

## Variazione di superficie e fissazione di carbonio in foresta nel territorio montano della Regione Veneto in riferimento all'applicazione del Protocollo di Kyoto

Lamedica S<sup>(1)</sup>, Dalla Valle E<sup>\*(1)</sup>, Pilli R<sup>(2)</sup>, Anfodillo T<sup>(1)</sup>

(1) Dipartimento Territorio e Sistemi Agro-Forestali, Università degli Studi di Padova, viale dell'Università, 23 (Agricoltura) - 35020 Legnaro (PD, Italy); (2) Regione del Veneto, Direzione Regionale Foreste ed Economia Montana, Servizio Forestale Regionale di Vicenza - Vicenza (Italy) - \*Corresponding author: Elena Dalla Valle (elena.dallavalle@unipd.it).

**Abstract:** Variation of forest surface and carbon fixation in mountain areas of the Regione Veneto (Italy) and the application of the Kyoto protocol. The Parties that have signed the Kyoto Protocol must reduce global emissions of Greenhouse Gases (GHG) during the First Commitment Period (2008 - 2012) by at least 5% with respect to 1990. This share is 6.5% for Italy. The Kyoto Protocol lays down some measures for reducing GHG emissions, which include actions in agriculture and forestry. It will thus be possible to take emissions and absorptions resulting from land use changes into account in the National Balances. Given the widespread forests in Italy, it is very important to have an assessment of the aptitude of this sector to act as a carbon sink. In this study we analysed the variation of forestland cover in a mountain area of the Veneto Region (NE Italy). The analysis was done by comparing aerial photos taken in 1991 with orthophotos reported to 2003, by photointerpretation of points with casual distribution on sample areas, according to a stratified sampling. We estimated a statistically relevant increment of about 0.095% of forest land only up to 1500 m compared to the estimated forest cover for 1990 (about 42 ha), underlining how this low increase is mainly due to forest management. The second step was to estimate the fixed carbon in the areas where forests increased. This was achieved by collecting biometrical data in the field, and then using allometric functions. The annual carbon sink was estimated as 0.69 Mg ha<sup>-1</sup> year<sup>-1</sup>. Comparing these results with previous studies done in the pre-alpine region we estimate the annual increment of the forest area in the whole Veneto region to be about 409.94 ha and that the total carbon sink is about 282.86 Mg C year<sup>-1</sup>. A method for estimating carbon sink in afforestation/reforestation areas is proposed that could also be applied to other sites in Italy.

**Keywords:** Kyoto Protocol, land use change, photointerpretation, carbon sink.

Received: Jun 28, 2007 - Accepted: Aug 04, 2007.

**Citation:** Lamedica S, Dalla Valle E, Pilli R, Anfodillo T, 2007. Variazione di superficie e fissazione di carbonio in foresta nel territorio montano della Regione Veneto in riferimento all'applicazione del Protocollo di Kyoto. Forest@ 4 (3): 283-297. [online] URL: <http://www.sisef.it/>.

### Introduzione

Lo stock di foreste in Europa è in generale aumentato, come risultato della gestione forestale e dell'incremento dei popolamenti in fase di crescita (Mäkipää 2006, UN-ECE-FAO 2000, Nabuurs et al. 2003, Lethonen 2005, Liski et al. 2006).

È assodato che in Italia l'aumento degli stock è in parte dovuto alla ricolonizzazione spontanea delle cenosi boschive, a seguito dell'abbandono delle atti-

vità agro-pastorali avvenuto negli ultimi decenni (Corona et al. 2005, Anfodillo & Urbinati 2001), ma non sono disponibili dati aggiornati, omogenei e oggettivi per quantificare il fenomeno, almeno con riferimento a una scala territoriale adeguata (Corona et al. 2005).

Il Protocollo di Kyoto (PK) impegna l'Italia, così come gli altri Paesi che hanno assunto degli obblighi di riduzione delle emissioni di gas serra, a contabi-

lizzare un bilancio tra assorbimenti ed emissioni di carbonio derivanti da attività di cambiamento d'uso del suolo (art. 3.3, PK). Queste ultime si definiscono come tutte quelle attività di conversione in foresta realizzate, per azione antropica, a partire dal 1990, su terreni non boscati da meno di 50 anni (*reforestation*, R) o da più di 50 anni (*afforestation*, A), per mezzo di piantagione, semina e/o azione antropica di sostegno all'affermazione di modalità naturali di propagazione (Ciccarese & Pettenella 2002). Gli assorbimenti devono essere conteggiati al netto delle emissioni legate ai processi di *deforestation* (D), intesa come la conversione di un'area forestale in non forestale, avvenuta per azione antropica a partire dal 1990 (Anderle et al. 2002).

Come noto, i crediti generati da A e R (al netto della D) così come quelli derivanti dalla rivegetazione, non sono soggetti ai limiti imposti alla gestione forestale (riduzione al 15% degli assorbimenti complessivi e limite massimo fissato, per l'Italia, in 2.78 milioni Mg di carbonio anno), ma possono essere utilizzati *in toto*, purché contabilizzati secondo le indicazioni fornite dalle *Good Practice Guidance for Land Use, Land Use Change and Forestry* dell'*Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC 2003), di seguito indicate come *Good Practice Guidance* (GPG).

