

Valutazione del ruolo dei Parchi lombardi ai fini del sequestro di carbonio

A. OSSOLA, G. BRUSA, S. PIERCE e B. CERABOLINI

ABSTRACT – *Evaluation of the role of Lombardy Parks (Italy) in carbon sequestration* - The aim of this work is to evaluate the contribution of Lombardy Parks to carbon sequestration in the region, as reported in articles 3.3 and 3.4 of the Kyoto Protocol. Soil and vegetation carbon pools were estimated through models, based on ecological data collected in the field or reported in the literature. Moreover Net Ecosystem carbon Exchange (NEE) was estimated for the principal forest types. Lombardy Parks, covering 21.0% of the area of the region, contribute 21.5% of the regional soil organic carbon pool (239.5 TgC) and 23.6% of the vegetation carbon stock (99.5 TgC). Parks contribute 23.5% of the regional annual ecosystem carbon exchange ($-4.6 \text{ TgCO}_2 \text{ a}^{-1}$). Lombardy Parks, essentially established for the conservation of biodiversity, represent an opportunity for increasing and preserving soil and vegetation carbon pools.

Key words: carbon, Lombardy, Parks, soil, vegetation

Ricevuto il 23 Novembre 2006
Accettato il 3 Agosto 2007

INTRODUZIONE

A seguito del crescente interesse scientifico riguardo le problematiche legate all'effetto serra, culminato con la stesura del Protocollo di Kyoto, sono stati effettuati studi relativi alla stima dei "serbatoi di carbonio" ("carbon pools", CP), soprattutto a livello globale, continentale e nazionale (POST *et al.*, 1982; ESWARAN *et al.*, 1993; DIXON *et al.*, 1994; HOWARD *et al.*, 1995; BATJES, 1996; PIGNARD *et al.*, 2000; ARROUAYS *et al.*, 2001; RODRÍGUEZ-MURILLO, 2001; JONES *et al.*, 2005). I suoli e la vegetazione sono importanti comparti ecosistemici per il sequestro di carbonio. Poiché la dotazione di carbonio di tali comparti dipende dalle condizioni climatiche locali, dalla vegetazione e dall'uso del suolo (GANUZA, ALMENDROS, 2003; TAN *et al.*, 2004), si rendono necessarie delle stime dei CP a livello regionale, grazie alle quali poter monitorare gli scambi di tale gas a seguito del cambiamento climatico in atto e stabilire obiettivi realistici per l'abbattimento delle emissioni di CO_2 . In tale ottica i Parchi e le aree protette possono rappresentare un'occasione, non solo per la conservazione della biodiversità, ma anche per il controllo e il sequestro del più importante gas serra (CO_2).

Il principale obiettivo di questo studio è stato quindi quello di stimare i CP nei suoli e nella vegetazione

della regione Lombardia, valutando il contributo relativo dei Parchi. Inoltre, dato che il carbonio organico (OC) non è staticamente sequestrato nei CP, è stato stimato il flusso annuale di anidride carbonica tra ecosistemi ed atmosfera (NEE), anche in questo caso valutando il contributo dei Parchi.

MATERIALI E METODI

Area di studio

La Lombardia ha una superficie di circa 23.800 km², pari al 7.9% del territorio italiano. Essa si estende da 8 metri sul livello del mare fino a 4049 metri di quota (Pizzo Bernina) e si caratterizza per un paesaggio prevalentemente pianiziale (47.0%) e montano (40.6%), e subordinatamente collinare (12.4%) (ISTAT, 1990). Da un punto di vista litologico la Lombardia si pone come zona di contatto tra la regione alpina occidentale, caratterizzata dalla prevalenza di substrati silicatici, e la porzione orientale delle Alpi, che invece si contraddistingue per la prevalenza di substrati carbonatici. A queste due tipologie di substrato vanno aggiunti anche depositi sciolti, fluviali o glaciali, che caratterizzano soprattutto i territori pedemontani, pianiziali e dei fondovalle.

I principali parametri climatici, temperatura e preci-

pitazioni medie annuali, coprono un'ampia gamma di valori. Le temperature medie annuali rispecchiano generalmente l'andamento orografico. Infatti le temperature medie minori si registrano nella porzione montagnosa nord-orientale, mentre spingendosi lungo le principali vallate verso la pianura, le temperature aumentano progressivamente con l'abbassarsi della quota.

I valori medi annui più bassi per le precipitazioni si osservano nella porzione orientale della regione, mentre le precipitazioni medie più elevate si riscontrano lungo la fascia prealpina (RAIMONDI, 2003).

Nella fascia planiziale i boschi originari a *Quercus robur* e *Carpinus betulus* sono ormai estremamente ridotti a favore delle coltivazioni. Le Prealpi si caratterizzano per vegetazioni dominate da querce, frassini, castagno e faggio (DEL FAVERO *et al.*, 2002). A quote più elevate dominano boschi di conifere (*Abies alba*, *Picea excelsa*, *Larix decidua* e *Pinus cembra*) che progressivamente lasciano spazio a cespuglieti e praterie alpine.

