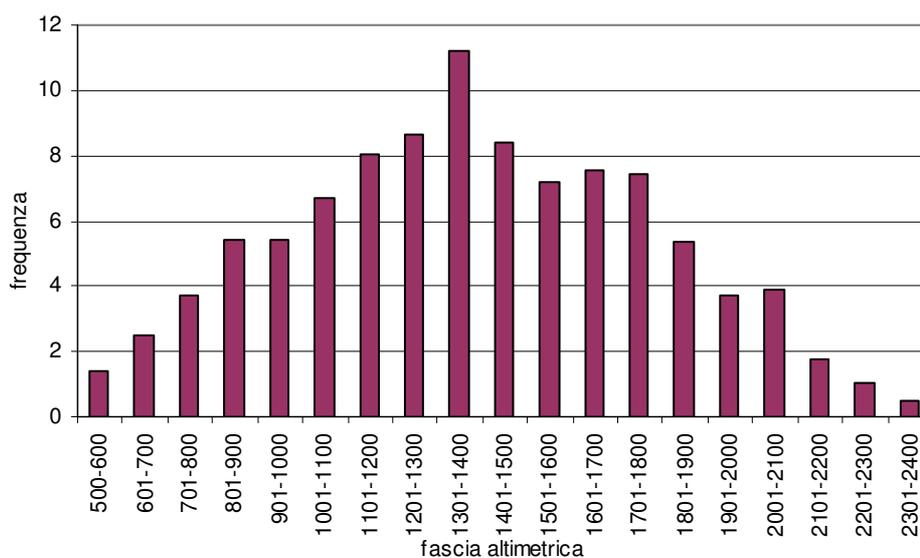
**Figura 32: punti visti a terra**

I punti esaminati sono riconducibili a diverse tipologie di *reforestation*: sono infatti stati rilevati due impianti artificiali, uno di larice e uno di abete rosso, un esempio di ricolonizzazione di un pascolo, a circa 1950 m di quota, e alcuni esempi di riconquista da parte del bosco di aree a prato. Due di queste zone si trovano alla periferia dei centri abitati, su ex - prati arborati, mentre un altro caso di variazione di superficie boscata, è stato riscontrato nei pressi di una località che un tempo ospitava due segherie ora in disuso.

La specie ritrovata più spesso, un po' a tutte le quote, è l'abete rosso, che infatti presenta una grande adattabilità nei diversi ambienti, essendo praticamente ubiquitario. Tra le altre specie, l'acero, il frassino, il faggio, il sorbo degli uccellatori, e quello montano, oltre a specie disseminate dalle limitrofe zone urbane, come alcune piante di cedro.

#### **4.8.3 Campionamento casuale nella Comunità Montana Agordina**

La fotointerpretazione è stata eseguita su un totale di 1220 punti per la Comunità Montana Agordina, di cui 5 sono risultati di impossibile interpretazione, perché ricadenti in zone completamente in ombra sia sulla foto aerea, sia sull'ortofoto. I punti utilizzati per il calcolo della variazione di superficie pertanto sono stati 1215, distribuiti a quote comprese tra i 500 e i 2400 m s.l.m. (Figura 33)



**Figura 33: ripartizione dei punti per fasce altimetriche**

Nella CM Agordina è stata riscontrata una variazione di superficie su 11 punti così ripartiti:

- presentano un cambiamento da *produttivo non boscato a improduttivo*, restando quindi classificati come *non bosco*,
- 8 sono passati da *produttivo non boscato a bosco*, classificati tutti come *reforestation*.

La variazione della superficie boscata è quindi riconducibile a processi di *afforestation/reforestation*, non essendoci punti a diminuzione di superficie boscata (*deforestation* pari a zero).

L'incremento medio annuo di superficie boscata è risultato dello 0.089% rispetto alla superficie stimata per il 1990 e pari a circa 42 ha. Tale variazione (Tabella 29) è risultata statisticamente significativa: il test di McNemar per dati appaiati (eq. 39) riporta un valore di  $p < 0.025$ .

**Tabella 29: tabella di contingenza utilizzata per il test di McNemar applicato alla CM Agordina**

	2003	
1991		
	<i>Bosco</i>	<i>Non bosco</i>
<i>Bosco</i>	893	0
<i>Non bosco</i>	8	314

È stata quindi calcolata la proporzione dei punti afferenti a ciascuna categoria di uso del suolo, convertita poi in ettari corrispondenti attraverso le formule per il campione multistadio (eq. 40). I risultati di queste elaborazioni sono sintetizzati nelle tabelle 30,31 e 32, che riportano

rispettivamente la ripartizione dei punti nelle tre categorie d'uso del suolo, la ripartizione delle superfici, e quella percentuale rispetto alla superficie totale.

**Tabella 30: ripartizione dei punti nelle categorie d'uso del suolo considerate**

		Anno 2003			
		<i>Bosco</i>	<i>Produttivo non boscato</i>	<i>Improduttivo</i>	<i>Totale</i>
Anno 1991	<i>Bosco</i>	893	0	0	932
	<i>Produttivo non boscato</i>	8	212	3	189
	<i>Improduttivo</i>	0	0	94	94
	<i>Totale</i>	940	178	97	1215

**Tabella 31: ripartizione della superficie (ha) nelle categorie d'uso del suolo considerate**

		Anno 2003			
		<i>Bosco</i>	<i>Produttivo non boscato</i>	<i>Improduttivo</i>	<i>Totale</i>
Anno 1991	<i>Bosco</i>	47473.19	0	0	47472.19
	<i>Produttivo non boscato</i>	505.68	12034.82	153.98	12694.48
	<i>Improduttivo</i>	0	0	5748.62	5748.62
	<i>Totale</i>	47978.87	12034.82	5902.60	65916.29

**Tabella 32: ripartizione percentuale della superficie (ha) nelle categorie d'uso del suolo considerate**

		Anno 2003			
		<i>Bosco</i>	<i>Produttivo non boscato</i>	<i>Improduttivo</i>	<i>Totale</i>
Anno 1991	<i>Bosco</i>	72.02	0	0	72.02
	<i>Produttivo non boscato</i>	0.77	18.26	0.23	19.26
	<i>Improduttivo</i>	0	0	8.72	8.72
	<i>Totale</i>	72.79	18.26	8.95	100

Si sono poi cercate eventuali correlazioni tra la variazione di superficie e la quota a cui si trovano i punti campione.

Pertanto, è stato dapprima eseguito il test di McNemar dividendo i punti in due e in tre fasce altimetriche. Il test ha riportato valori significativi della variazione per le quote inferiori a 1500 m, entro cui si trovano sei degli otto punti di variazione individuati ( $p < 0.05$ ), mentre al di sopra le variazioni non sono significative.

È quindi stata ricalcolata la ripartizione dei punti nelle diverse categorie di uso del suolo, limitatamente a questa fascia altimetrica (Tabella 33 - Tabella 35), tenendo conto che la superficie di riferimento, in questo caso, è solo quella situata a quota inferiore ai 1500 m, pari a 36500.42 ha.

**Tabella 33: ripartizione dei punti nelle categorie d'uso del suolo considerate (quote 500 – 1500 m)**

		Anno 2003			
		<i>Bosco</i>	<i>Produttivo non boscato</i>	<i>Improduttivo</i>	<i>Totale</i>
Anno 1991	<i>Bosco</i>	561	0	0	561
	<i>Produttivo non boscato</i>	6	99	3	108
	<i>Improduttivo</i>	0	0	61	61
	<i>Totale</i>	569	99	64	730

**Tabella 34: ripartizione percentuale dei punti nelle diverse categorie d'uso del suolo (quote 500 – 1500 m)**

		Anno 2003			
		<i>Bosco</i>	<i>Produttivo non boscato</i>	<i>Improduttivo</i>	<i>Totale</i>
Anno 1991	<i>Bosco</i>	77.14	0	0	77.14
	<i>Produttivo non boscato</i>	0.88	13.65	0.53	15.07
	<i>Improduttivo</i>	0	0	7.80	7.80
	<i>Totale</i>	78.02	13.65	8.33	100

**Tabella 35: ripartizione della superficie nelle diverse categorie d'uso del suolo (quote 500 – 1500 m)**

		2003			
		<i>Bosco</i>	<i>Produttivo non boscato</i>	<i>Improduttivo</i>	<i>Totale</i>
Anno 1991	<i>Bosco</i>	28155.69	0	0	28155.69
	<i>Produttivo non boscato</i>	322.43	4982.80	194.28	5499.51
	<i>improduttivo</i>	0	0	2845.23	2845.23
	<i>totale</i>	28478.12	4982.80	3039.50	36500.42

#### 4.8.4 Variazione della superficie boscata

Sono state calcolate le variazioni avvenute nel periodo considerato all'interno della Comunità Montana, per le tre categorie d'uso del suolo (Tabella 36). In questa fase è stata utilizzata la superficie della Comunità Montana afferente alla quota inferiore a 1500 m slm (36500.42 ha), avendo appunto verificato che l'unica variazione di superficie boscata significativa si registra al di sotto di questa soglia.

**Tabella 36: valori di variazione di superficie nel periodo 1991 – 2003 e valori medi annui, per ogni categoria di uso del suolo (m 500 – 1500).**

	<i>Variazione superficie (ha)</i>	<i>Dev.Standard</i>	<i>Errore standard (ha)</i>	<i>Variazione annua (ha)</i>	<i>Errore standard (ha)</i>
<i>Superficie boscata</i>	322.43	0.00025	8.99	26.87	0.749
<i>Produttivo non boscato</i>	-516.70	0.01746	11.31	-43.06	0.942
<i>Improduttivo</i>	94.28	0.00016	5.79	16.19	0.483

In base a questi dati, è stata calcolata la variazione percentuale annua della superficie boscata, pari a:

- 0.074% rispetto alla superficie totale della Comunità Montana,
- 0.095% rispetto alla superficie boscata stimata al 1991,

Rapportando il valore di variazione di superficie al 1990, anno di riferimento ai fini del PK, si è quindi stimata la variazione complessiva di superficie boscata al 2006, anno in cui sono stati eseguiti i rilievi, con i seguenti risultati:

- variazione totale 1990 – 2006 stimata pari a 429.9 ha,
- pari all'1.18% rispetto alla superficie totale della Comunità montana,
- e all'1.53% rispetto alla superficie boscata stimata per il 1990.

#### 4.8.5 Stima dell'assorbimento di carbonio

Attraverso l'analisi delle carotine prelevate dalle piante campione, è stata ricavata l'età (Tabella 37) e l'incremento diametrico medio delle diverse specie (Tabella 38):

**Tabella 37: diametro (*Dbh*), altezza (*H*) ed età delle piante campione. L'osservazione delle età evidenzia come una parte della vegetazione abbia un'età inferiore a 20 anni (pa = *Picea abies*, ld = *Larix decidua*, sa = *Sorbus aucuparia*, ap = *Acer pseudoplatanus*).**

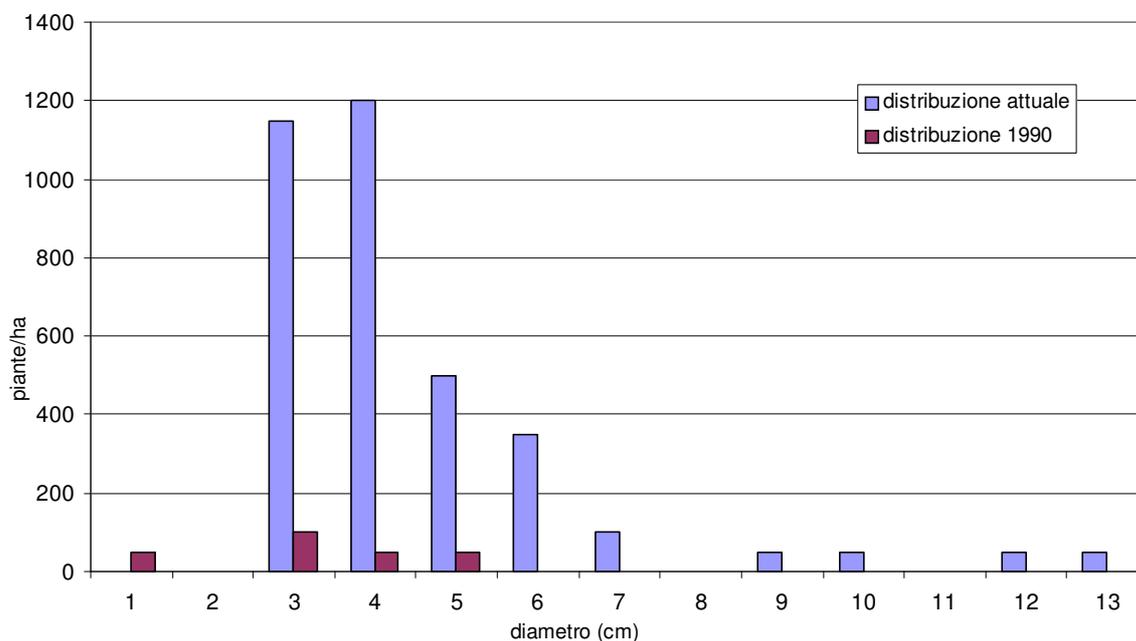
Punto campione	specie	Dbh (cm)	H (m)	età	incrementi
2005	pa	8	6.5	22	0.36
	pa	5		18	0.28
	pa	13	10	17	0.76
	pa	3	2.5	17	0.18
747	pa	8	7.5	20	0.40
	pa	25	13.5	17	1.47
	pa	5	4.5	20	0.25
	pa	10	8.5	15	0.67
3660	pa	7	3.8	16	0.44
	pa	7	3	12	0.58
	pa	12	4.8	18	0.67
	pa	5	3	16	0.31
3991	ld	7	7.5	17	0.41
	ld	6	7	11	0.55
	ld	7	7	13	0.54
	ld	16	9.5	12	1.33
	ld	5	8	10	0.50
7416	pa	13	9.5	24	0.54
	pa	5	4.5	13	0.38
	pa	5	3.8	11	0.45
	pa	4	3.5	13	0.31
	sa	7	6	17	0.41
	sa	6	6.5	13	0.46
	sa	4	5.5	16	0.25
	sa	6	6	12	0.50
	sa	5	6	17	0.29
	sa	4	5.5	17	0.24
5831	ap	10	12	17	0.59
	ap	10	13	16	0.63
	ap	6	9.5	12	0.50
	ap	7	9	13	0.54

**Tabella 38: incrementi medi annui stimati a partire dalle carotine prelevate dalle piante campione**

specie	abete rosso	larice	Acero	sorbo	media conifere	media latifoglie
incremento diametrico medio (cm/anno)	0.50	0.67	0.56	0.36	0.54	0.44

Nota la seriazione diametrica delle piante presenti, attraverso gli incrementi medi annui è stata stimata per ogni punto la seriazione diametrica progressiva relativa al 1990 (Figura 34), da cui è stata successivamente ricavata la biomassa stoccata a tale data. Dato che nel campionamento rientravano solo le specie prevalenti, per ricostruire la seriazione diametrica

delle specie secondarie, è stato utilizzato un valore di incremento calcolato come la media degli incrementi relativi ad abete rosso e larice, per le conifere, e a sorbo e acero, per le latifoglie.



**Figura 34: distribuzione diametrica attuale (rilevata mediante cavallettamento) e pregressa (stimata attraverso l'incremento diametrico medio), relativa al punto campione 7416 (coordinate 1721011E, 5137389N). I valori sono riferiti all'ettaro**

Dopo aver calcolato la biomassa stoccata nelle due diverse occasioni (eq. 48), è stato stimato l'assorbimento medio come differenza tra lo *stock* presente nel 1990 e quello attuale, diviso per i 16 anni trascorsi dalla *baseline*.

I dati ottenuti per ogni singolo punto sono stati poi mediati per ottenerne un unico valore valido per tutta la CM Agordina (Tabella 39).