Dal momento che il PK indica la fissazione di carbonio in ambito forestale (*sink*) come una delle possibilità di mitigare il cambiamento climatico, imponendo una rigorosa contabilizzazione della stessa, appare evidente la necessità di disporre di stime più accurate e più trasparenti (Mäkipää 2006). Le *Good Practice Guidance* richiedono infatti, oltre alla stima dell'estensione delle aree soggette a processi di ARD, anche la valutazione dello *stock* di carbonio fissato in tali aree (Zanchi 2006) secondo criteri forniti dalle stesse GPG. Per le attività di gestione forestale e di ARD, le *Good Practice Guidance* prevedono l'applicazione del così detto *gross-net accounting* (Decisione 11/CP.7 in FCCC/CP/2001/13/Add.1), 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<sup>1</sup>.

Per pervenire ad una stima corretta delle attività di

1- Per le attività di rivegetazione, gestione dei suoli agrari e gestione dei prati e dei pascoli, invece, si applica il metodo del *net-net accounting*, in cui il bilancio tra assorbimento ed emissioni viene confrontato con le variazioni dello *stock* nel periodo di riferimento

ARD è quindi necessario disporre di: (i) una precisa valutazione della variazione della superficie boscata, (ii) delle capacità fissative delle formazioni interessate da tali fenomeni, (iii) di adeguate informazioni sull'origine dei processi di *afforestation/reforestation*, che, come espressamente richiesto dal Protocollo, devono risultare *direct human induced* (Decision 11/CP.7 in FCCC/CP/2001/13/add.1) e, non ultimo, (iv) di una chiara definizione di foresta.

Gli accordi di Marrakesh infatti, fornendo una definizione piuttosto ampia di "foresta"<sup>2</sup>, offrono ai Paesi aderenti al Protocollo una certa flessibilità nel definire questo termine, consentendo di adattare la quantificazione dei singoli parametri alla situazione contingente di ogni Paese e alla concreta disponibilità di informazioni (Zanchi 2006). In Italia, il Decreto Legislativo 18 maggio 2001, n. 227 relativo a "Orientamento e modernizzazione del settore forestale" (G.U. 137/2001), rimanda alle definizioni stabilite a livello regionale in base ai criteri di estensione, larghezza e copertura minima, precisando comunque che le formazioni devono avere un'estensione non inferiore a 0.2 ha, larghezza media non inferiore a 20 m e copertura superiore al 20%.

Il nuovo Inventario Nazionale delle Foreste e dei Serbatoi di Carbonio (INFC), riprendendo la definizione adottata per il *Temperate and Boreal Forest Resources Assessment 2000* (UN-ECE-FAO 2000), definisce 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 presente contributo, che propone innanzitutto una stima della variazione di superficie boscata utile ai fini dell'applicazione del Protocollo di Kyoto, verrà applicata quest'ultima definizione di bosco. Gli obiettivi dello studio consistono infatti nel:

- stimare la superficie boscata in un'area rappresentativa della fascia montana del territorio regionale (Comunità Montana Agordina) 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 soggette a ARD.

2 - Superficie minima 0.05-1 ha, coperture minima 10%-30%, altezza minima a maturità 2-5 m

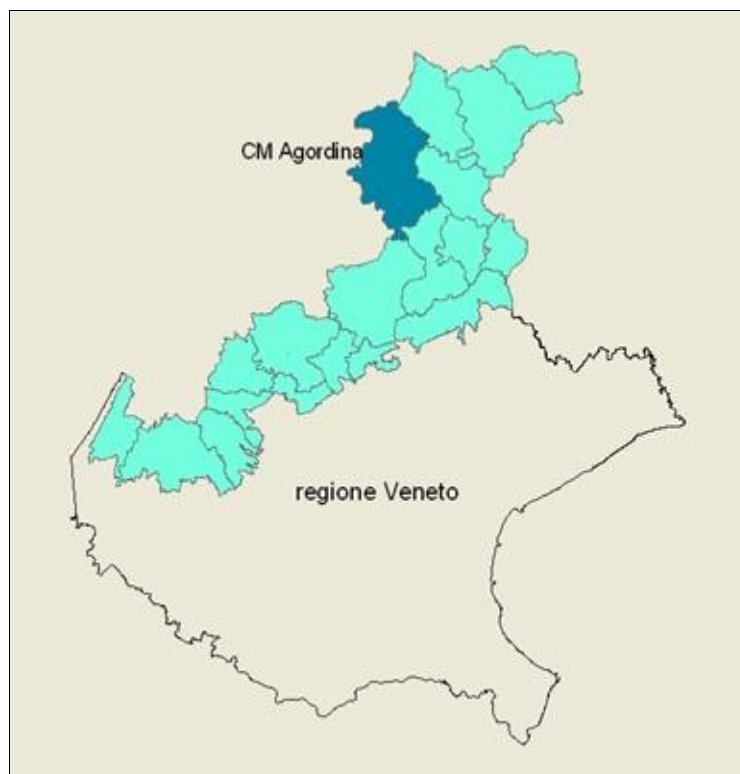


Fig. 1 - Carta della regione Veneto. In evidenza la Comunità Montana Agordina.