**Tabella 39: valori di biomassa epigea e di carbonio fissato nei punti campione. I valori sono espressi in Mg/ha, e sono riferiti alla sola biomassa epigea con Dbh > 3 cm.**

<i>punto campione</i>	<i>biomassa al 1990</i> Mg ha <sup>-1</sup>	<i>biomassa al 2006</i> Mg ha <sup>-1</sup>	<i>carbonio fissato</i> Mg ha <sup>-1</sup>	<i>assorbimento annuo</i> Mg ha <sup>-1</sup>
5831	4.53	41.17	18.32	1.15
7416	0.69	18.90	9.10	0.57
2005	0.27	3.31	1.52	0.10
747	17.51	51.56	17.03	1.06
3991	1.03	18.63	8.80	0.55
3660	1.17	23.42	11.13	0.70
<b>media</b>	<b>4.20</b>	<b>26.17</b>	<b>10.98</b>	<b>0.69</b>

Volendo infine ottenere un valore di assorbimento di carbonio annuo per tutta la superficie interessata da *afforestation/reforestation*, l'assorbimento medio annuo così stimato, è stato moltiplicato per il valore medio annuo di variazione di superficie boscata, ottenendo un *sink*, per la massa arborea epigea, pari a:

- 18.44 Mg anno<sup>-1</sup>, per l'intera CM Agordina

#### 4.8.6 Campionamento casuale nella Comunità Montana della Valle del Boite

Dati i limiti del materiale fotografico a disposizione, il campionamento casuale nella zona della CM della Valle del Boite ha riguardato soltanto una piccola zona nella parte confinante con la CM Agordina. Sono stati analizzati in tutto 184 punti, compresi tra i 1840 e i 3060 m s.l.m (Tabella 35). In nessuno di questi è stata rilevata una variazione di superficie da non bosco a bosco, avendo trovato un unico punto di variazione, da produttivo non boscato a improduttivo. Si riporta comunque la ripartizione dei punti nelle diverse categorie d'uso del suolo (Tabella 40).

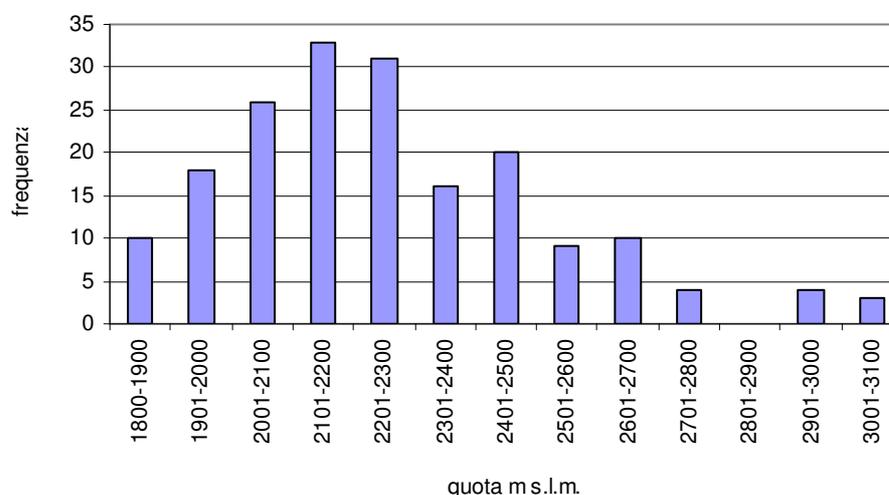


Figura 35: ripartizione dei punti per fasce altimetriche

Tabella 40: ripartizione dei punti e relative percentuali, nelle categorie di uso del suolo considerate, relativamente alla CM della Valle del Boite per il 1991

	frequenza	Percentuale
<i>bosco</i>	36	19.57
<i>produttivo non boscato</i>	54	29.35
<i>improduttivo</i>	94	51.09
<i>totale</i>	184	100

Nei punti osservati, il bosco si trova fino a una quota massima di 2160 metri, rappresentando, al di sotto di questa quota, il 47% dei punti classificati (76 in tutto).

#### 4.8.7 Valutazione delle attività ARD per la regione Veneto

L'analisi della variazione di superficie boscata proposta da Salvadori *et al.* (2006) nella Comunità Montana del Grappa ha evidenziato un incremento annuo pari allo 0.54% della superficie boscata presente al 1991. Questo dato può essere assunto come rappresentativo della

fascia pedemontana della Regione Veneto, mentre i risultati ottenuti, con la stessa metodologia, nella CM Agordina possono essere considerati rappresentativi del territorio montano. Qui l'incremento della superficie boscata è risultato significativo soltanto al di sotto i 1500 m, con un aumento percentuale annuo pari allo 0.095%.

Tali risultati possono dunque essere estesi a tutte le CM del Veneto applicando due diversi tassi di variazione di superficie a seconda della quota media della CM stessa, ed escludendo dal conteggio la superficie boscata che si trova a quote superiori a 1500 m slm (Tabella 41); utilizzando poi i dati di superficie ripartiti per classi di quota dell'INFC (INFC 2007) è stato possibile ampliare tali stime all'intera superficie boscata regionale.

**Tabella 41: quote media e tasso di variazione di superficie boscata applicato per ogni CM (Del Favero 2006), 2006) e per l'intera superficie forestale del Veneto (INFC 2007)**

Comunità montana	Superficie totale (ha)	Superficie Boscata (ha)	Quota media (m slm)	bosco < 1500 m (ha)	bosco > 1500 m (ha)	Tasso di variazione %	
Agno-Chiampo	23390.53	9833.81	913	8710.28	1123.53	0.540	
Agordina	65916.26	37280.63	1231	19322.69	17957.94	0.095	
Alto Astico e Posina	23470.52	9588.26	1198	7058.79	2529.47	0.095	
Bellunese-Belluno-Ponte nelle Alpi	20533.20	8791.22	1000	8791.22	0.00	0.095	
Cadore Longaronese Zoldano	32296.56	20872.47	1237	15747.64	5124.83	0.095	
Centro Cadore	59541.33	34962.58	1231	21320.88	13641.70	0.095	
Comelico-Sappada	34293.22	19966.39	1236	8825.95	11140.44	0.095	
dall'Astico al Brenta	11006.52	3270.23	1197	3270.23	0.00	0.095	
del Baldo	21911.04	9229.44	1044	9070.96	158.48	0.540	
del Brenta	15090.24	7335.37	1129	7298.88	36.49	0.095	
del Grappa	10579.41	3512.89	542	3512.89	0.00	0.540	
della Lessinia	48466.54	13682.25	929	11512.69	2169.56	0.540	
della Valle del Boite	40995.84	19830.73	1227	6457.15	13373.58	0.095	
dell'Alpago	16759.36	7000.26	1168	6848.06	152.20	0.095	
delle Prealpi Trevigiane	36385.82	13934.81	1090	13934.81	0.00	0.540	
Feltrina	60414.34	33089.52	1150	28635.68	4453.84	0.095	
Leogra-Timonchio	15621.10	6194.23	1182	5481.52	712.71	0.095	
Spettabile Reggenza dei Sette Comuni	46613.36	18882.21	1239	12084.87	6797.34	0.095	
Val Belluna	36389.26	14896.82	1232	14683.42	213.40	0.095	
TOTALE CM Veneto		277257.30		212568.61	-	-	
TOTALE REGIONALE (INFC 2007)		395460	970	0-1000 m	207350	66021	0.540
				1001-1500	121340		0.095

Utilizzando poi il valore di assorbimento medio di carbonio stimato ( $0.69 \text{ Mg C ha}^{-1} \text{ anno}^{-1}$ ), è stato calcolato il *sink* medio di tutte le CM e dell'intera regione (Tabella 42).

**Tabella 42: variazione di superficie boscata (ha) e assorbimento di carbonio all'anno (Mg ha<sup>-1</sup> anno<sup>-1</sup>) per ogni CM della Regione Veneto**

Comunità montana	Superficie totale (ha)	Variazione anno <sup>-1</sup> (ha)	C anno <sup>-1</sup> (Mg)
Agno-Chiampo	23390.53	47.04	32.45
Agordina	65916.26	18.36	12.67
Alto Astico e Posina	23470.52	6.71	4.63
Bellunese-Belluno-Ponte nelle Alpi	20533.20	8.35	5.76
Cadore Longaronese Zoldano	32296.56	14.96	10.32
Centro Cadore	59541.33	20.25	13.98
Comelico-Sappada	34293.22	8.38	5.79
dall'Astico al Brenta	11006.52	3.11	2.14
del Baldo	21911.04	48.98	33.80
del Brenta	15090.24	6.93	4.78
del Grappa	10579.41	18.97	13.09
della Lessinia	48466.54	62.17	42.90
della Valle del Boite	40995.84	6.13	4.23
dell'Alpago	16759.36	6.51	4.49
delle Prealpi Trevigiane	36385.82	75.25	51.92
Feltrino	60414.34	27.20	18.77
Leogra-Timonchio	15621.10	5.21	3.59
Spettabile Reggenza dei Sette Comuni	46613.36	11.48	7.92
Val Belluna	36389.26	13.95	9.62
TOTALE CM regione		409.94	282.86
TOTALE REGIONALE		1234.96	852.12

## 4.9 Discussione

### 4.9.1 La metodologia utilizzata

La procedura seguita per la stima della variazione di superficie boscata è conforme alle indicazioni fornite dalle GPG, rispettando i criteri del *RMI*, e fornendo l'errore associato alla stima (IPCC 2003). Il fatto che quest'ultimo risulti più elevato rispetto a quanto rilevato in precedenti studi (Salvadori et al. 2006), si può spiegare ricordando che il materiale disponibile non copre l'intera superficie della CM Agordina. Non viene pertanto rispettata la densità di punti ottimale (1 punto ogni 12 ha), ma, estendendo i risultati ottenuti all'intera superficie della Comunità Montana, i punti realmente fotointerpretati risultano avere una densità di 1 ogni 54 ha.

Inoltre, la zona coperta dalle foto aeree si trova in un'area accorpata, che presenta caratteristiche abbastanza omogenee: la stima della variazione di superficie per ogni categoria di uso del suolo, estesa a tutta la superficie della Comunità Montana, potrebbe quindi risentire della scarsa rappresentatività della porzione analizzata, rispetto al territorio dell'intera CM.

Ripartire le analisi per diverse fasce altitudinali si è pertanto rivelato utile per comprendere meglio le dinamiche esistenti in un territorio dalla morfologia complessa.

#### 4.9.2 Variazione della superficie boscata

Nell'arco dei 12 anni trascorsi tra i due rilevamenti si è verificato un aumento della superficie boscata, con conseguente riduzione delle aree classificate come produttivo non boscato. Il tasso di espansione calcolato nella presente ricerca può essere posto a confronto con quelli emersi da studi analoghi:

- nella CM Agordina il tasso di espansione annua del bosco è pari allo 0.095% rispetto alla superficie boscata stimata al 1991,
- nella CM del Grappa, il tasso di espansione annuo del bosco è pari allo 0.54% rispetto alla superficie boscata del 1991 (Salvadori et al. 2006),
- per la Regione Abruzzo, Corona *et al.* (2005) hanno stimato un'espansione annua del bosco pari allo 0.60% della superficie boscata al 1990,
- per la Provincia Autonoma di Trento, De Natale *et al.* (2007) hanno stimato un'espansione annua del bosco pari allo 0.10% rispetto alla superficie totale del Trentino.

Il diverso tasso di espansione del bosco registrato dai diversi Autori è imputabile a ragioni socio economiche, alla diversa morfologia del territorio e alle forme d'uso prevalenti sullo stesso.

Per quanto riguarda quest'ultimo aspetto, confrontando la CM Agordina con quella del Grappa, appare evidente come la ripartizione delle superfici nelle categorie d'uso del suolo risulti molto diversa: se nella CM Agordina il bosco copre circa il 70% della superficie complessiva, contro il 29% attribuito al produttivo non boscato, nella CM del Grappa la superficie forestale interessa circa la metà del territorio, mentre il 44% è classificato come produttivo non boscato (Salvadori, 2006). Nella CM Agordina il potenziale di un'ulteriore espansione da parte del bosco risulta dunque più limitato a causa della minore disponibilità di superfici non boscate, suscettibili di ricolonizzazione naturale o rimboschimento.

La maggior superficie boscata nell'Agordino trova una spiegazione nell'importanza che l'attività forestale ha sempre avuto in questa zona, come del resto in tutto l'arco delle Dolomiti, costituendo una parte notevole dell'economia del territorio, che possiede una tradizione importante di gestione dei boschi, in gran parte di proprietà pubblica. E' probabilmente la stessa gestione forestale ad aver contribuito a mantenere la situazione più o meno inalterata nel tempo. A questo si aggiunge il fatto che la CM Agordina fornisce, ai privati e alle Amministrazioni che ne fanno richiesta, un servizio per lo sfalcio dei prati abbandonati, in un quadro di pianificazione territoriale che mira alla valorizzazione paesaggistica, e quindi turistica, del territorio, oltre che alla prevenzione degli incendi boschivi.

Al contrario, nella zona pedemontana del trevigiano presa in esame da Salvadori (2006) i boschi presenti, quasi tutti di proprietà privata, sono soggetti a una gestione più discontinua, mentre le superfici prative ad essi limitrofe risentono maggiormente dell'abbandono delle zone rurali. Come in gran parte del territorio italiano, ciò ha favorito, soprattutto negli ultimi decenni, la progressiva espansione del bosco.

Il ridotto tasso di espansione del bosco nella CM Agordina è imputabile anche alla morfologia del territorio, che presenta rilievi molto elevati con quote ben superiori al limite stesso della vegetazione arborea. Se infatti è vero che il limite superiore del bosco si sta innalzando (Anfodillo and Urbinati 2001), è vero anche che oltre una certa quota è fisiologicamente impossibile l'insediamento di formazioni boschive, a causa dei fattori limitanti che caratterizzano questi ambienti (Körner 1998) e che gli stessi processi di ricolonizzazione risultano particolarmente lenti e difficilmente evidenziabili in un arco di tempo di soli 12 anni. Non è dunque un caso che la variazione di superficie boscata riscontrata al di sopra dei 1500 m di quota non sia statisticamente significativa.

Le stesse osservazioni si possono riportare anche nel confronto con i dati provenienti dalla Regione Abruzzo (Corona et al. 2005) che, infatti, presenta un tasso di espansione dello stesso ordine di grandezza di quello registrato da Salvadori *et al.* (2006) per la fascia pedemontana del Veneto.

Un territorio con caratteristiche più simili a quelle dell'Agordino, per copertura forestale e importanza economica delle attività selvicolturali, è la Provincia di Trento. Qui tuttavia, De Natale *et al.* (2007) hanno utilizzato una definizione di bosco diversa da quella indicata dall'INFC (area minima di 1000 m<sup>2</sup>, larghezza minima 10 m, copertura minima 20%, altezza minima delle piante 2 m) e preso in esame un periodo di analisi più lungo (circa 30 anni, dal 1973 al 1999). Tenuto conto della diversa definizione di bosco adottata, che, grazie ad una minore superficie di riferimento, probabilmente consente di evidenziare anche le superfici boscate più piccole (Salvadori et al. 2006), il valore emerso per la CM Agordina (0.064% rispetto alla superficie totale della CM) appare nel complesso coerente con il risultato indicato per il Trentino (0.10 rispetto alla superficie della Provincia Autonoma di Trento).

Lo stesso studio svolto in Trentino (De Natale et al. 2007) ripartendo i punti di variazione di superficie boscata in funzione della quota, evidenzia due zone di espansione del bosco: una fascia principale tra gli 800 e i 1200 m di quota e una secondaria tra i 1600 e i 1800 m entrambe associate all'abbandono dei pascoli. Il risultato ottenuto per la Comunità Montana Agordina può dunque considerarsi coerente con quanto emerso per la Provincia di Trento.

### 4.9.3 La stima dell'assorbimento di carbonio

Il metodo utilizzato per la valutazione dell'assorbimento di carbonio nelle zone soggette a *afforestation/reforestation* può fornire una prima indicazione delle potenzialità del territorio come *sink*.

La stima effettuata riguarda solo una parte della biomassa totale presente in un ecosistema forestale, comprendendo unicamente la massa arborea epigea, senza considerare quella ipogea, quella erbacea e la sostanza organica presente nel suolo. Tuttavia questa stima può considerarsi ugualmente indicativa dell'andamento generale, dato che l'incremento della biomassa arborea è quello che contribuisce in misura maggiore all'incremento totale di un ecosistema in quanto *sink* di carbonio (Nabuurs et al. 2003b).

Purtroppo non sono disponibili studi sulle potenzialità fissative dei boschi di neoformazione nel territorio italiano, che consentano di proporre dei confronti con i risultati ottenuti. Si riporta, a titolo esemplificativo, il dato fornito dallo studio di Nabuurs *et al.* (2003b), sulla variazione di superficie boscata e relativi *sink* di carbonio in Europa dal 1950 al 1999, che indica un assorbimento medio pari a  $0.32 \text{ Mg ha}^{-1}$ , contro i  $0.69 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ anno}^{-1}$  stimati per l'Agordino.

### 4.9.4 Proiezione al 2008 – 2012

Nota la variazione annua di superficie boscata, è possibile proporre una previsione del valore di variazione di superficie per il 2008, nell'ipotesi che l'aumento della superficie boscata si mantenga costante (assunzione, come evidenziato da Zanchi et al. (Zanchi et al. 2005), accettabile soltanto per il breve periodo).

La superficie delle aree soggette ad *afforestation/reforestation* al 2008 è stata stimata in 483.6 ha, pari all'1.18% della superficie totale della Comunità Montana, e all'1.53% rispetto alla superficie boscata stimata per il 1990.

Considerando la variazione al 2012, è stata calcolata una variazione di superficie boscata rispetto al 1990, di 618.03 ha per l'intera Comunità Montana, cioè il 2.04% rispetto alla superficie boscata stimata per il 1990.

Ipotizzando un assorbimento medio costante delle formazioni nelle aree soggette ad *ARD* nel quinquennio 2008 – 2012 (Primo Periodo d'Impegno) il carbonio fissato per unità di superficie risulterebbe pari a  $3.43 \text{ Mg ha}^{-1}$ . Moltiplicando questo valore per la variazione di superficie boscata stimata per lo stesso periodo, si ottiene un assorbimento di 461.11 Mg.

### ***La Comunità Montana della Valle del Boite***

L'assenza di variazione riscontrata nella Valle del Boite è imputabile al tipo di gestione attuata sul territorio e alla specifica fascia altimetrica analizzata rispetto alla CM Agordina. La CM della Valle del Boite è infatti soggetta ad una maggiore pressione turistica rispetto al territorio agordino: la conservazione del quadro paesaggistico esistente potrebbe perciò rispondere ad una precisa scelta gestionale, volta a impedire la spontanea ricolonizzazione dei prati e dei pascoli da parte del bosco.

Un'altra spiegazione è data dalla collocazione fisica dei punti, tutti collocati oltre i 1800 m s.l.m. I risultati dell'analisi effettuata per la CM Agordina indicano una variazione della superficie boscata significativa nella sola fascia inferiore ai 1500 m, almeno in un periodo di tempo limitato come quello preso in esame. Il campionamento casuale eseguito nella Valle del Boite comprendeva invece soltanto punti collocati a quote superiori. Circa la metà di essi ricadeva inoltre in zone classificate come improduttivo, rappresentate per lo più da formazioni rocciose.

I pochi dati analizzati non permettono di stimare il tasso di variazione di superficie boscata in questa CM, tanto meno di estendere i risultati ottenuti all'intera superficie, tuttavia l'analisi della struttura sociale e morfologica di tale Comunità Montana giustifica, almeno per la porzione analizzata, la situazione di invariabilità riscontrata.

#### **4.9.5 Stima dell'assorbimento di carbonio da ARD per l'intera Regione**

Estendendo le stime effettuate nelle diverse Comunità Montane a tutto il territorio della regione Veneto otteniamo i seguenti risultati:

- a. Considerando la sola superficie regionale presente entro le Comunità Montane:
  - Superficie boscata di tutte le CM a quota inferiore a 1500 m slm: 212568.61 ha
  - Variazione annuale di superficie boscata: + 409.94 ha
  - Carbonio totale fissato nella componente arborea epigea: 282.86 Mg C anno<sup>-1</sup>
- b. Considerando l'intera superficie boscata regionale
  - Superficie boscata inferiore ai 1500 m slm: 328690
  - Variazione annuale di superficie boscata: + 1234.96 ha
  - Carbonio totale fissato nella componente arborea epigea: 852.12 Mg anno<sup>-1</sup>

Per il Primo Periodo di Impegno (2008 – 2012) viene dunque stimato un assorbimento complessivo per il territorio delle CM pari a 1414.29 Mg C e pari a 4260.6 Mg C per l'intera superficie forestale regionale. Giova ricordare che i crediti generati attraverso tale assorbimento, a differenza da quelli afferenti alla gestione forestale che devono essere ridotti al 15% del totale,

possono essere utilizzati in *toto*, a condizione di dimostrare che essi risultino direttamente indotti dall'uomo.

#### **4.10 Conclusioni: variazione della superficie boscata (Art. 3.3 PK)**

Il Protocollo di Kyoto stabilisce che le attività *ARD*, per poter essere incluse nel conteggio dei *sink* di carbonio, oltre ad aver avuto inizio nel 1990, debbano essere *direct human induced*, cioè indotte, o quanto meno gestite, dall'uomo (art. 3.3 PK). E' in ogni caso obbligatorio per ogni Paese, documentare in sede internazionale le zone soggette ad *ARD* sul proprio territorio, indipendentemente dalla loro origine. La procedura seguita in questo lavoro per la stima della variazione di superficie boscata è conforme alle indicazioni fornite dalle *Good Practice Guidance* dell'IPCC, in quanto fornisce l'errore associato alla stima e rispetta i criteri di definizione spaziale delle zone analizzate, secondo il modello del *Reporting Method 1*.

E' stato quindi stimato il carbonio fissato nelle zone dove si è riscontrata una espansione del bosco, attraverso la raccolta di una serie di dati biometrici combinati con opportune equazioni allometriche. Da tali analisi è risultato un *sink* medio annuo di  $0.69 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ anno}^{-1}$ .

Il confronto con i risultati ottenuti in precedenti studi relativi alla fascia pedemontana, ha successivamente consentito di stimare la superficie annua complessivamente interessata da processi di *ARD* a livello regionale, pari a 409.94 ha ed il relativo assorbimento stimato in  $282.86 \text{ Mg C anno}^{-1}$  per quanto concerne la superficie forestale presente entro i confini delle CM del Veneto; utilizzando i dati di superficie dell'INFC è stato invece valutata la variazione complessiva regionale,  $+1234.96 \text{ ha anno}^{-1}$  ed il corrispondente assorbimento di carbonio, pari a  $852.12 \text{ Mg C anno}^{-1}$ . Questi dati necessitano naturalmente di ulteriori validazioni, su un più ampio campione di indagine.

Secondo quanto riportato da Lumicisi et al. (2007a,b) tale variazione di superficie boscata verrà considerata interamente "indotta dall'uomo" ai fini del Protocollo di Kyoto, conseguentemente alla decisione di considerare l'intera superficie forestale nazionale "gestita"; il relativo assorbimento di carbonio potrà dunque essere conteggiato totalmente nei bilanci del PK.

## **5 Conclusioni: stima complessiva dello stock e del sink di carbonio per le attività LULUCF nella regione Veneto**

A conclusione di questo studio si ritiene opportuno evidenziare il contributo complessivo che la regione Veneto può offrire per l'implementazione del Protocollo di Kyoto a livello nazionale.

### Stock di carbonio

Il carbonio stoccato nella biomassa arborea epigea considerando l'intera superficie boscata della regione Veneto risulta pari a **39.1 milioni Mg C** (143.4 milioni Mg CO<sub>2</sub>), con un contributo delle piante morte in piedi pari 0.29 milioni Mg C (circa 1 milione Mg CO<sub>2</sub>).

Per la provincia di Trento il contributo della biomassa arborea ipogea è pari al 9.6% della biomassa totale dell'ecosistema, mentre la sostanza organica nel suolo può essere considerata circa pari alla biomassa arborea epigea (Tonolli and Salvagni 2007).

In media è stato riscontrato uno *stock* (i) per le fustaie di 98.92 Mg C ha<sup>-1</sup> (SD 11.07) nella biomassa arborea epigea delle piante vive e 0.49 Mg C ha<sup>-1</sup> (SD 0.11) per le piante morte in piedi, (ii) per i cedui in conversione di 138.91 Mg C ha<sup>-1</sup> (SD 21.49) per le piante vive e 0.29 Mg C ha<sup>-1</sup> (SD 0.28) per le piante morte in piedi.

### Sink di carbonio

Per quanto riguarda il *Forest Management*, utilizzando i dati di superficie forestale pubblicati dall'Inventario Nazionale delle Foreste e dei Serbatoi di Carbonio (INFC 2007), che non differiscono da quanto emerso dai risultati prodotti dalla regione Veneto (Del Favero 2006), è possibile stimare l'assorbimento medio di carbonio per l'intera superficie boscata regionale, considerandola completamente soggetta a gestione, così come indicato dal Ministero (MATTM) (Lumicisi et al. 2007a, Lumicisi et al. 2007b).

Per le fustaie è stato stimato un assorbimento medio di 1.2 Mg C ha<sup>-1</sup> anno<sup>-1</sup> mentre per i cedui l'assorbimento è pari a 2.6 Mg C ha<sup>-1</sup> anno<sup>-1</sup>.

In base alle regole di contabilizzazione imposte dal PK alla gestione forestale tali valori devono essere ridotti al 15%, risultando così pari a 0.16 Mg C ha<sup>-1</sup> anno<sup>-1</sup> per le fustaie e 0.34 Mg C ha<sup>-1</sup> anno<sup>-1</sup> per i cedui.

Si ottengono quindi i seguenti risultati:

- Superficie boscata regionale: 397889 ha, di cui (i) 184815 ha ad alto fusto, (ii) 155147 ha a ceduo e (iii) 57926 ha riferiti ad altri tipi culturali.

- Carbonio fissato a livello regionale (ridotto al 15%): **91588 Mg C anno<sup>-1</sup>**, di cui:
  - (i) 38837 Mg C anno<sup>-1</sup> relativi a formazioni ad alto fusto comprendenti anche la categoria altri tipi colturali e
  - (ii) 52751 Mg C anno<sup>-1</sup> assorbiti dai cedui.

Poiché il tetto massimo fissato per l'Italia nella contabilizzazione degli assorbimenti di carbonio per la gestione forestale è pari a 2.78 milioni Mg C anno<sup>-1</sup>, il contributo della Regione Veneto, considerando la sola biomassa arborea epigea, risulta pari al 3.3% del CAP nazionale, cui si aggiunge un assorbimento di circa 852 Mg C anno<sup>-1</sup> relativo alle aree soggette a variazione di superficie boscata; in termini di assorbimento di carbonio il contributo delle attività ARD rispetto agli assorbimenti complessivi del settore forestale a livello regionale è pari all'1%.

Con un assorbimento annuo di circa 338947 Mg CO<sub>2</sub> nel loro complesso le foreste della Regione Veneto assorbono il 2.1% di quelli previsti per l'intero settore forestale a livello nazionale (16.2 milioni Mg CO<sub>2</sub> anno<sup>-1</sup>), corrispondente a circa lo 0.3% dell'impegno totale di riduzione dell'Italia.

I dati di superficie desunti dall'INFC dovrebbero naturalmente essere adeguatamente integrati, al fine di dimostrare che (i) le aree censite siano classificabili come bosco al 1990 e (ii) esse soddisfino a pieno i requisiti di *Forest Management* imposti dal Protocollo.

Per quanto riguarda infine la contabilizzazione delle attività ARD il presente lavoro costituisce un primo tentativo di stima delle capacità fissative dei boschi di neoformazione, e una proposta per una metodologia di indagine a tale scopo.

La procedura utilizzata, pur migliorabile, può essere adottata anche in altre aree del territorio italiano. Permane naturalmente, anche in questo caso, la necessità di dimostrare che tali processi siano realmente *direct human induced*, cioè indotti, o quanto meno gestiti, dall'uomo. Ciò permetterebbe di rispondere in modo completo alle richieste formulate dal PK, che impone ai Paesi firmatari di conteggiare le zone soggette a variazione di superficie boscata, fornire una stima adeguata delle capacità fissative di tali aree e, non ultimo, documentare l'origine, riconducibile ad azione antropica, di tali processi.

<b>ARD</b>	<u>Tasso di variazione superficie boscata rispetto alla stimata nel 1991</u>		Quota > 1500 m slm	NON significativa		
			Quota < 1500 m slm	Fascia montana + 0.095%	Fascia pedemontana + 0.54%	
	<u>Sink boschi neoformazione</u>		0.69 Mg C ha <sup>-1</sup> anno <sup>-1</sup>			
<b>FOREST MANAGEMENT</b>	<u>Stock medio</u>	FUSTAIE	Dbh < 17.5 cm	13.84 Mg C ha <sup>-1</sup> (14%)	TOTALE 98.92 Mg C ha <sup>-1</sup> (SD 11.07)	
			Dbh > 17.5 cm	85.07 Mg C ha <sup>-1</sup>		
		CEDUI FAGGIO in conversione	138.91 Mg C ha <sup>-1</sup> (SD 21.49)			
	<u>Sink medio</u>	FUSTAIE	1.2 Mg C ha <sup>-1</sup> anno <sup>-1</sup>	Ridotto al 15% → 0.16 Mg C ha <sup>-1</sup> anno <sup>-1</sup>		
		CEDUI	2.6 Mg C ha <sup>-1</sup> anno <sup>-1</sup>	Ridotto al 15% → 0.34 Mg C ha <sup>-1</sup> anno <sup>-1</sup>		
	<u>Piante morte in piedi</u>	FUSTAIE	3.1% del N ha <sup>-1</sup> totale	<u>Stock carbonio</u> piante morte in piedi	0.50% della biomassa arborea epigea (0.24 Mg C ha <sup>-1</sup> )	
CEDUI FAGGIO		2.8% del N ha <sup>-1</sup> totale	0.21% della biomassa arborea epigea (0.14 Mg C ha <sup>-1</sup> )			
<b>STIMA REGIONALE SINK CARBONIO</b>	<b>ARD</b>	Variazione di superficie boscata + 1235 ha		Carbonio totale fissato 852 Mg C anno <sup>-1</sup>		
	<b>FM</b>	Superficie totale regionale 397889 ha		Carbonio totale fissato 91588 Mg C anno <sup>-1</sup> → 3.3% CAP Italia		

## **6 Protocollo di kyoto e Post kyoto: conclusioni**

Dati recenti sui risultati dell'applicazione del Protocollo di Kyoto dimostrano che le strategie fino ad ora adottate non hanno contribuito in maniera sufficiente a contrastare l'aumento della concentrazione di GHG nell'atmosfera e il cambiamento climatico. Il protocollo è stato un mezzo estremamente efficiente per portare i Governi, come anche l'opinione pubblica, ad una attenta riflessione sul ruolo delle attività umane nel riguardo dei cambiamenti climatici in atto sul nostro pianeta, ma è stato assolutamente insufficiente nell'imporre un reale cambiamento nei vari settori considerati e nel comportare una riduzione delle emissioni di gas serra; partendo però da quanto prodotto nel lungo processo di conoscenza intrapreso dalla Prima Conferenza sul Clima del 1979 e sfruttando l'incremento di conoscenze prodotto dalla comunità scientifica è doveroso implementare per il futuro strategie di mitigazione più efficaci.

Per il secondo periodo di applicazione del PK (a partire dal 2012) è in atto a livello internazionale la discussione per valutare la possibilità di adottare degli impegni di riduzione delle emissioni dalla deforestazione e dalla degradazione delle foreste, in particolare per i paesi in via di sviluppo (*reducing emissions from tropical deforestation and degradation*, REDD); infatti circa il 20% delle emissioni globali di CO<sub>2</sub>, pari a  $1.1 \pm 0.3$  (Houghton 2005) -  $2.2 \pm 0.6$  GMg C anno<sup>-1</sup> (Achard and al 2004), provengono proprio da questo tipo di attività (Moutinho et al. 2005, Moutinho and Schwartzman 2005). Mentre per il primo periodo di impegno del PK le foreste hanno assunto un ruolo strategico come *sink* di carbonio, per il secondo periodo d'impegno sarà importante concentrare gli sforzi internazionali nella riduzione delle emissioni da ogni settore, incluso quello forestale, proprio con le attività REDD; l'attività della Convenzione (UNFCCC) è proprio orientata alla predisposizione di metodologie di stima delle emissioni e di mitigazione degli effetti prodotti dalla deforestazione e dalla degradazione delle foreste tropicali (Grassi 2008). Per gli anni successive al primo periodo di impegno del PK il contributo maggiore che può dare il settore forestale nel contenimento delle emissioni di gas serra è rappresentato proprio dalle attività REDD.

L'attuale assorbimento di carbonio registrato dalle foreste gestite dell'Annesso I potrebbero infatti nel futuro diventare emissioni di carbonio, a seconda degli scenari di cambiamento climatico che si svilupperanno; l'impegno dunque degli accordi internazionali verrà rivolto maggiormente alla valutazione della riduzione delle emissioni attuata in ogni settore; in questo ambito nei paesi sviluppati il settore forestale

potrà dunque essere protagonista, non più in quanto assorbitore netto di carbonio, ma come fornitore di materiali di sostituzione sia dei combustibili fossili, sia di altri materiali di costruzione. Acquisiranno quindi maggiore importanza non più solo le stime della quantità di carbonio stoccato nel legno stesso, ma soprattutto la valutazione dell'intero ciclo di vita dei prodotti forestali fuori foresta, per la quantificazione del tempo di permanenza del carbonio stesso stoccato e la valutazione della riduzione delle emissioni dovuta alla sostituzione di materiali non rinnovabili.