## Materiali e Metodi

### La spazializzazione delle informazioni

Tra le informazioni generali da riportare per le attività citate negli artt. 3.3 e 3.4 del PK, deve comparire una chiara identificazione geografica delle aree interessate tanto da processi di *A*, *R* e *D*, quanto da eventuali attività aggiuntive (gestione forestale, *revegetation*, ecc.). Per questo le *Good Practice Guidance* propongono l'impiego dei seguenti metodi:

- 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 *A*, *R*, *D* 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.

Considerando le informazioni disponibili e la necessità di proporre una metodologia applicabile anche in altre aree, in conformità con quanto proposto in precedenti studi (Salvadori 2005), si ritiene opportuno l'impiego del *RM1*, assumendo come unità di riferimento il territorio di una Comunità Montana (CM).

### L'area di studio

L'area di indagine è stata identificata con la CM

Agordina, scelta in quanto rappresentativa della fascia montana della Regione Veneto (Fig. 1).

Tale Comunità Montana si trova nella zona NO della Provincia di Belluno, e si estende su una superficie di 65916.29 ha, comprendente 16 comuni. La densità media di popolazione è di 33.3 ab/Kmq, decisamente al di sotto sia rispetto alla media della Regione Veneto (244 ab/Kmq), sia alla media italiana (186 ab/Kmq), essenzialmente 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).

Proprio i giacimenti minerari sparsi un po' ovunque, pur di modeste dimensioni, se da un lato hanno svolto per molto tempo un importante ruolo economico, contribuendo a rallentare l'emigrazione, dall'altro hanno provocato dei danni all'ambiente vegetale, privandolo della sua fertilità.

La CM si estende, da Sud a Nord, attraverso i distretti climatici esalpico, mesalpico ed endalpico (Del Favero & Lasen 1993). Nel distretto esalpico si trova-

no spesso consorzi, puri o misti, di carpino nero; il mesalpico è l'area tipica delle faggete montane, degli abieteti, dei piceo-faggeti e delle peccete che si estendono sino al distretto endalpico, dove prevalgono, al di sopra dei 1600 m di quota, il cembro e il larice. Proprio il larice e l'abete rosso sono stati in passato particolarmente diffusi dall'uomo nei pressi degli insediamenti oggi non più sfruttati dall'attività agricola.

### La metodologia d'indagine

L'analisi della variazione di superficie boscata all'interno della CM è stata effettuata secondo un approccio multitemporale, che prevede l'impiego di dati telerilevati in momenti successivi (Cerutti 1997). Tenuto conto delle richieste formulate dal PK, che fissa l'anno di riferimento per la stima di ARD al 1990, e del materiale fotografico disponibile<sup>3</sup> (Regione Veneto 2002) si è ricorsi all'impiego delle foto aeree scattate con il volo Montagna Veneta del 1991, poste a confronto con le ortofoto digitali del 2003 e del 2000.

La metodologia proposta si è quindi articolata nelle seguenti fasi:

### Campionamento multistadio

In base alle indicazioni dello studio effettuato da Salvadori (2005), è stato estratto un campione multistadio, in questo caso, a due stadi (Corona 2000), attraverso la seguente procedura:

- suddivisione della popolazione (qui rappresentata dalla CM), in un numero relativamente grande di sottopopolazioni, dette *unità primarie*, in questo caso rappresentate dai fogli della Carta Tecnica Regionale in formato Numerico, CTRN;
- estrazione, dal totale delle unità primarie ( $M$ ), di un campione casuale ( $m$ );
- 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 (densità ritenuta ottimale in base allo studio di Salvadori 2005);
- estrazione di un campione casuale di unità secondarie in ciascuna unità primaria;
- 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 estratte, su cui viene eseguita la fotointerpretazione.

3 - Non è stata effettuata nessuna ripresa aerea sul territorio della Regione Veneto nell'anno 1990.

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 le quali ci fosse una corrispondenza con le foto aeree del 1991.

Una volta estratto il campione di unità primarie, sono stati estratti i punti di indagine casuali, o unità secondarie, su cui è stata poi effettuata la fotointerpretazione.

### Acquisizione e georeferenziazione delle foto aeree del 1991

Poiché le foto aeree del 1991 sono disponibili su solo supporto cartaceo, si è provveduto innanzitutto alla scansione e georeferenziazione di ciascun fotogramma, per la successiva analisi in ambiente GIS, secondo le modalità già proposte da Salvadori (2005) per la CM del Grappa (TV).

### Fotointerpretazione dei punti sulle foto aeree georeferite e sulle ortofoto

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 sono *bosco*, *produttivo non boscato* e *improduttivo*.

Per il rilievo dell'estensione della superficie boscata è stato adottato il metodo della "conta per punti", già impiegato nella prima fase dell'INFC (Corona 2000, Tabacchi 2001). Per l'attribuzione di ciascun punto ad una delle tre categorie d'uso prese in esame è stata utilizzata la procedura proposta da De Natale et al. (2003), analoga alla metodologia impiegata nella prima fase dell'INFC (ISAFSA 2003) ed in altri recenti studi (Corona et al. 2005, Salvadori 2005).

In presenza 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 considerati come indeterminati.

### Verifica dei punti di incerta determinazione e in cui è stata riscontrata una variazione di superficie nella fase di fotointerpretazione

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

**Tab. 1** - Tabella di contingenza per l'applicazione del Test di McNemar ( $f$  = frequenza osservata)

1999 1991	Bosco	Non bosco
Bosco	$f_{11}$	$f_{12}$
Non bosco	$f_{21}$	$f_{22}$

reforestation.