Accanto ai meccanismi ufficiali sviluppati dai Governi per l'attuazione del Protocollo di Kyoto sono nate anche iniziative "dal basso", assunte su base volontaria, con le quali diverse organizzazioni e soggetti singoli si propongono di ridurre e/o compensare le emissioni di cui sono responsabili (Pettenella and Zanchi 2006). Vi sono investimenti volontari che affrontano il problema del REDD e della non permanenza, ma sono tuttora caratterizzati da alti i costi di transazione necessari per garantire le condizioni di corretta esecuzione degli interventi; gli interventi volontari basati sull'utilizzo delle risorse forestali infatti non sono in genere economici ed in particolare l'organizzazione dei mercati di crediti forestali risulta complessa e costosa (Pettenella 2007, 2008). E' importante avere una visione globale dell'ecosistema foresta, evitando di enfatizzare il ruolo del bosco nelle strategie di lotta ai cambiamenti climatici, ma sottolineando la multifunzionalità dell'ecosistema foresta. In questa ottica anche gli interventi forestali volontari volti alla compensazione delle emissioni possono rispondere non solo ad un principio di efficiente gestione del mercato, ma anche ad una scelta corretta purché rispettino anche i criteri di tutela ambientale e sociale, in particolare quando effettuati in territori con economia marginale (Peskett et al. 2007, Pettenella 2008).

## 7 Bibliografia

- Achard, F. and e. al. 2004. Improved estimates of net carbon emissions from land cover change in the tropics for the 1990s. *Global Biogeochemical Cycles* **18**.
- Anderle, A., L. Ciccarese, D. Dal Bon, D. Pettenella, and E. Zanolini. 2002. Assorbimento e fissazione di carbonio nelle foreste e nei prodotti legnosi in Italia. APAT Agenzia per la protezione dell'ambiente e per i servizi tecnici.
- Anfodillo, T., V. Carraro, M. Carrer, C. Fior, and S. Rossi. 2006a. Convergent tapering of xylem conduits in different woody species. *New Phytologist* **169**:279-290.
- Anfodillo, T., E. Dalla Valle, S. Lamedica, and R. Pilli. 2007. Indagini in materia di fissazione del carbonio in ecosistemi forestali in applicazione del Protocollo di Kyoto. Regione Veneto, Direzione Regionale Foreste ed Economia Montana Mestre (VE) Italy.
- Anfodillo, T., R. Pilli, M. Carrer, V. Carraro, and S. Rossi. 2006b. Stima della biomassa forestale: le nuove potenzialità delle relazioni allometriche  
Pages 11-22 in Stima del carbonio in foresta: metodologie ed aspetti normativi, San Vito di Cadore.
- Anfodillo, T., R. Pilli, and I. Salvadori. 2006c. Indagine preliminare sullo stock di carbonio nelle foreste del Veneto. Regione Veneto, Direzione Regionale Foreste ed Economia Montana Mestre (VE) Italy.
- Anfodillo, T. and C. Urbinati. 2001. Foreste di alta quota in ambiente alpino: fisionomia, ecologia e possibili dinamismi. *Monti e Boschi* **3**:31-39.
- Bokma, F. 2004. Evidence against universal metabolic allometry. *Functional Ecology* **18**:184-187.
- Brown, S. 1997. Estimating biomass and biomass change of tropical forests: a primer. Forestry Paper 134. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Rome. disponibile al sito <http://www.fao.org/docrep/W4095E/W4095E00.htm>
- Brown, S. 2002. Measuring Carbon in forests: current status and future challenges. *Environment Pollution* **116**:363-372.
- Castellani, C., G. Scrinzi, G. Tabacchi, and V. Tosi. 1988. Inventario Forestale Nazionale. Sintesi metodologica e risultati. Ministero dell'Agricoltura e delle Foreste. Istituto Sperimentale per l'Assesamento forestale e per l'Alpicoltura, Trento.
- Cerutti, P. 1997. Analisi e valutazione delle potenzialità ricolonizzative del bosco in ecotoni di ambiente montano - alpino: applicazione GIS per un'indagine multitemporale nel Comune di Cortina d'Ampezzo (BL). Tesi di laurea in Scienze Forestali. Università degli Studi di Padova (Italy).
- Ciccarese, L., V. Avitabile, S. Brown, D. Pettenella, and B. Schlamadinger. 2003. Possono le foreste mitigare i cambiamenti climatici? *Sherwood* **94**:25-30.
- Ciccarese, L., S. Kloehn, A. Lumicisi, and L. Magri. 2006. Gestione forestale e CO<sub>2</sub>. Il caso della Valle d'Aosta. *Sherwood* **124**:5-10.
- Ciccarese, L. and D. Pettenella. 2002. Il Protocollo di Kyoto dopo Marrakesh. L'attuazione in ambito forestale. *Sherwood* **80**:5-9.
- Ciccarese, L. and D. Pettenella. 2005. Il protocollo di Kyoto. Quali possibilita' 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. Comitato Interministeriale per la Programmazione Economica.
- Coomes, D. A. 2006. Challenges to the generality of WBE theory. *Trend in Ecology and Evolution* **21**:593-596.
- Coomes, D. A., K. L. Jenkins, and L. E. S. Cole. 2007. Scaling of tree vascular transport systems along gradients of nutrient supply and altitude. *Biology Letters* **3**:86-89.
- Corona, P. 2000. Introduzione al Rilevamento Campionario delle Risorse Forestali. CUSL Firenze.
- Corona, P., E. Pompei, and G. Scarascia Mugnozza. 2005. Stima probabilistica del tasso di espansione annua e del valore al 1990 della superficie forestale nella regione Abruzzo. *Forest@* **2(2)**:178-184.
- CRA-ISAFa and CFS. 2006. Procedure di posizionamento e di rilievo degli attributi di terza fase con istruzioni per l'impiego degli applicativi NAV3 e RAS3. Inventario Nazionale delle Foreste e dei Serbatoi Forestali di Carbonio (INFC).
- De Natale, F., P. Gasparini, and A. Carriero. 2007. A Study on Tree Colonization of Abandonend Land in the Italian Alps: Extent and Some Characteristics of New Forest Stands in Trentino. Pages 269-284 in K. M. Reynolds, A. J. Thomson, M. A. Shannon, M. Köhl, D. Ray, and K. Rennolls, editors. *Sustainable Forestry: from monitoring and Modelling to Knowledge Management and Policy Science*. CAB International 2007.

- De Natale, F., P. Gasparini, T. Sitzia, and A. Anderle. 2004. Istruzioni per l'esecuzione dei rilievi al suolo nei boschi di neoformazione. Provincia Autonoma di Trento, Servizio Foreste, Trento. [http://www.foreste.provincia.tn.it/progetti/neoboschi/protocollo%20rilievi\\_def.pdf](http://www.foreste.provincia.tn.it/progetti/neoboschi/protocollo%20rilievi_def.pdf):51.
- Decreto. 1/4/2008. Istituzione del Registro nazionale dei serbatoi di carbonio agroforestali. Ministero dell'ambiente e della tutela del territorio e del mare.
- Del Favero, R. 2006. Carta regionale dei Tipi Forestali: documento base. Direzionale regionale delle foreste e dell' Economia montana - Regione Veneto, Mestre (VE)
- Del Favero, R. and C. Lasen. 1993. La vegetazione forestale del Veneto. Regione Veneto, Assessorato Agricoltura e Foreste, Dipartimento Foreste.
- Dibona, A. 1981. Tavola allometrica del faggio della foresta di Campigna. Tesi di laurea in Scienze Forestali. Università degli studi di Padova.
- Emile, M., F. Apol, S. E. Rampal, and H. Olff. 2008. Revisiting the evolutionary origin of allometric metabolic scaling in biology. *Functional Ecology* **22**:1070-1080.
- Enquist, B. J. 2002. Universal scaling in tree and vascular plant allometry: toward a general quantitative theory linking plant form and function from cells to ecosystems. *Tree Physiology* **22**:1045-1064.
- Fattorini, L., P. Gasparini, M. Nocetti, G. Tabacchi, and V. Tosi. 2005. Above-ground tree phytomass prediction and preliminary shrub phytomass assessment in the forest stands of Trentino. *in* Salvadori C. and Ambrosi P. (2005) EFOMI - Valutazione ecologica di cenosi forestali sottoposte a monitoraggio integrato. Museo Tridentino di Scienze Naturali, Trento. *Studi Trent. Sci. Nat., Acta Biol.*, 81 (2004), Suppl. 1: 75-121.
- Fekedulegn, D., M. P. Mac Siurtain, and J. J. Colbert. 1999. Parameter estimation of nonlinear growth models in forestry. *Silva Fennica* **33**:327-336.
- Gaiardo, M. 1994. Evoluzione del territorio agordino attraverso i documenti cartografici. Vol. 1 Università degli studi di Padova.
- Giordano, G. 1980. I legnami del mondo. Dizionario enciclopedico. Second edition. Il Ceriolo.
- Giordano, G. 1988. Tecnologia del legno. I legnami del commercio. Second edition. UTET.
- Gomasasca, M. 2004. Elementi di geomatica. Associazione Italiana di Telerilevamento.
- Grassi, G. 2008. Reducing emissions from deforestation in developing countries: the new challenge for climate mitigation. Pages 77-84 *in* 44° Corso di Cultura in Ecologia. Disturbi in foresta ed effetti sullo stock di carbonio: il problema della non permanenza. Anfodillo T, Dalla Valle E, Valesse E (Eds), San Vito di Cadore. <http://www.tesaf.unipd.it/Sanvito/dati/ATTI%2044mo.pdf>.
- Greif, G. E. and O. W. Archibold. 2000. Standing-dead tree component of the boreal forest in central Saskatchewan. *Forest Ecology and Management* **131**:37-46.
- Guilley, E., J. C. Hervé, and G. Nepveu. 2004. The influence of site quality, silviculture and region on wood density mixed model in *Quercus petraea* Liebl. *Forest Ecology and Management* **189**:111-121.
- Hajny, M. 2003. Analisi della biomassa forestale e del contenuto di carbonio nelle principali specie forestali europee. Università degli Studi della Tuscia, Tesi di dottorato di ricerca in Ecologia Forestale.
- Houghton, R. 2005. Aboveground forest biomass and the global carbon balance. *Global Change Biology* **11**:45-58.
- Ilic, J., D. Boland, M. McDonald, G. Downes, and P. Blakemore. 2000. Woody density phase 1 - State of knowledge. Page 228 National carbon accounting system technical report 18. Australian greenhouse Office, Canberra, Australia.
- INFC. 2003. Manuale di fotointerpretazione per la classificazione delle unità di campionamento di prima fase. Inventario nazionale delle foreste e dei serbatoi forestali di carbonio. MiPAF - Ispettorato generale del Corpo Forestale dello Stato, CRA- ISAFSA, Trento.
- INFC. 2007. Inventario Nazionale delle Foreste e dei Serbatoi Forestali di Carbonio. Le stime di superficie. Ministro delle Politiche Agricole, Alimentari e Forestali, CRA - Istituto Sperimentale per l'Assestamento Forestale e per l'Apicoltura, Corpo Forestale dello Stato - Ispettorato Generale, Trento.
- INFC. 2008. Inventario Nazionale delle Foreste e dei Serbatoi Forestali di Carbonio. I caratteri quantitativi. Ministro delle Politiche Agricole, Alimentari e Forestali, CRA - Istituto Sperimentale per l'Assestamento Forestale e per l'Apicoltura, Corpo Forestale dello Stato - Ispettorato Generale, Trento.
- IPCC. 1990. First Assessment Report. III volumes. <http://www.ipcc.ch/ipccreports/assessments-reports.htm>.
- IPCC. 1996. Climate change 1995. Impacts, adaptations and mitigations of climate change: scientific and technical analysis. Contribution of working group II to the second assessment report of the intergovernmental panel on climate change. Cambridge University Press.

- IPCC. 2000a. Emissions scenarios. Special report of the intergovernmental panel on climate change. Cambridge University Press.
- IPCC. 2000b. Land use, land use change and forestry. Special report of the intergovernmental panel on climate change. Cambridge university Press.
- IPCC. 2003. Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme, Penman J, Gytarsky M, Hiraishi T, Krug T, Kruger D, Pipatti R, Buen-dia L, Miwa K, Ngara T, Tanabe K e Wagner F. (eds). Published: IGES, Japan.
- IPCC. 2004. 16 years of scientific assessment in support of the climate change convention [online]. <http://www.ipcc.ch>.
- IPCC. 2006. Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme, Eggleston HS, Buendis L, Miwa K, Ngara T, Tanabe K (eds). Published: IGES, Japan.
- IPCC. 2007. Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, Pachauri, R.K and Reisinger, A. (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland.
- IPCC/OECD/IEA. 1997. IPCC Guidelines, revised 1996 versions. Reference manual, IPCC/OECD/IEA, Working Group I, Technical Support Unit. United Kingdom.
- ISAF. 1998. 2° Inventario Forestale Nazionale. Studio di fattibilità. Istituto Sperimentale per l'Assestamento Forestale e per l'Alpicoltura. <http://mpf.entecra.it/?q=node/604>, Trento.
- Joosten, R., J. Schumacher, C. Wirth, and A. Schulte. 2004. Evaluating tree carbon predictions for beech (*Fagus Sylvatica* L.) in western Germany. *Forest Ecology and Management* **189**:87-96.
- Kaitaniemi, P. 2004. Testing the allometric scaling laws. *Journal of theoretical Biology* **228**:149-153.
- Ketterings, Q. A., R. Coe, M. Van Noordwijk, Y. Ambagau, and C. A. Palm. 2001. Reducing uncertainty in the use of allometric biomass equations for predicting above-ground tree biomass in mixed secondary forests. *Forest Ecology and Management* **146**:199-209.
- Kollmann, F. and W. J. Cote. 1968. Principles of Wood Science and Technology. I. Solid Wood. Springer-Verlag, New York.
- Körner, C. 1998. A re-assessment of high elevation treeline position and their explanation. *Oecologia* **115**:445-459.
- Kozłowski, J. and M. Konarzewski. 2004. Is West, Brown and Enquist's model of allometric scaling mathematically correct and biologically relevant? *Functional Ecology* **18**:283-289.
- Kurz, W. A. and M. J. Apps. 1999. A 70- year retrospective analysis of carbon fluxes in the Canadian forest sector. *Ecological applications* **9**:526-547.
- La Fauci, A., S. Bagnato, O. I. Gugliotta, and R. Mercurio. 2006. Osservazioni preliminari sulla necromassa in popolamenti di pino laricio nel Parco Nazionale dell'Aspromonte. *Forest@* **3**:54-62.
- La Marca, O. 1999. Elementi di dendrometria. Patron Editore, Bologna.
- Laasasenaho, J., T. Melkas, and S. Aldén. 2005. Modelling bark thickness of *Picea abies* with taper curves. *forest Ecology and Management* **206**:35-47.
- Lee, P., S. Crites, M. Niefeld, H. Van Nguyen, and J. Stelfox. 1997. Characteristics and origin of deadwood material in aspen-dominated boreal forests. *Ecological applications* **7**:691-701.
- Lehtonen, A., R. Makipaa, J. Heikkinen, R. Sievanen, and J. Liski. 2004. Biomass expansion factors (BEFs) for Scots pine, Norway spruce and birch according to stand age for boreal forests. *Forest Ecology and Management* **188**:211-224.
- Lethonen, A. 2005. Carbon stocks and flows in forest ecosystems based on forest inventory data. University of Helsinki. <https://oa.doria.fi/bitstream/handle/10024/3198/carbonst.pdf?sequence=1>.
- Liski, J. 2003. Estimating forest carbon using inventory-based methods. Costa E21 5° Whole Action Meeting, Thessaloniki, Greece.
- Liski, J., A. Lethonen, T. Palosuo, M. Peltoniemi, T. Eggers, P. Muukkonen, and R. Mäkipää. 2006. Carbon sink of the Finnish forests 1922-2004 stimated by combining forest inventory data with modelling of biomass, litter and soil. *Annals of Forest Science* **63**:687-697.
- Liski, J., D. Perruchoud, and T. Karjalainen. 2002. Increasing carbon stocks in the forest soils of western Europe. *forest Ecology and Management* **169**:159-175.
- Lumicisi, A. 2007. Foreste e Protocollo di kyoto, i negoziati in corso. *Alberi e Territorio* **9**:14-17.
- Lumicisi, A., S. Federici, and V. Tedeschi. 2007a. Il registro nazionale dei serbatoi forestali di carbonio. *Silvae* **9**.

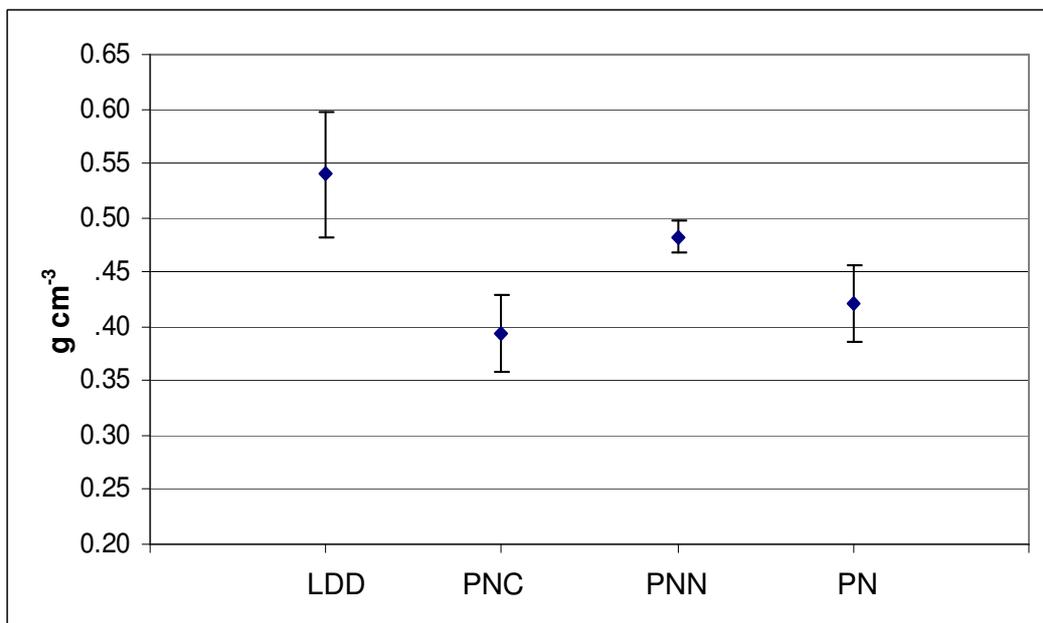
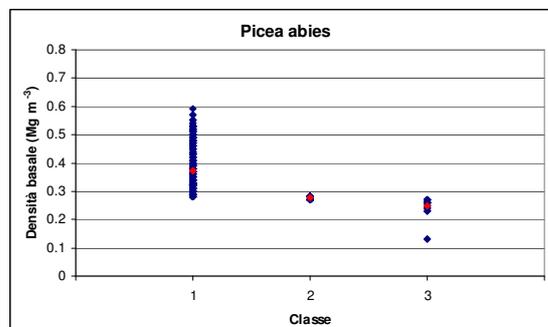
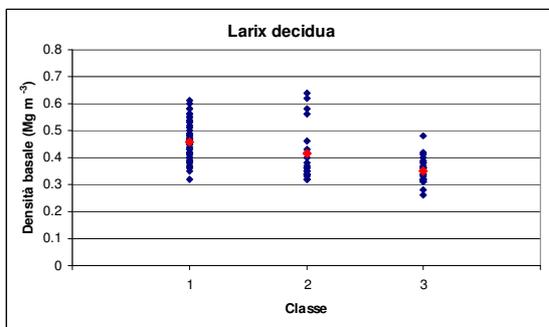
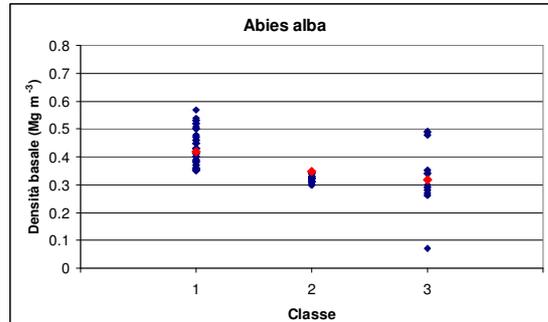
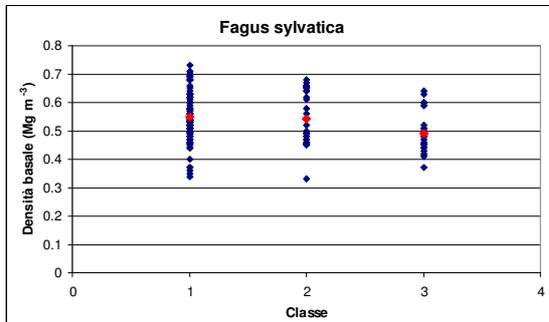
- Lumicisi, A., V. Tedeschi, M. Vitullo, S. Federici, and E. Pompei. 2007b. Il ruolo dello Stato e delle Amministrazioni Regionali e Locali nell'applicazione del Protocollo di Kyoto nel settore forestale. *Forest@* **4**:246-249.
- Mäkipää, R. 2006. Integrated method to estimate the carbon budget of Forest – Nation-wide estimates obtained by combining forest inventory data with biomass expansion factors, biomass turnover rates and dynamic soil C model. Pages 35-53 in R. Pilli, T. Anfodillo, and E. Dalla Valle, editors. *Stima del carbonio in foresta: metodologie ed aspetti normativi*. Corso di Cultura in Ecologia, Atti del 42° corso, Università di Padova.
- Mcculloh, K. A. and J. S. Sperry. 2005. Patterns in hydraulic architecture and their implications for transport efficiency. *Tree Physiology* **25**:257-267.
- Meinzer, F. C., B. J. Bond, J. M. Warren, and D. R. Woodruff. 2005. Does water transport scale universally with tree size? *Functional Ecology* **19**:558-565.
- Mline, R. and B. Jallow. 2003. Basis for consistent representation of land areas. Page 2.442 *Good Practice Guidance for Land Use, Land Use Change and Forstry, IPCC (2003)*.
- Morelli, S., A. Paletto, and V. Tosi. 2007. Il legno morto dei boschi: indagine sulla densità basale del legno di alcune specie del Trentino. *Forest@* **4**:395-406.
- Motulsky, H. J. and L. A. Ransnas. 1987. Fitting curves to data using nonlinear regression: a practical and nonmathematical review. *FASEB* **1**:365-374.
- Moutinho, P., M. Santilli, S. Schwartzman, D. Nepstad, L. Curran, and C. Nobre. 2005. Tropical deforestation and Kyoto Protocol Climatic Change **71**:267-276.
- Moutinho, P. and S. Schwartzman. 2005. Tropical deforestation and climate change. IPAM, Brazil.
- Munafò, M., G. Cecchi, and V. Sambucini. 2005. La cartografia Corine Land Cover a supporto della pianificazione ambientale a scala regionale e nazionale. APAT.
- Muukkonen, P. 2006. Forest inventory-based large-scale forest biomass and carbon budget assessment: new enhanced methods and use of remote sensing for verification. University of Helsinki, Department of Geography.
- Nabuurs, G., N. Ravindranath, K. Paustian, A. Freibauer, W. Hohenstein, and W. Makundi. 2003a. LUCF sector good practice guidance. Chapter 3: 3.1-3.272. In *Good Practice Guidance for Land Use, Land Use Change and Forstry, IPCC (2003)*.
- Nabuurs, G., M. Schelhaas, G. Mohren, and C. Field. 2003b. Temporal evolution of the European Forest sector carbon sink from 1950 to 1999. *Global Change Biology* **9**:152-160.
- Niklas, J. K. 2004. Plant allometry: is there a grand unifying theory? *Biology Reviews* **79**:871-889.
- Niklas, J. K. 2006. Scaling the paths of resistance. *New Phytologist* **169**:219-222.
- Niklas, J. K., J. J. Midgley, and J. B. Enquist. 2003. A general model for mass-growth-density relations across tree-dominated communities. *Evolutionary Ecology Research* **5**:459-468.
- Niklas, K. J. 1994. *Plant allometry. The scaling of form and Process.*, Chicago and London.
- Nilsson, S., M. Niklasson, J. Hedin, G. Aronsson, J. Gutowski, P. Linder, H. Ljungberg, G. Mikusinski, and T. Ranius. 2002. Densities of large living and dead trees in old-growth temperate and boreal forests. *forest Ecology and Management* **161**:189-204.
- Nishizono, T., T. Iehara, H. Kuboyama, and M. Fukuda. 2005. A forest biomass yield table based on an empirical model. *Journal of Forest Research* **10**:211-220.
- Nogueira, E. M., B. W. Nelson, and P. M. Fearnside. 2005. Wood density in dense forest in central Amazonia, Brazil. *forest Ecology and Management* **208**:261-286.
- Peng, C., L. Zhang, and J. Liu. 2001. Developing and validating nonlinear height-diameter models for major tree species of Ontario's boreal forests. *Northern Journal of Applied Forestry* **18**:87-94.
- Penzo, D. 2007. Confronto tra metodo empirico e funzionale per la stima della biomassa arborea epigea in *Fagus sylvatica*. Tesi di laurea triennale in Tecnologie Forestali ed Ambientali. Università degli Studi di Padova,.
- Peskett, L., C. Luttrell, and M. Iwata. 2007. Can standards for voluntary carbon offsets ensure development benefits? , Overseas Development Institute, Forestry Briefing (13).
- Pettenella, D. 2007. Gli interventi volontari di riduzione delle emissioni di gas serra. *Silvae* **9**:11-22.
- Pettenella, D. 2008. Le politiche internazionali per la gestione delle risorse forestali e il problema della non permanenza: il ruolo dei mercati istituzionali e degli investimenti volontari. Pages 17-32 in *44° Corso di Cultura in Ecologia. Disturbi in foresta ed effetti sullo stock di carbonio: il problema della non permanenza*. Anfodillo T, Dalla Valle E, Valesse E (Eds), San Vito di Cadore. <http://www.tesaf.unipd.it/Sanvito/dati/ATTI%2044mo.pdf>.
- Pettenella, D. and L. Ciccarese. 2007. Come remunerare i gestori delle foreste per la CO<sub>2</sub> fissata? *Alberi e Territorio* **3**:36-42.
- Pettenella, D. and G. Zanchi. 2006. Inquadramento generale del Protocollo di Kyoto: Opportunità e limiti per il settore forestale. Pages 1-10 in R. Pilli, T. Anfodillo, and E. Dalla Valle, editors. *Stima del*

- carbonio in foresta: metodologie ed aspetti normativi. Corso di Cultura in Ecologia, Atti del 42° corso, Università di Padova, San Vito di Cadore (BL) [http://www.tesaf.unipd.it/Sanvito/dati/Atti\\_42CultEcol\\_2006.pdf](http://www.tesaf.unipd.it/Sanvito/dati/Atti_42CultEcol_2006.pdf).
- Philip, M. S. 1994. Measuring trees and forests. CAB International, New York.
- Pilli, R. 2006. Metodologie per la stima dello stock di carbonio in foresta e della variazione di superficie boscata in riferimento all' applicazione del Protocollo di Kyoto. Tesi di dottorato di Ricerca in Ecologia Forestale. Facoltà di Agraria, Dipartimento TeSAF. Università degli studi di Padova.
- Pilli, R. and T. Anfodillo. 2006. L'impiego dei dati assestamentali per la stima dello stock di carbonio ai fini delle richieste poste dal protocollo di Kyoto. *Forest@* **3**:22-38.
- Pilli, R., T. Anfodillo, and M. Carrer. 2006a. Towards a functional allometry for estimating forest biomass. *forest Ecology and Management* **237**:583-593.
- Pilli, R., T. Anfodillo, and I. Salvadori. 2006b. Indagine preliminare sullo stock e sulla fissazione del carbonio nelle foreste del Veneto. Pages 161-183 in R. Pilli, T. Anfodillo, and E. Dalla Valle, editors. Stima del carbonio in foresta: metodologie ed aspetti normativi. Pubblicazione del Corso di Cultura in Ecologia, Atti del 42° corso, Università degli Studi di Padova.
- Pilli, R., E. Dalla Valle, T. Anfodillo, D. Penzo, and F. Fontanella. 2008. Fissazione di carbonio in una fustaia transitoria di faggio sottoposta a tagli culturali. *Forest@* **5**:57-67.
- Preto, G. 1982. La detereminazione delle aree col metodo della conta dei punti. *Monti e Boschi* **3-5**:65-72.
- Preto, G. 1983. La fotointerpretazione per punti. I parte - Modalita' di esecuzione. *Monti e Boschi* **4**:55-60.
- Preto, G. 1984. Inventario dei boschi non pubblici. Regione del Veneto, Giunta Regionale, Dipartimento Foreste.
- Richards, F. J. 1959. A flexible growth function for empirical use. *Journal of Experimental Botany* **10**:290-300.
- Romano, D., A. Bernetti, R. D. Condor, M. Contaldi, R. De Laurentis, E. Di Cristofaro, B. Gonella, and M. Vitullo. 2007. Italian Greenhouse Gas Inventory 1990-2005. National Inventory Report 2007.
- Romano, D., A. Bernetti, R. D. Condor, M. Contaldi, R. De Laurentis, D. Gaudioso, E. Di Cristofaro, B. Gonella, and M. Vitullo. 2006. Italian Greenhouse Gas Inventory 1990-2004. National Inventory Report 2006.
- Salvadori, I. 2005. Analisi della variazione di superficie boscata tramite foto aeree nella Comunita' Montana del Grappa (TV) in riferimento all'applicazione del protocollo di Kyoto. Tesi di laurea in Scienze Forestali e Ambientali. Università di Padova.
- Salvadori, I., R. Pilli, and T. Anfodillo. 2006. Proposta di una metodologia di analisi della variazione di superficie boscata tramite foto aeree per l'applicazione del protocollo di Kyoto: il caso della Comunità Montana del Grappa (TV). *Forest@* **3**:339-350.
- SAS. 1990. Institute Inc. SAS/STAT User's Guide. Vers 6. (4th ed), vol 2.
- Schlamadinger, B., L. Ciccarese, M. Dutschke, P. Fearnside, S. Brown, and D. Murdiyarso. 2005. Should we include avoidance of deforestation in the international response to climate change? Pages 53-62 in P. Mountinho and S. Schwartzman, editors. *Tropical Deforestation and Climate Change*. IPAM, Instituto de Pesquisa Ambiental de Amazônia; Belém, Pará (Brazil), Environmental Defense, Washington DC (USA).
- Simpson, W. and A. Ten Wolde. 1999. Physical properties and moisture relations of wood. Chapter 3. Forest products laboratory. Wood handbook book-wood as an engineering material. Department of Agriculture, Forest Service. Forest Product Laboratory Madison, WI, USA.
- Solomon, S., D. Qin, M. Manning, R. B. Alley, T. Berntsen, N. L. Bindoff, Z. Chen, A. Chidthaisong, J. M. Gregory, G. C. Hegerl, M. Heimann, B. Hewitson, B. J. Hoskins, F. Joos, J. Jouzel, V. Kattsov, U. Lohmann, T. Matsuno, M. Molina, N. Nicholls, J. Overpeck, G. Raga, V. Ramaswamy, J. Ren, M. Rusticucci, R. Somerville, T. F. Stocker, P. Whetton, W. R.A., and D. Wratt. 2007. Technical Summary. *Climate Change 2007: The Physical Science Basis*. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press Cambridge, United Kingdom and New York, NY.
- Sommacal, F. 2004. Analisi di alcune relazioni allometriche in specie forestali. Università degli Studi di Padova. Tesi di Laurea Triennale in Tecnologie Forestali ed Ambientali.
- Tabacchi, G. 2002. Note su alcuni schemi di campionamento impieghiabili nell'inventariazione delle risorse forestali di ampi territori. *ISAFSA Comunicazioni di ricerca* 2001/2:14.
- Tedeschi, V. and A. Lumicisi. 2006. L'attuazione del protocollo di kyoto nel settore forestale: il punto sulla situazione attuale e le prospettive future. *Forest@* **3**:3-5.