### Rilievo a terra di alcuni parametri biometrici delle piante presenti

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. (2004), per i boschi di neoformazione.

Il centro delle aree di saggio è costituito dal punto in cui è stata individuata una variazione, identificato tramite GPS. 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:

- Uso del suolo precedente
- Origine della neoformazione
- Rinnovazione (stima a vista degli individui arborei con altezza inferiore a 2 m)
- 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
- Altezza 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 è stata prelevata alla base per piante con diametro < 15 cm, ad 1.30 m per piante con diametro > 15 cm).

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

### Elaborazione dei dati

I rilievi in campo sono stati utilizzati innanzitutto per verificare che la variazione della superficie boscata risultasse successiva al 1990. Sono stati 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.

La significatività delle differenze di superficie boscata rilevate tra il 1991 e il 2003 è stata valutata mediante il test di McNemar per dati appaiati (De Natale et al. 2003) che prevede il calcolo della statistica (Zar 1999 - eqn. 1):

$$X^2_c = \frac{(|f_{12} - f_{21}| - 1)^2}{f_{12} + f_{21}}$$

con  $f_{12}$  e  $f_{21}$ , frequenze ricavate da una tabella di contingenza 2 x 2 (Tab. 1).

Per la stima della proporzione ricadente in ciascuna classe e dei relativi stimatori di varianza e deviazione standard si rimanda a Corona (2000) e Corona et al. (2005).

### Stima del carbonio fissato

Il metodo proposto per la stima dell'assorbimento di carbonio si basa sull'applicazione di equazioni allometriche alle seriazioni diametriche delle piante presenti entro le aree di saggio individuate per ogni punto interessato da variazione di superficie boscata.

Le equazioni utilizzate, fanno riferimento al modello funzionale proposto da West, Brown ed Enquist, noto come *modello WBE* (West et al. 1999), che descrive la struttura delle piante vascolari attraverso equazioni di tipo esponenziale, la cui formulazione generale è (eqn. 2):

$$M = aD^2$$

spesso espressa nella forma logaritmica (eqn. 3):

$$\ln M = \ln a + b \ln D$$

dove  $M$  è la massa arborea epigea totale,  $D$  il diametro a petto d'uomo, e  $a$  e  $b$  sono rispettivamente il coefficiente e l'esponente di scala (Niklas 1994).

Secondo il modello *WBE* 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. La struttura universale della rete vascolare

è stata recentemente dimostrata su base empirica (Anfodillo et al. 2006).

Secondo il modello, la massa dovrebbe scalare con il diametro con un esponente universale  $b= 8/3$  (West et al. 1999). In un recente studio (Pilli et al. 2006), 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 categorie, giovani, adulte e mature, ai fini di una valutazione più corretta della massa epigea totale di un popolamento arboreo.

In particolare, per le piante giovani, quelle cioè che interessano le aree soggette ad *afforestation/reforestation*, gli Autori hanno proposto un valore medio di  $\ln a$  pari a -1.638 (con errore standard di 0.0589), 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 arborea epigea presente al momento del rilievo, utilizzando la seguente formula (Pilli et al. 2006 - eqn: 4):

$$\ln M = -1.638 + 2.08 \ln D$$

Dall'esame delle carotine prelevate dalle piante campione, sono state ricavate le età e gli incrementi diametrici medi annui, che sono stati poi mediati per ricavare un valore unico per ogni specie.

Utilizzando gli incrementi medi delle specie, è stato possibile 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, è stata ricavata la biomassa stoccata a tale data (ovviamente