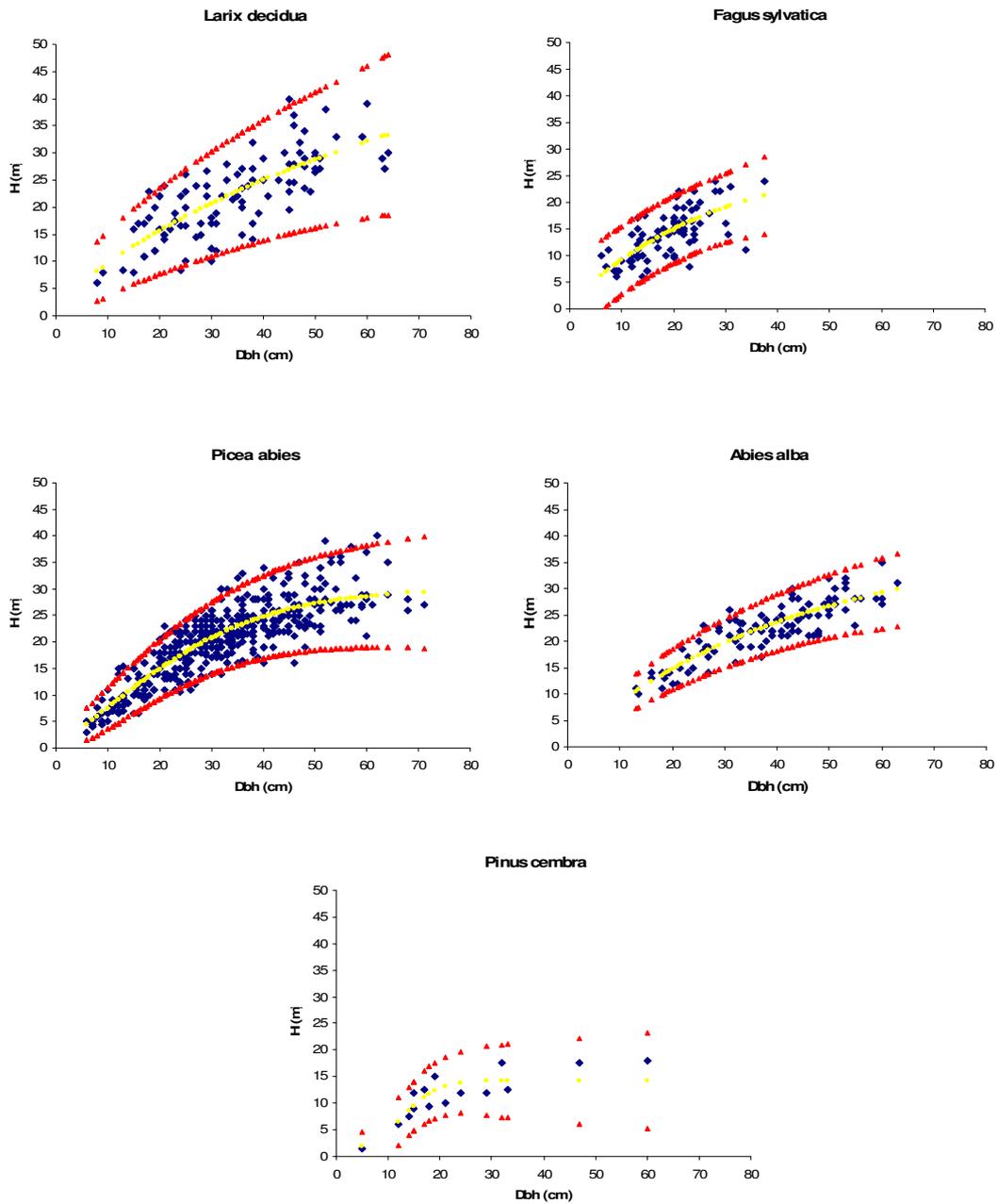
- Tonolli, S. and F. Salvagni. 2007. (a cura di), InFoCarb Inventario Forestale del Carbonio della Provincia di Trento. Centro di Ecologia Alpina, Trento.
- UN-ECE/FAO. 2000. Forest resources of Europe, CIS, North America, Australia, Japan and New Zealand. Geneva Timber and Forest Study papers No 17. United Nations Economic Committee for Europe, Food and Agricultural Organisation, Geneva, Switzerland.
- UNFCCC. 2002. United Nations Framework Convention on Climate Change. Decision 14/CP.7. Pp. 54-67. In: FCCC/CP/2001/13/Add.1. Conference of the Parties. Report of the Conference of the Parties on its Seventh Session, held at Marrakesh from 29 October to 10 November 2001. Addendum. Part two: Action taken by the Conference of the Parties. 69 p. United Nations Office at Geneva. Geneva (Switzerland).
- West, G. B., J. H. Brown, and B. J. Enquist. 1999. A general model for the structure and allometry of plant vascular systems. *Nature* **400**:664-667.
- Zaccoletti, G. 1977. Tavola allometrica dell'abete bianco per il Trentino meridionale. Tesi di Laurea in Scienze Forestali. Università degli Studi di Padova.
- Zanchi, G. 2006. The article 3.3 and 3.4 activities of the Kyoto Protocol : requirements and choices. Pages 89-100 in R. Pilli, T. Anfodillo, and E. Dalla Valle, editors. Stima del carbonio in foresta: metodologie ed aspetti normativi. Corso di Cultura in Ecologia, Atti del 42° corso, Università di Padova, San Vito di Cadore (BL) [http://www.tesaf.unipd.it/Sanvito/dati/Atti\\_42CultEcol\\_2006.pdf](http://www.tesaf.unipd.it/Sanvito/dati/Atti_42CultEcol_2006.pdf).
- Zanchi, G., D. Pettenella, and L. Ciccarese. 2005. Revegetation activities in the mediterranean areas as influenced by the definition of forest. Land-use choices under the Kyoto Protocol. Obligations, Options and Methodologies for Defining "Forest" and selecting activities under Kyoto Protocol Article 3.4. Disponibile al sito: <http://www.joanneum.at/CarboInvent/Workshop/presentation.html>, Graz, Austria, 2-4 May 2005.
- Zar, H. D. 1999. Biostatistical analysis (4th ed.). Prentice Hall International, Inc, Upper Saddle River, New Jersey.
- Zhang, Q., A. Byers, and X. Zhang. 1993. Influence of bark thickness, trunk diameter and height on reproduction of the longhorned beetle, *Monochamus sutor* (Col., Cerambycidae) in burned larch and pine. *Journal of Applied Entomology* **115**:145-154.
- Zianis, D. and M. Mencuccini. 2004. On simplifying allometric analyses of forest biomass. *Forest Ecology and Management* **187**:311-332.

## 8 Allegati

### 8.1 Valori di densità basale delle specie censite

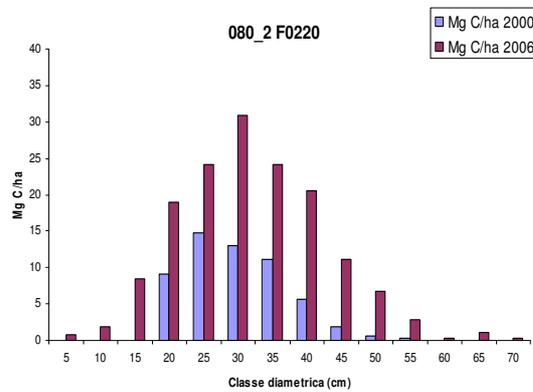
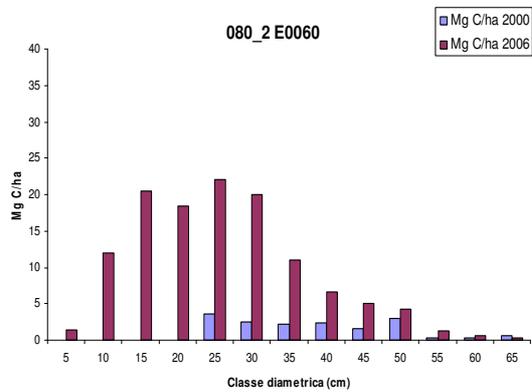
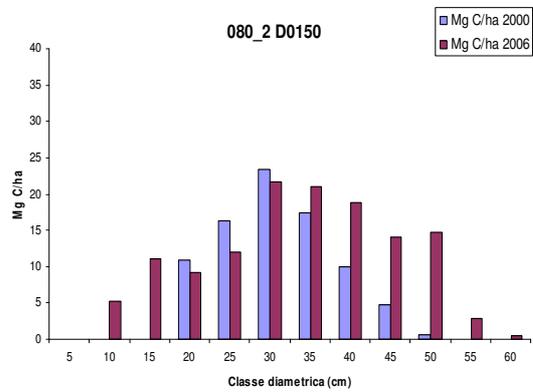
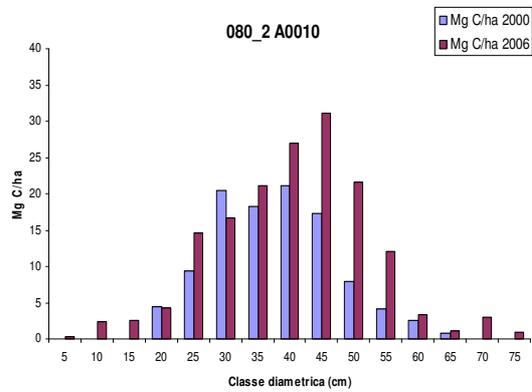
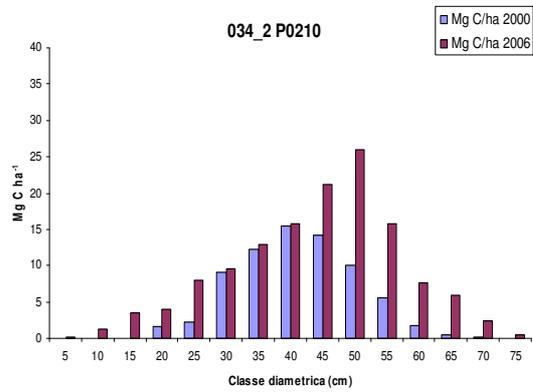
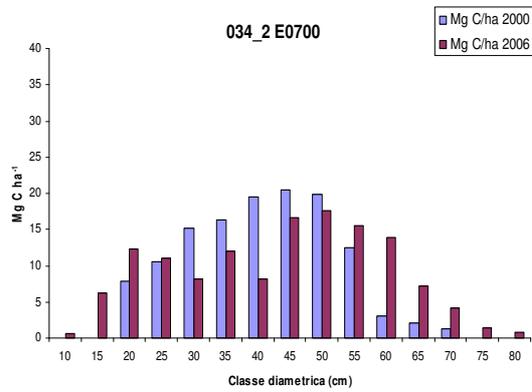
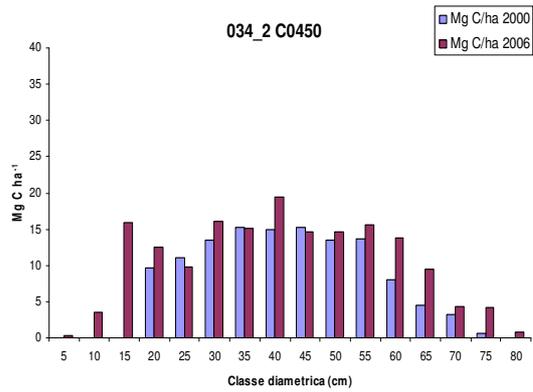
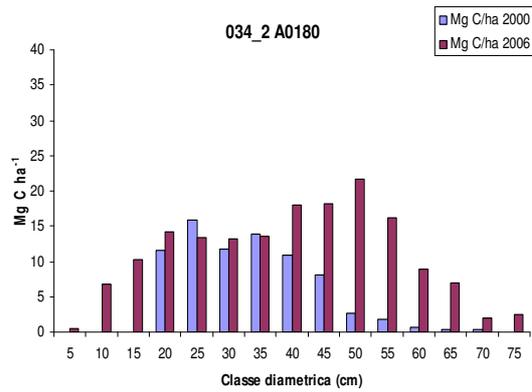


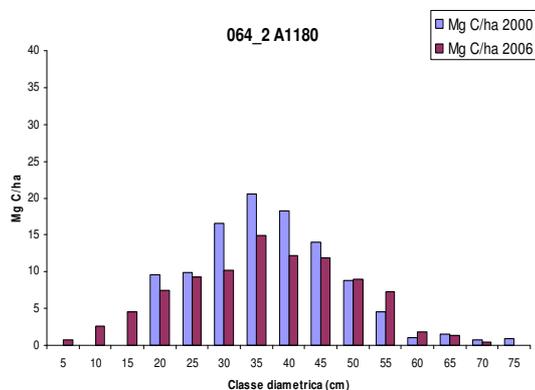
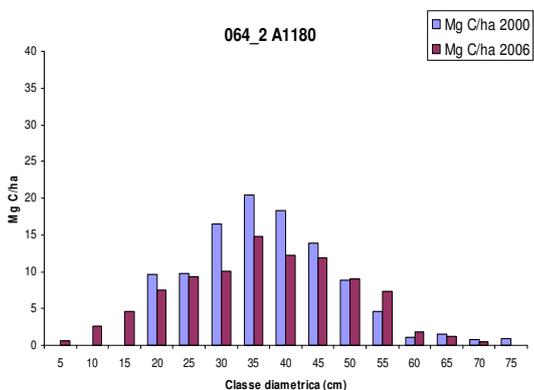
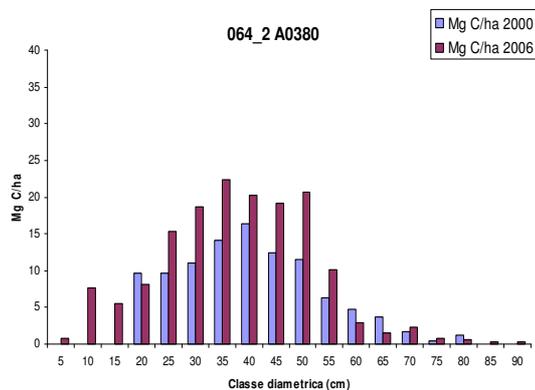
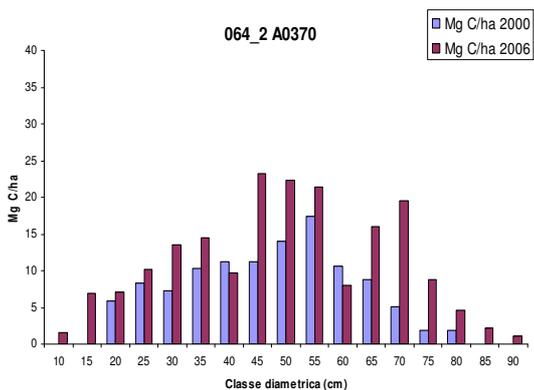
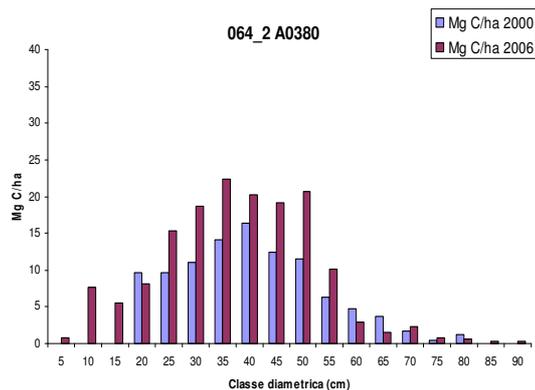
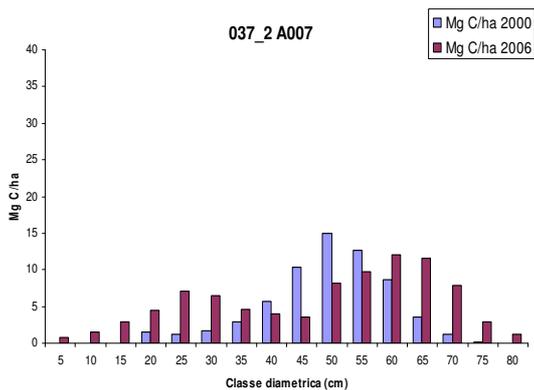
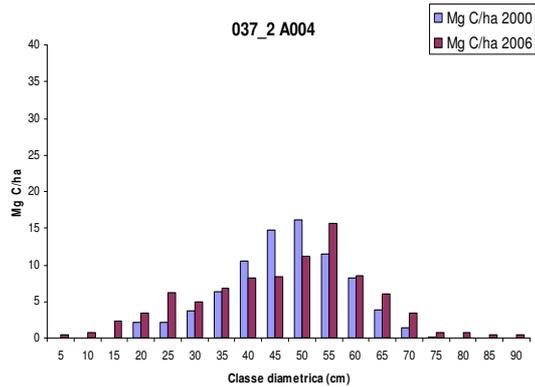
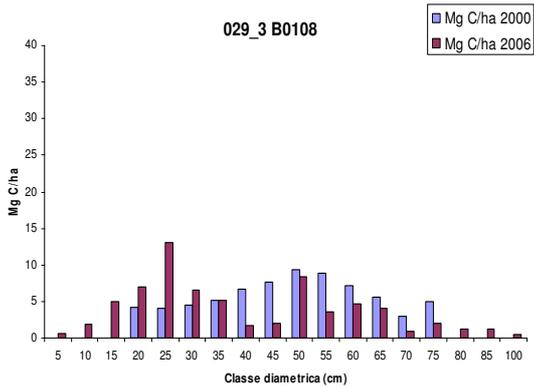
## 8.2 Curve ipsometriche per specie

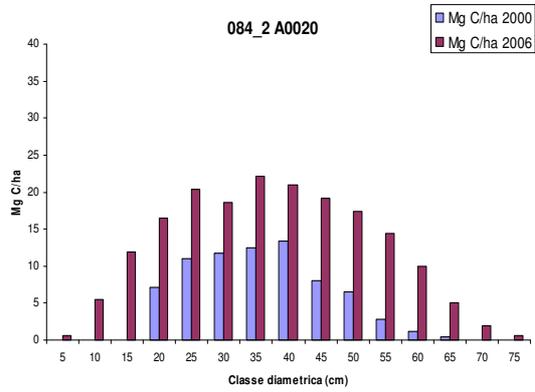
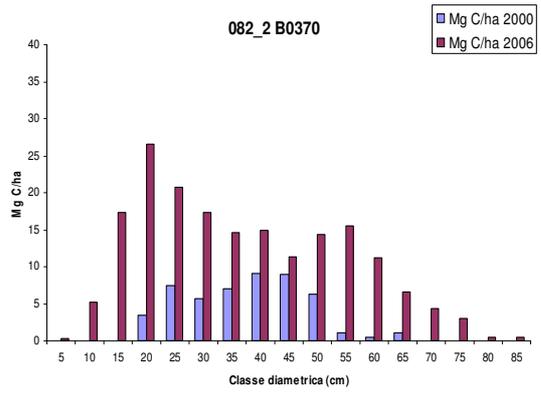
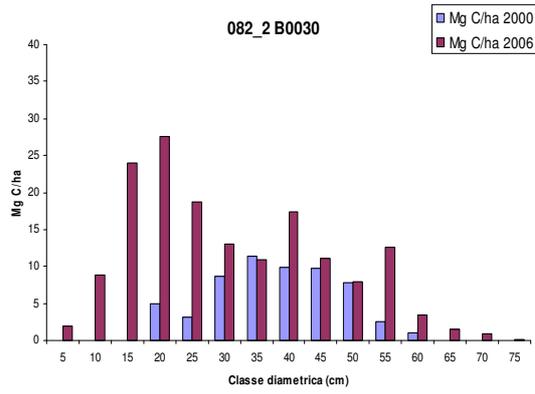
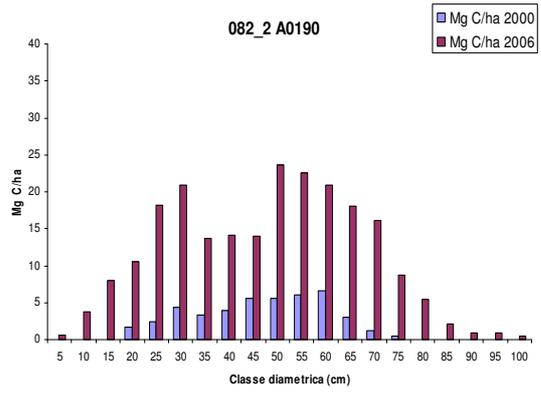
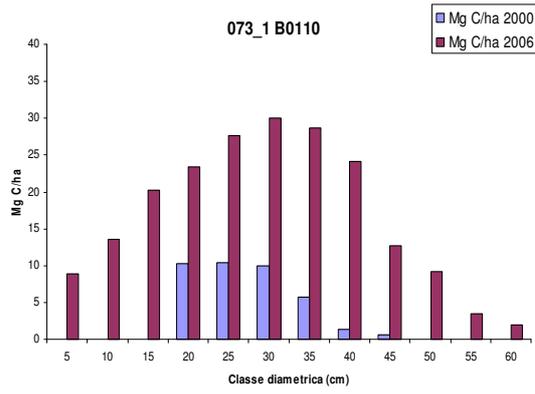


Specie	Funzione	a	b	c
Abies alba	Weibull	36.30	0.02	1.05
Picea abies	Weibull	28.77	0.01	1.40
Fagus sylvatica	Chapman-richards	26.87	0.04	1.06
Larix decidua	Weibull	64.08	0.02	0.87
Pinus cembra	Weibull	12.87	0.0004	2.88
Pinus spp	Chapman-richards	31.51	0.04	1.05

### 8.3 Distribuzione diametrica delle particelle con più di un rilievo







**8.4 Carbonio stoccato nelle piante morte in piedi e percentuale rispetto al carbonio totale per ogni particella rilevata**

<b>Codice particella</b>	<b>Categoria forestale</b>	<b>Funzione</b>	<b>Piante morte (MgC ha<sup>-1</sup>)</b>	<b>Mg C ha<sup>-1</sup> totale</b>	<b>% Cmorte/Ctot</b>
015_2A0190	Abieteto	Produttiva	0.00	136.56	0.00
015_2B0410	Pecceta	Produttiva	0.00	108.30	0.00
015_2D0070	Pecceta	Turistico-ricreativa	0.00	101.47	0.00
015_2G0800	Piceo-faggeta	Protettiva	0.00	135.05	0.00
015_2H0870	Lariceto	Protettiva	0.00	145.76	0.00
016_3A0050	Pecceta	Produttiva	0.64	91.19	0.70
016_3C0130	Pecceta	Produttiva	0.00	96.56	0.00
016_3C0240	Pecceta	Produttiva	0.95	60.42	1.57
016_3G0120	Pecceta	Produttiva	0.64	75.82	0.84
020_3D0010	Lariceto	Protettiva	0.68	72.05	0.95
020_3D0030	Lariceto	Protettiva	0.47	75.48	0.62
024_3A0290	Pecceta	Produttiva	1.27	127.13	1.00
029_3B1080	Pecceta	Produttiva	0.00	58.11	0.00
029_3F1042	Pineta	Protettiva	0.27	63.63	0.43
034_2A0180	Abieteto	Produttiva	0.00	146.63	0.00
034_2C0450	Abieteto	Produttiva	0.00	152.23	0.00
034_2E0700	Abieteto	Produttiva	0.00	119.19	0.00
034_2G0090	Abieteto	Produttiva	0.00	148.09	0.00
034_2G0110	Abieteto	Produttiva	0.00	115.48	0.00
034_2L0210	Abieteto	Produttiva	2.18	135.98	1.61
034_2N0130	Piceo-faggeta	Protettiva	0.67	134.95	0.50
034_2P0210	Abieteto	Produttiva	0.38	117.44	0.32
034_2P0310	Pecceta	Produttiva	0.11	123.63	0.09
034_2Q0610	Abieteto	Produttiva	0.00	103.80	0.00
034_2R0780	Abieteto	Produttiva	0.00	100.62	0.00
037_2A004A	Pecceta	Produttiva	0.00	69.75	0.00
037_2A0070	Pecceta	Produttiva	0.00	84.64	0.00
037_2B0300	Lariceto	Protettiva	0.19	87.28	0.21
039_1C0150	Pineta	Protettiva	0.60	50.67	1.19
043_2A0020	Piceo-faggeta	Produttiva	0.34	99.58	0.35
044_1A0111	Pecceta	Produttiva	0.35	113.51	0.31
059_2A0050	Pecceta	Produttiva	0.00	82.48	0.00
059_2B0330	Pecceta	Produttiva	0.21	110.03	0.19
059_2F0640	Pecceta	Protettiva	1.20	114.34	1.05
064_2A0370	Abieteto	Produttiva	0.00	182.64	0.00
064_2A0380	Abieteto	Produttiva	1.03	130.95	0.79
064_2A1180	Abieteto	Produttiva	0.00	90.80	0.00
064_2A1790	Abieteto	Produttiva	0.47	146.44	0.32
064_2A1800	Piceo-faggeta	Produttiva	1.06	163.02	0.65
064_2A1840	Abieteto	Produttiva	0.00	158.60	0.00
064_2D2160	Piceo-faggeta	Ambientale	0.00	319.07	0.00
073_1B0110	Lariceto	Protettiva	0.00	143.90	0.00
080_2A0010	Abieteto	Produttiva	0.73	136.12	0.54
080_2D0150	Pecceta	Produttiva	0.04	101.02	0.04
080_2E0060	Piceo-faggeta	Produttiva	0.00	100.11	0.00
080_2F0220	Pecceta	Produttiva	0.29	108.01	0.27

<b>Codice particella</b>	<b>Categoria forestale</b>	<b>Funzione</b>	<b>Piante morte (MgC ha<sup>-1</sup>)</b>	<b>Mg C ha<sup>-1</sup> totale</b>	<b>% Cmorte/Ctot</b>
082_2A0190	Pecceta	Produttiva	2.77	179.66	1.54
082_2B0020	Faggeta	Produttiva	0.00	138.02	0.00
082_2B0030	Faggeta	Produttiva	1.89	141.89	1.33
082_2B0370	Faggeta	Produttiva	3.68	190.13	1.94
084_2A0020	Abieteto	Produttiva	0.00	174.21	0.00
085_1A0060	Piceo-faggeta	Produttiva	1.01	169.98	0.60
051_2B0240	Faggeta	ceduo	0.00	75.30	0.00
082_2D0410	Faggeta	ceduo	1.15	156.73	0.73
082_2F0840	Faggeta	ceduo	0.00	152.02	0.00
084_2C0100	Faggeta	ceduo	0.00	172.74	0.00

## 8.5 ARD: esempi fotografici

ESEMPIO DI CAMBIAMENTO DI USO DEL SUOLO DA PRODUTTIVO NON BOSCATO A IMPRODUTTIVO

Nella foto del 1991 (in alto), il poligono in cui ricade il punto è classificato come *produttivo non boscato*, in quella del 2003 (in basso), come *improduttivo*.  
(Punto campione 2561A, coordinate E 1735636, N 5147814).



0 25 50 100 Meters  
foto aerea 1991



0 25 50 100 Meters  
ortofoto 2003

ESEMPIO DI PUNTO DI INCERTA CLASSIFICAZIONE SULLA SOLA BASE DEL SUPPORTO FOTOGRAFICO:

Punto 8275A, coordinate E1726175, N 5148891.

Dalle foto non si riesce a capire se la vegetazione presente è costituita da formazioni arboree o arbustive. Dal controllo a terra è stato possibile verificare che il versante è coperto da arbusti di ontano verde, e si classifica perciò come produttivo non boscato.

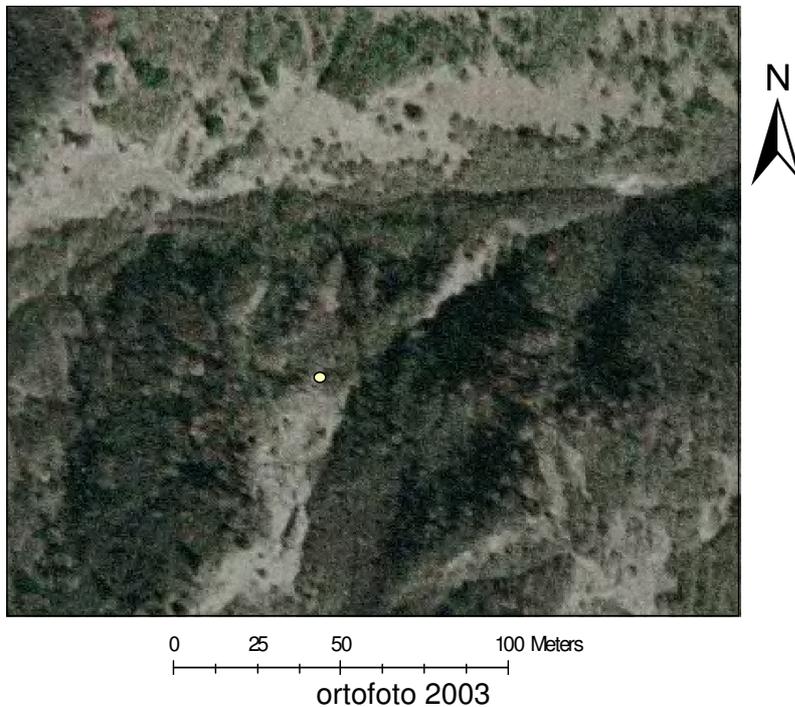
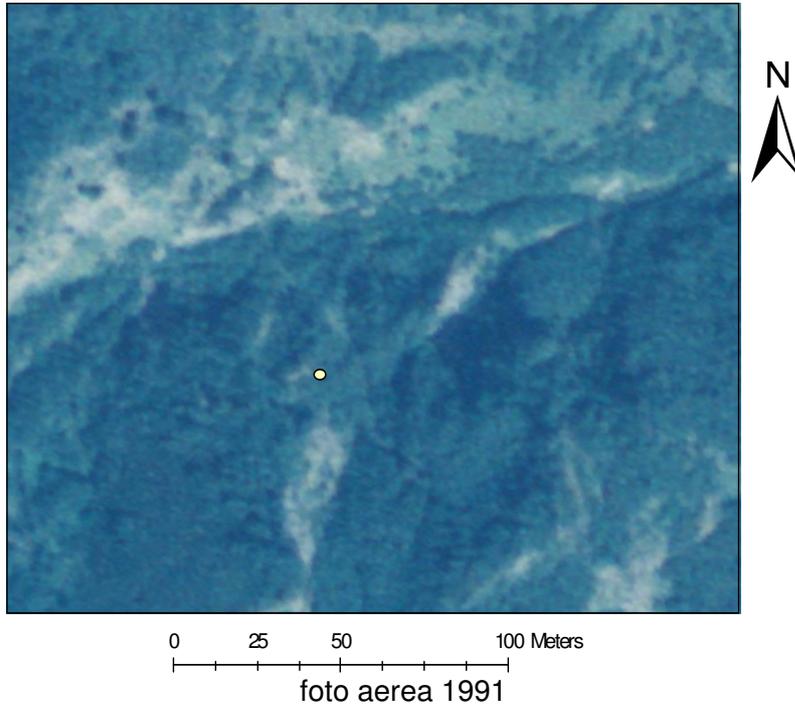




foto da terra, 2006

**PUNTI CLASSIFICATI COME VARIAZIONE DI SUPERFICIE BOSCATI:**

Esempio di chiusura di una radura a seguito della ricolonizzazione da parte del bosco sottostante.

**PUNTO:** 2005A coordinate E 1727975, N 150499

**QUOTA:** 1155 m slm

**USO PRECEDENTE DEL SUOLO:** PRATO - ARBORATO

**ORIGINE DEL BOSCO:** NATURALE

**RINNOVAZIONE:** DI ABETE ROSSO E DI FRASSINO, MEDIAMENTE PRESENTE, DI MARGINE

**SPECIE PRESENTI:** ABETE ROSSO, FRASSINO

**SPECIE ARBUSTIVE:** NOCCIOLO, LONICERA, ROVO

SPECIE	DIAMETRI cm													
	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	...	80	
Picea abies	3		1			1						1		1

Distribuzione diametrica nell'area di saggio.

	D<6	6<D<10	D>10	H (m)	età
PA1		8		6,5	22
PA2	5			5	18
PA3			13	10	17
PA4	3			2,5	17

Diametri, età e altezze delle piante campione



0 25 50 100 Meters

foto aerea 1991



0 25 50 100 Meters  
ortofoto 2003



foto da terra, 2006

Impianto di larice su un ex prato arborato.

**PUNTO:** 3991 coordinate E 1727939, N 5149024

**QUOTA:** 1475 m slm

**USO PRECEDENTE DEL SUOLO:** PRATO ARBORATO

**ORIGINE DEL BOSCO:** ARTIFICIALE (IMPIANTO)

**RINNOVAZIONE:** SPORADICA DI LARICE

**SPECIE PRESENTI:** ABETE ROSSO, LARICE

**SPECIE ARBUSTIVE:** /

SPECIE	DIAMETRI cm															
	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	...	73
Picea abies		1			1				1							
Larix decidua	2	4	1	1	2	3	2	1						2		1
Sorbus aucuparia								2								

Distribuzione diametrica nell'area di saggio.

	D<6	6<D<11	D>11	H (m)	età
<b>LD1</b>		7		7,5	17
<b>LD2</b>	6			7	11
<b>LD3</b>		7		7	9
<b>LD4</b>			16	9,5	12
<b>LD5</b>	5			8	12

Diametri, età e altezze delle piante campione



0 25 50 100 Meters

foto aerea 1991



0 25 50 100 Meters  
ortofoto 2003



foto da terra, 2006

Ricolonizzazione di abete rosso su un ex pascolo di alta quota.