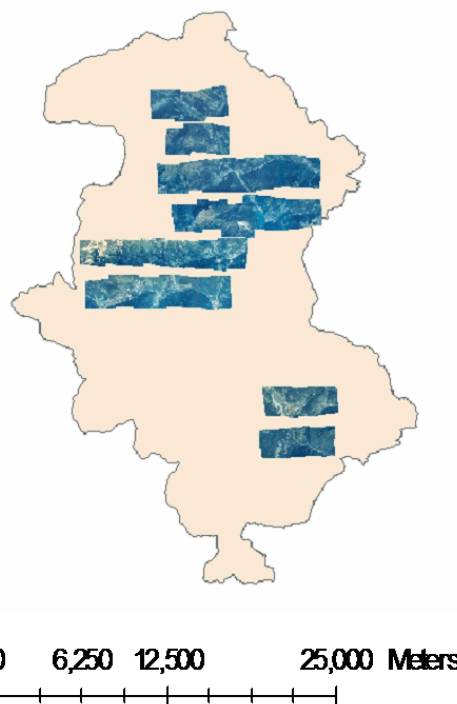


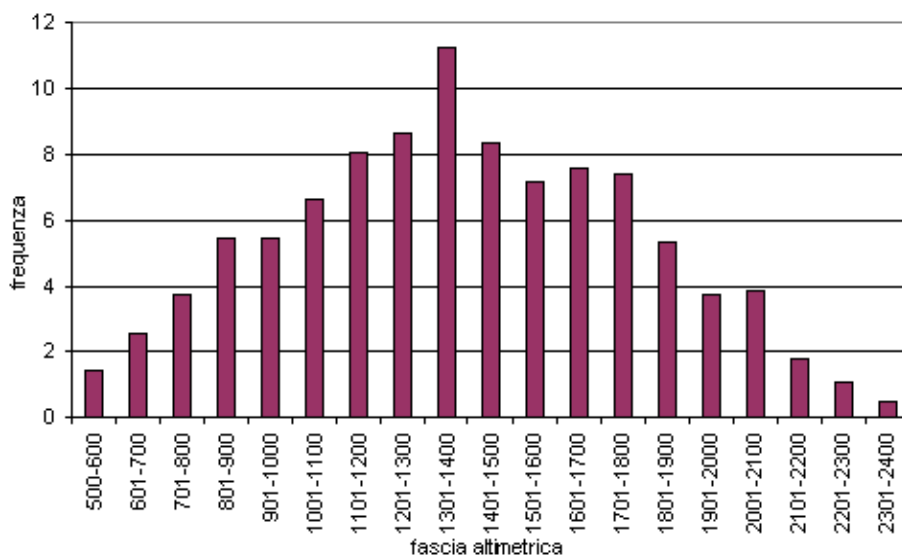
Fig. 2 - Foto aeree utilizzate.

tutti i dati sono stati riferiti all'ettaro).

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

L'assorbimento medio annuo può essere stimato come differenza tra lo *stock* presente nel 1990 e quello attuale, diviso per i 16 anni intercorsi dalla *baseline* (1990). È possibile così calcolare il *sink* medio rileva-

Fig. 3 - Ripartizione dei punti per fasce altimetriche.



to 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.

## Risultati

### Georiferimento delle immagini

Sono state analizzate in tutto 39 foto aeree, georeferite attraverso la creazione di 1131 *link* tra le immagini scandite e le CTRN di riferimento (Fig. 2); mediamente sono stati quindi formati 29 *link* per fotogramma.

Lo scarto quadratico medio per ciascuna porzione georeferita, è stato calcolato direttamente dal *software* attraverso una polinomiale di terzo grado. È stata analizzata la frequenza degli scarti 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 ed è legato essenzialmente alla morfologia del territorio analizzato, eterogenea e caratterizzata da rilievi molto accentuati.

### Variazione di superficie boscata

La fotointerpretazione è stata eseguita su un totale di 1220 punti 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. (Fig. 3)

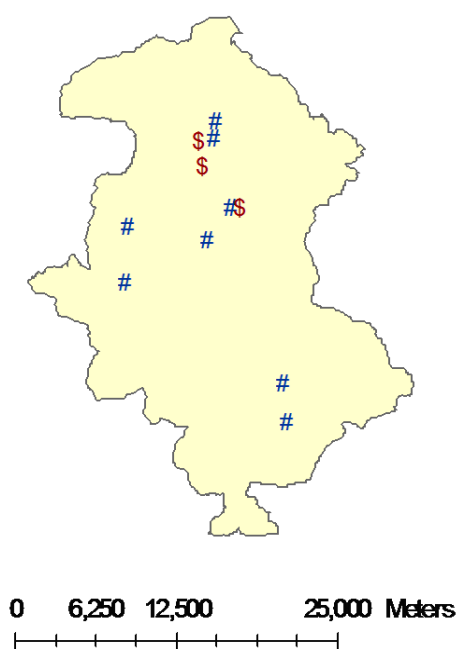
Nella CM Agordina è stata riscontrata una variazione di superficie su 11 punti, così ripartiti:

- 3 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 in cui è emersa una diminuzione di superficie boscata (*deforestation* pari a zero).

**Tab. 2** - Valori di variazione di superficie nel periodo 1991 - 2003 e valori medi annui, per ogni categoria di uso del suolo (500 - 1500 m slm)

Parametro	Variazione superficie (ha)	Dev. Standard	Errore standard (ha)	Variazione annua (ha)	Errore standard (ha)	Errore%
Superficie boscata	322.43	0.00025	8.99	26.87	0.749	2.79
Produttivo non boscato	-516.70	0.01746	11.31	-43.06	0.942	2.19
Improduttivo	94.28	0.00016	5.79	16.19	0.483	6.14



**Fig. 4** - Punti di rilievo a terra.

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 è risultata statisticamente significativa: il test di McNemar riporta un valore di  $p < 0.025$  (tab 1).

E' stata poi effettuata una verifica della significatività dei dati di variazione suddividendo i punti campione in cui è stata rilevata una variazione di superficie per fasce altimetriche: il test di McNemar ha riportato valori significativi per le quote inferiori a 1500 m, mentre la variazione non risulta significativa per le quote superiori.

Sono state quindi calcolate le variazioni avvenute nel periodo 1991-2003 all'interno della Comunità Montana, per le tre categorie d'uso del suolo e considerando la sola superficie che si trova a quota inferiore ai 1500 m s.l.m. (36500.42 ha - Tab. 2). 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,

**Tab. 3** - 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

- 0.095% rispetto alla superficie boscata inferiore ai 1500 m slm stimata al 1991,

Nota la variazione di superficie al 1991, anno di riferimento ai fini del PK, è stata stimata la variazione complessiva di superficie boscata al 2006, anno in cui sono stati eseguiti i rilievi, con i seguenti risultati:

- $26.87 \pm 0.75$  ha anno<sup>-1</sup> di variazione di superficie boscata
- $429.92 \pm 12$  ha di variazione complessiva,
- pari all'1.18% rispetto alla superficie totale della Comunità Montana,
- e all'1.53% rispetto alla superficie boscata stimata

per il 1991.

#### Verifica a terra

I rilievi a terra hanno permesso di verificare sul campo alcune situazioni dubbie, in riferimento alla classificazione dei punti a bosco o produttivo non boscato, e degli 8 punti classificati come variazione di superficie boscata (Fig. 4). I rilievi biometrici sono stati eseguiti in 6 di questi, per l'impossibilità di accedere agli altri due siti.

Questi punti si riconducono a diverse tipologie di afforestation/reforestation, tutte verificate tramite l'in-



**Tab. 4** - 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

dagine al suolo: 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 è stato riscontrato nei pressi di due segherie ora in disuso.

La specie rinvenuta più spesso, a tutte le quote, è l'abete rosso, praticamente ubiquitario. Tra le altre specie si ricordano, 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.

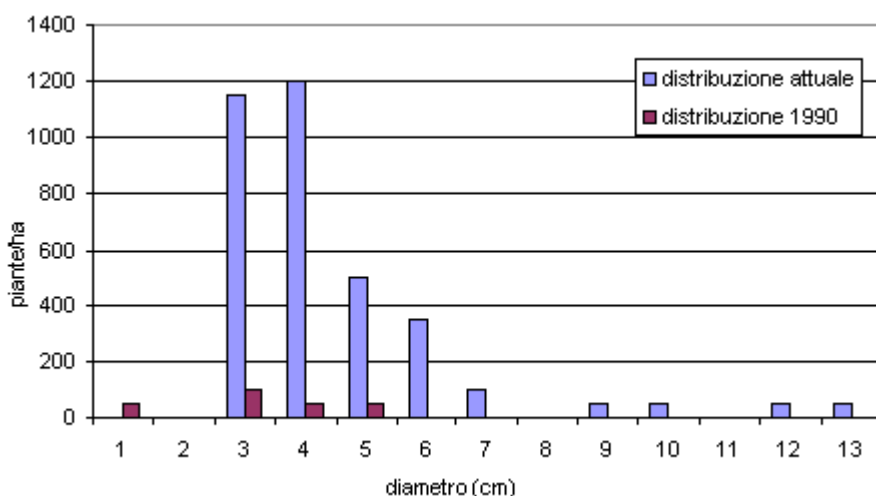
*Stima dell'assorbimento di carbonio*

Attraverso l'analisi delle carotine prelevate dalle piante campione, è stata ricavata l'età (Tab. 3) e l'in-

cremento diametrico medio delle diverse specie (Tab. 4).

Nota la seriazione diametrica delle piante presenti, attraverso gli incrementi medi annui è stata stimata per ogni punto la seriazione diametrica pregressa relativa al 1990 (Fig. 5), 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.

L'assorbimento medio relativo al periodo in esame è stato calcolato come differenza tra lo *stock* presente nel 1990 e quello attuale (calcolati attraverso l'eqn. 4), diviso per i 16 anni trascorsi dalla *baseline*. I valori ottenuti per ogni singolo punto sono stati poi media-



**Fig. 5** - 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.

**Tab. 5** - Valori di biomassa 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.

Punto campione	Biomassa al 1990	Biomassa al 2006	Carbonio fissato	Assorbimento annuo
	Mg ha <sup>-1</sup>	Mg ha <sup>-1</sup>	Mg ha <sup>-1</sup>	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
media	4.20	26.17	10.98	0.69

**Tab. 6** - Quota media e tasso di variazione di superficie boscata applicato per ogni CM della Regione Veneto (Carta Regionale dei Tipi Forestali, 2006)

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 REGIONE	-	277257.30	-	212568.61	-	-

ti, ottenendo un assorbimento medio pari a 0.69 Mg ha<sup>-1</sup> anno<sup>-1</sup> di carbonio (Tab. 5). Quest'ultimo valore, moltiplicato per la variazione media annua di superficie boscata, esprime l'assorbimento annuo di carbonio, relativamente alla sola biomassa arborea epigea, delle aree interessate da *afforestation/reforestation* nella CM Agordina pari a 18.54 Mg anno<sup>-1</sup>.

## Discussione

### 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 RM1, 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.

### 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

**Tab. 7** - 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 boscata totale (ha)	Variazione Superficie boscata (ha anno <sup>-1</sup> )	C (Mg anno <sup>-1</sup> )
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 REGIONE	-	409.94	282.86

calcolato nella presente ricerca può essere posto a confronto con quelli emersi da studi analoghi:

- nella Comunità Montana Agordina il tasso di espansione annua del bosco è pari allo 0.095% rispetto alla superficie boscata stimata al 1991 (pari a  $26.87 \pm 0.75$  ha anno<sup>-1</sup>);
- nella CM del Grappa, il tasso di espansione annuo del bosco è pari allo 0.54% rispetto alla superficie boscata del 1991 (pari a  $28.08 \pm 0.55$  ha anno<sup>-1</sup>) (Salvadori 2005);
- 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. (2006) 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 2005). 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 (2005) 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 & 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. (2006) 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 di De Natale et al. (2006) 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.