**PUNTO:** 3660 coordinate E 1729140, N 5143497

**QUOTA:** 1945 m slm

**USO PRECEDENTE DEL SUOLO:** INCOLTO/PASCOLO

**ORIGINE DEL BOSCO:** NATURALE

**RINNOVAZIONE:** DI ABETE ROSSO, MEDIAMENTE PRESENTE, DIFFUSA

**SPECIE PRESENTI:** ABETE ROSSO, LARICE

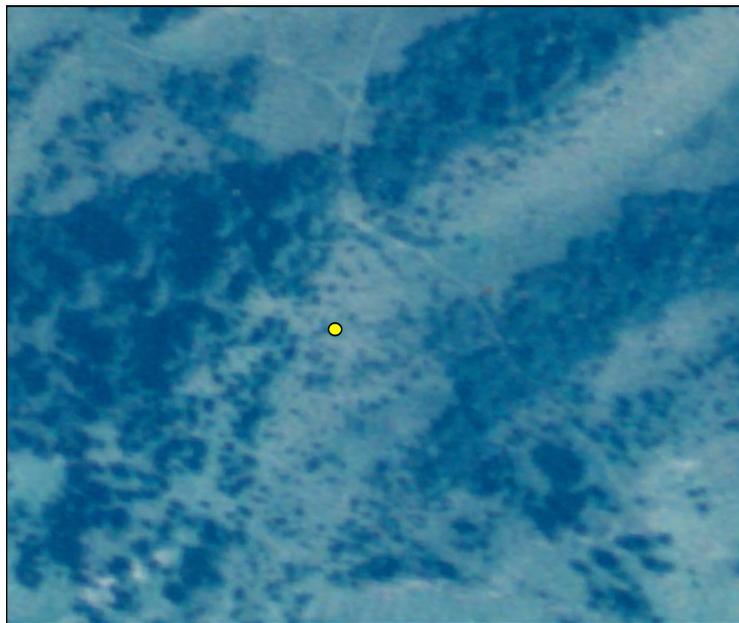
**SPECIE ARBUSTIVE:** ONTANO VERDE

SPECIE	DIAMETRI cm													
	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Picea abies	3	2	1	3	5	4	3	2	3	1				1
Larix decidua		1						1						

Distribuzione diametrica nell'area di saggio.

	D<6	6<D<10	D>10	H (m)	età
PA1		7		3,8	16
PA2		7		3	12
PA3			12	4,8	18
PA4	5			3	16

Diametri, età e altezze delle piante campione



0 25 50 100 Meters  
foto aerea 1991



0 25 50 100 Meters

ortofoto 2003



foto da terra, 2006

Impianto di abete rosso su un ex prato.

**PUNTO** 747A, coordinate E 1727247, N 5140828

**QUOTA:** 1305 m slm

**USO PRECEDENTE DEL SUOLO:** PRATO

**ORIGINE DEL BOSCO:** ARTIFICIALE, presenza di rinnovazione naturale

**RINNOVAZIONE:** DI ABETE ROSSO, SPORADICA DFFUSA

**SPECIE PRESENTI:** ABETE ROSSO

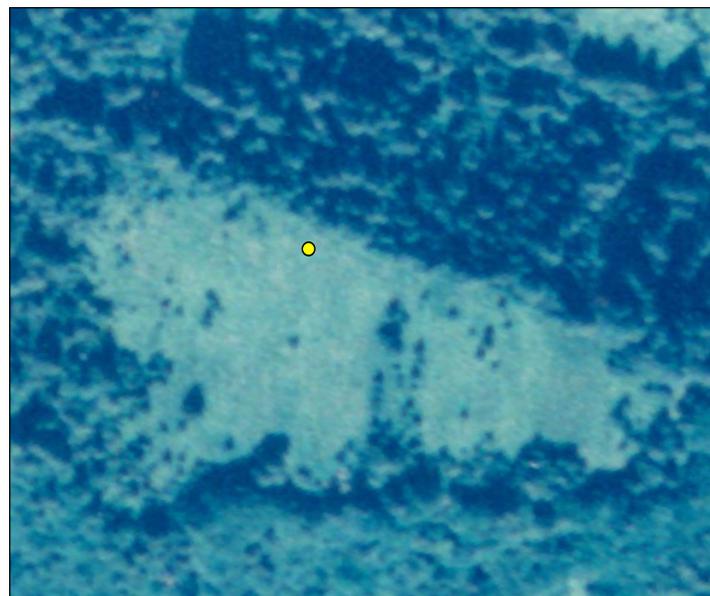
**SPECIE ARBUSTIVE:** GINEPRO

SPECIE	DIAMETRI cm																										
	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27		
Picea abies		1	2			3	1	1	1	1						1	2	1						1	1	1	

Distribuzione diametrica nell'area di saggio.

	D<9	9<D<19	D>19	H (m)	età
<b>PA1</b>	8			7,5	20
<b>PA2</b>			25	13,5	17
<b>PA3</b>	5			4,5	20
<b>PA4</b>		10		8,5	15

Diametri, età e altezze delle piante campione



0 25 50 100 Meters  
foto aerea 1991



0 25 50 100 Meters  
ortofoto 2003



foto da terra, 2006

Esempio di ricolonizzazione di un ex prato arborato.

**PUNTO** 7416A coordinate E 1721011, N 5137389

**QUOTA:** 1155 m slm

**USO PRECEDENTE DEL SUOLO:** PRATO ARBORATO

**ORIGINE DEL BOSCO:** NATURALE

**RINNOVAZIONE:** DI ABETE ROSSO E CEDRO, MEDIAMENTE PRESENTE, DIFFUSA

**SPECIE PRESENTI:** SORBO, ABETE ROSSO, CEDRO, ACERO MONTANO, FAGGIO

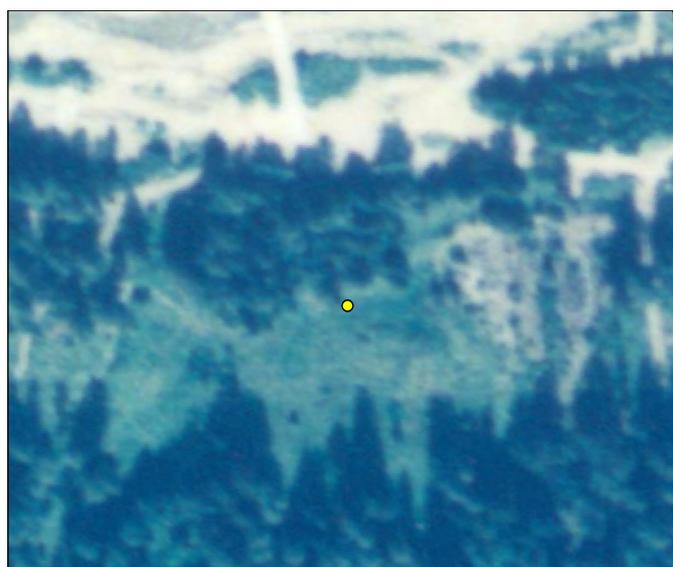
**SPECIE ARBUSTIVE:** ROVO, LONICERA

SPECIE	DIAMETRI cm										
	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Sorbus aucuparia	12	16	4	4	1		1				
Picea abies	10	7	5	2	1					1	1
Fagus silvatica		1						1			
Cedrus	1			1							
Acer pseudoplatanus			1								

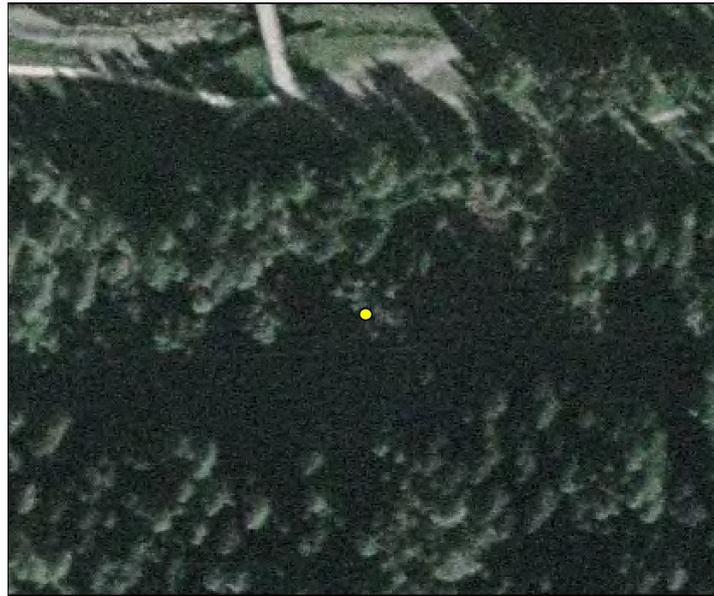
Distribuzione diametrica nell'area di saggio.

	D<4	4<D<6	D>6	h	età
SA1			7	6	16
SA2		6		6,5	13
SA3	4			5,5	16
SA4		6		6	12
SA5		5		6	17
SA6	4			5,5	17
PA1			13	9,5	24
PA2		5		4,5	13
PA3		5		3,8	11
PA4	4			3,5	13

Diametri, età e altezze delle piante campione



0 25 50 100 Meters  
foto aerea 1991



0 25 50 100 Meters

ortofoto 2003



foto da terra, 2006

Ricolonizzazione di acero montano e altre latifoglie su un ex prato.

**PUNTO** 5831A coordinate E 1733531, N 5126144

**QUOTA:** 800 m slm

**USO PRECEDENTE DEL SUOLO:** PRATO

**ORIGINE DEL BOSCO:** L'AREA DI SAGGIO RICADE IN PARTE IN UN IMPIANTO ARTIFICIALE E IN PARTE IN UNA ZONA DI AVANZAMENTO SPONTANEO DEL BOSCO

**RINNOVAZIONE:** ASSENTE

**SPECIE PRESENTI:** ACERO MONTANO, FRASSINO, SORBO MONTANO

**SPECIE ARBUSTIVE:** ROVO, SAMBUCO

SPECIE	DIAMETRI cm																	
	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Acer pseudoplatanus	2	1	3	1	2	4	3	3	4			3			1			1
Fraxinus excelsior		2					1	1					2					
Sorbus aria	1																	

Distribuzione diametrica nell'area di saggio.

	D<6	7<D<10	D>10	h	età
A1			10	12	17
A2			10	13	16
A3	6			9,5	12
A4		7		9	13

Diametri, età e altezze delle piante campione



0 25 50 100 Meters  
foto aerea 1991



0 25 50 100 Meters  
ortofoto 2003

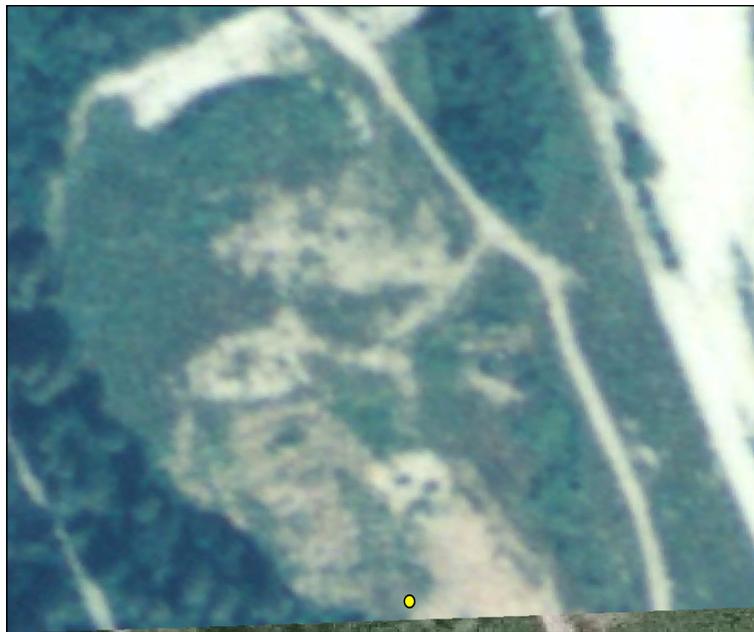


foto da terra, 2006

Esempio di ripristino ambientale.

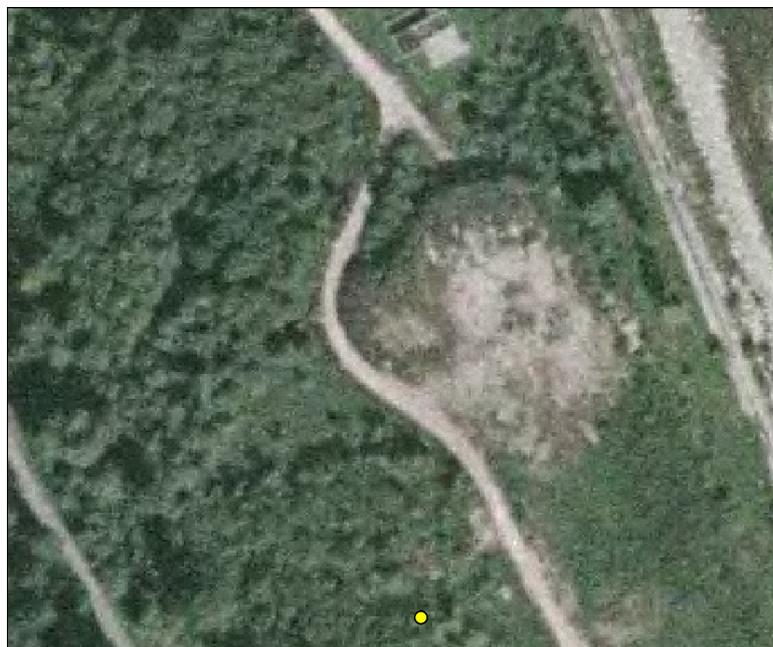
**PUNTO** 1619A, coordinate E 1733279, N 5129224

**QUOTA:** 570 m slm



0 25 50 100 Meters

foto aerea 1991



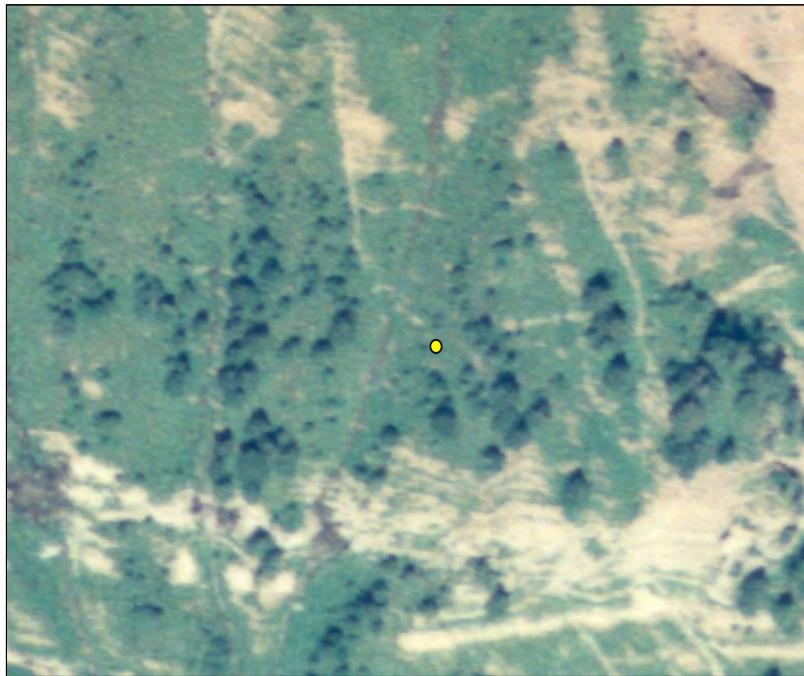
0 25 50 100 Meters

ortofoto 2003

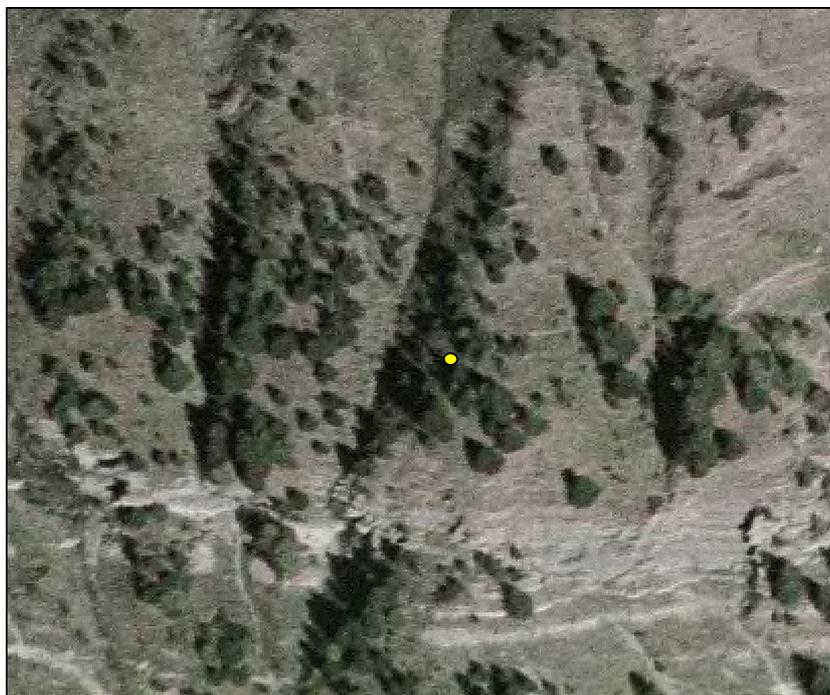


foto da terra, 2006

**PUNTO** Punto 3005A, coordinate E 1721190, N 514190  
**QUOTA:** 2030 m slm



0 25 50 100 Meters  
foto aerea 1991



0 25 50 100 Meters  
ortofoto 2003