#### *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*, ma risultano senza dubbio necessari ulteriori approfondimenti per valutare sia l'effettivo assorbimento di queste formazioni, sia l'errore associato a suddette stime.

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, in particolare per formazioni, come i boschi di neoformazione qui analizzati, nelle quali non vengono effettuate utilizzazioni (Nabuurs et al. 2003).

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. (2003), 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 Mg ha<sup>-1</sup>, contro i 0.69 Mg ha<sup>-1</sup> anno<sup>-1</sup> stimati per l'Agordino.

#### **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. (2005), accettabile soltanto per il breve periodo -.

La superficie delle aree soggette ad *afforestation/reforestation* al 2008 è stata stimata in 483.6 ± 13.50 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  $618.03 \pm 17.25$  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.

### Stima delle potenzialità di assorbimento a livello regionale

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 (Tab. 6).

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 della regione (Tab. 7) ottenendo i seguenti risultati:

- Superficie boscata di tutte le CM a quota inferiore a 1500 m slm: 212568.61 ha.
- Incremento annuale di superficie boscata: + 409.94 ha.
- Carbonio totale fissato:  $282.86 \text{ Mg C anno}^{-1}$ .

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. 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.

### Conclusioni

Nella prima fase del lavoro si è stimata la variazio-

ne di superficie boscata nell'area in esame, assunta come rappresentativa del territorio montano, mediante un'analisi multitemporale che prevede l'impiego di dati telerilevati in momenti successivi. Tale procedura 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  $0.69 \text{ Mg ha}^{-1}$ .

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  $282.86 \text{ Mg C anno}^{-1}$ . Questi dati necessitano naturalmente di ulteriori validazioni, su un più ampio campione di indagine.

Pertanto, il presente lavoro si presenta come un primo tentativo di stima delle capacità fissative delle attività di ARD, 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 la necessità di dimostrare che tali processi siano realmente *direct human induced*, cioè indotti, o quanto meno gestiti, dall'uomo, come richiesto dal Protocollo di Kyoto; infatti le definizioni stesse delle attività di afforestazione, riforestazione e deforestazione, adottate nel corso della settima *Conference of the Parties* di Marrakesh (2001), presuppongono che vi sia un diretto intervento antropico nei cambiamenti d'uso del suolo (Decision 11/CP.7 in FCCC/CP/2001/13/add.1). Utilizzando una definizione ampia di *human-induced*, l'ingresso spontaneo della vegetazione arborea in terreni abbandonati può essere riportato come attività LULUCF, ma esclusivamente introducendo anche le aree abbandonate nel piano di gestione del territorio; in questo caso sarebbe possibile ricondurre il cambiamento d'uso del suolo ad una azione volontaria e programmata, dovuta a cambiamenti occorsi nella condizione socio-economica dell'area interessata (Zanchi 2006). 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 del-

le capacità fissative di tali aree e, non ultimo, documentare l'origine, riconducibile ad azione antropica, di tali processi.

## Ringraziamenti

Il lavoro proposto fa parte di un più ampio progetto di ricerca finanziato dalla Direzione Regionale Foreste ed Economia Montana della Regione Veneto, per la stima dello stock di carbonio presente in ambiente forestale a partire dai dati inventariali ed assestamentali disponibili a livello regionale.

## Bibliografia

- Anderle A, Ciccacese L, Dal Bon D, Pettenella D, Zanolini E (2002). Assorbimento e fissazione di carbonio nelle foreste e nei prodotti legnosi in Italia. Rapporto APAT 21/2002.
- Anfodillo T, Carraro V, Carrer M, Fior C, Rossi S (2006). Convergent tapering of xylem conduits in different woody species. *New Phytologist* 169: 279-290
- Anfodillo T, Urbinati C (2001). Foreste di alta quota in ambiente alpino: fisionomia, ecologia e possibili dinamicismi. *Monti e boschi* 3/4: 31-39
- 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.
- Ciccacese L, Pettenella D (2002). Il Protocollo di Kyoto dopo Marrakesh. *Sherwood* 108: 5-9.
- Corona P (2000). Introduzione al rilevamento campionario delle risorse forestali. Edizioni CUSL Firenze.
- Corona P, Pompei E, Scarascia Mugnozza G (2005). Stima probabilistica del tasso di espansione annua e del valore al 1990 della superficie forestale nella Regione Abruzzo. *Forest@ 2* (2): 178-184 [online] URL: <http://www.sisef.it/>
- Del Favero R, Lasen C (1993). La vegetazione forestale del Veneto. Regione Veneto, Assessorato Agricoltura e Foreste, Dipartimento Foreste.
- De Natale F, Gasparini P, Carriero A (2006). A study on the tree colonization of abandoned land in the Italian Alps: extent and some characteristics of new forests stand in Trentino. [online] URL: <http://www.isafa.it/>
- De Natale F, Gasparini P, Sitzia T, Anderle A (2004). Istruzioni per l'esecuzione dei rilievi al suolo nei boschi di neoformazione. ISAFa-Trento, Dip.to TESAF - Università degli Studi di Padova, Provincia Autonoma di Trento.
- De Natale F, Gasparini P, Puzzolo V, Tosi V (2003). Stima del grado di copertura forestale da ortofoto e applicazione della definizione di bosco degli inventari forestali. *L'Italia Forestale e Montana* 4: 289-300.
- Gaiardo MJ (1994). Evoluzione del territorio agordino attraverso i documenti cartografici. Vol. 1. Tesi di Laurea in Materie Letterarie. Università degli studi di Padova, Dipartimento di Geografia.
- IPCC (1997). IPCC Guidelines, revised 1996 versions. Reference Manual, IPCC/OECD/IEA, Working Group I, Technical Support Unit, United Kingdom.
- IPCC (2003). *Good Practice Guidance for Land Use, Land Use Change and Forestry* (Penman J, Gytarsky M, Hiraishi T, Krug T, Kruger D, Pipatti R, Buendia L, Miwa K, Ngara T, Tanabe K, Wagner F eds). The Institute for Global Environmental Strategies for the Intergovernmental Panel on Climate Change, Hayama, Kanagawa, Japan.
- ISAFa (1998). 2° Inventario Forestale Nazionale. Studio di fattibilità (Bianchi M et al. eds). [online]: <http://www.isafa.it/>
- ISAFa (2003). Inventario Nazionale delle Foreste e dei Serbatoi di Carbonio INFC. Manuale di fotointerpretazione per la classificazione delle unità di campionamento di prima fase (De Natale F et al. eds). [online]: <http://www.isafa.it/>
- Körner C (1998). A re-assessment of high elevation treeline position and their explanation. *Oecologia* 115: 445-459. Springer-Verlag
- Lethonen A (2005). Carbon stocks and flows in forest ecosystems based on forest inventory data. *Forest ecology*. University of Helsinki, Helsinki.
- Liski J, Lethonen A, Palosuo T, Peltoniemi M, Eggers T, Muukkonen P, Mäkipää R (2006). Carbon sink of the Finnish forests 1922-2004 estimated by combining forest inventory data with modelling of biomass, litter and soil. *Annales of Forest Science* (in press).
- 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. In: *Stima del Carbonio in foresta: metodologie ed aspetti normativi* (Pilli R, Anfodillo T, Dalla Valle E eds). Pubblicazione del Corso di Cultura in Ecologia, Atti del 42° corso, Università degli Studi di Padova, pp. 35-53
- Nabuurs GJ, Schelhaas MJ, Mohren GMJ, Field CB (2003). Temporal evolution of the European forest sector carbon sink from 1950 to 1999. *Global Change Biology* 9: 152-160.
- Niklas KJ (1994). *Plant Allometry*. In: *The scaling of Form and Process*. The University of Chicago Press, Chicago and London.
- Pilli R, Anfodillo T, Carrer M (2006). Toward a functional and simplified allometry for estimating forest biomass. *Forest Ecology and Management* 237: 583-593.
- Protocollo di Kyoto (1997). [online] URL: [http://www.miniambiente.it/Sito/Settori\\_azione/pia/docs/protocollo\\_kyoto\\_it.pdf](http://www.miniambiente.it/Sito/Settori_azione/pia/docs/protocollo_kyoto_it.pdf)
- Regione Veneto (2002). Repertorio aerofotogrammetrico

- del Veneto.
- Regione Veneto (2006). Carta regionale dei tipi forestali: documento base. Regione del Veneto - Direzione regionale delle foreste e dell'economia montana in collaborazione con l'Accademia Italiana di Scienze Forestali.
- Salvadori I (2005). Analisi della variazione della superficie boscata tramite foto aeree nella Comunità Montana del Grappa (TV) in riferimento all'applicazione del Protocollo di Kyoto. Tesi di laurea specialistica in Scienze forestali e ambientali. Università degli Studi di Padova, Dipartimento Territorio e Sistemi Agro - forestali.
- Salvadori I, Pilli R, Anfodillo T (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. [online] URL: <http://www.sisef.it/>
- Tabacchi G (2001). Note su alcuni schemi di campionamento impiegati nell'inventariazione delle risorse forestali di ampi territori. *ISAFSA Comunicazioni di ricerca 2*: 25-38.
- UN-ECE-FAO (2000). *Forest Resources of Europe, CSI, North America, Australia, Japan and New Zeland*. UN-ECE/FAO Contribution to the Global Forest Study Papers, n. 17, United Nations, Geneva, pp. 445. [online] URL: <http://www.fao.org>
- West GB, Brown JH, Enquist BJ (1999). A general model for the structure and allometry of plant vascular system. *Nature 400*: 664-667
- Zanchi G, Pettenella D, Ciccarese L (2005). Revegetation activities in the mediterranean areas as influenced by the definition of forest. Workshop: Land-use choices under the Kyoto Protocol. Obligations, Options and Methodologies for Defining "Forest" and selecting activities under Kyoto Protocol Article 3.4. Graz, Austria, 2-4 May 2005. [online] URL: <http://www.joanneum.at/CarboInvent/Workshop/presentation.html>
- Zanchi G (2006). The article 3.3 and 3.4 activities of the Kyoto Protocol: requirements and choices. In: *Stima del Carbonio in foresta: metodologie ed aspetti normativi* (Pilli R, Anfodillo T, Dalla Valle E eds). Pubblicazione del Corso di Cultura in Ecologia, Atti del 42° corso, Università degli Studi di Padova, pp. 89-100.
- Zar JH (1999). *Biostatistical Analysis*. Prentice Hall International Editions, NY, USA.