Il Sistema Parchi della Regione Lombardia è nato con la L.R. 86 del 30 novembre 1983. Accanto alle aree protette istituite con questa legge, nel corso degli anni ne sono state individuate altre. Attualmente il Sistema Parchi comprende un Parco Nazionale, 21 Parchi Regionali, 22 Parchi Locali di Interesse Sovracomunale, 58 Riserve naturali e 25 Monumenti naturali. Ai fini del presente lavoro sono stati considerati solo i 21 Parchi Regionali attualmente istituiti ed il Parco Nazionale dello Stelvio (settore lombardo) aventi un'estensione complessiva di circa 5.026 km², pari al 21.1% del territorio regionale (Fig. 1). I confronti dei vari parametri analizzati sono stati effettuati considerando pertanto due aree di riferimento (regione Lombardia e Parchi).

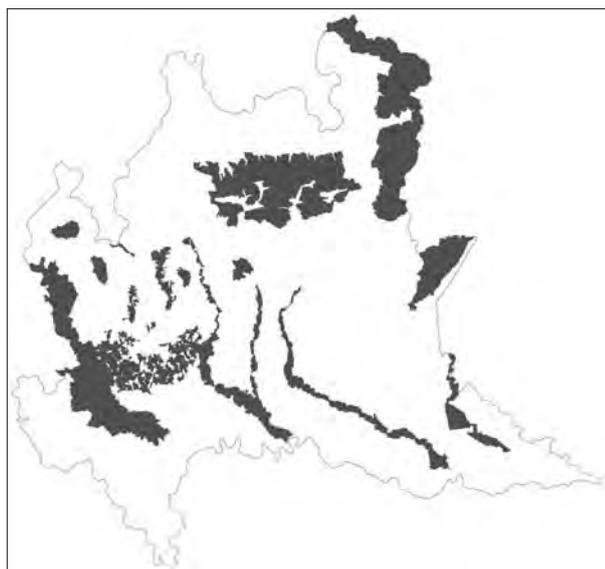


Fig. 1
Distribuzione dei Parchi lombardi.
Distribution of Lombardy Parks.

Stima del carbonio organico nel suolo

I dati relativi ai suoli sono stati ricavati dalla collana di quaderni "Progetto carta pedologica" dell'ERSAL (Ente Regionale per lo Sviluppo Agricolo della Lombardia), ora ERSALF (Ente Regionale per i Servizi all'Agricoltura ed alle Foreste), che raccoglie i dati di campagne di rilevamento dei suoli effettuata in varie località lombarde (ERSAL, 1988a, b; 1990; 1991a, b, c, d; 1992a, b, c, d, e; 1993a, b, c; 1994a, b; 1996). Dalle pubblicazioni citate sono stati ricavati dati relativi a 387 rilievi pedologici che riguardano località, tipo di suolo, uso del suolo, scheletro e percentuali di carbonio organico lungo il profilo verticale. La carta pedologica regionale in scala 1:250.000 (ERSALF, 2004) è stata utilizzata per la spazializzazione dei dati pedologici tramite il software ArcView GIS 3.2 (ESRI, Inc., Redlands, California). Nella carta pedologica sono rappresentate 13 unità di suolo, classificate in base al World Reference Base (FAO/ISRIC/ISSS, 1998).

La stima del contenuto di OC nei suoli ha richiesto l'integrazione di dati pedologici e vegetazionali, poiché la dotazione di carbonio organico nei suoli è funzione sia del tipo di suolo sia della vegetazione (JONES *et al.*, 2005). Tale approccio, seguito già da altri autori (HOWARD *et al.*, 1995; PIGNARD *et al.*, 2000; ARROUAYS *et al.*, 2001), non tiene tuttavia conto di variabili climatiche, quali temperatura ed umidità, comunque importanti nel definire il contenuto di materia organica nel suolo (JOBÁGY, JACKSON, 2000). I dati pedologici sono stati suddivisi dapprima per tipo di suolo e successivamente per tipo di copertura vegetale secondo le seguenti categorie: boschi di latifoglie, boschi di conifere, coltivi, brughiere-cespuglieti-arbusteti, formazioni erbacee e paludi.

Per ciascun unità suolo-vegetazione è stata quindi calcolata la media tra le percentuali di carbonio organico (in peso) ad intervalli di 5 cm, fino alla profondità di un metro. I valori così ottenuti sono stati corretti sottraendo l'eventuale scheletro, ossia il volume dei frammenti litici che contraddistinguono ciascun intervallo.

Al fine di calcolare la *bulk density* del suolo (densità del suolo, compresi i pori) si è utilizzato un modello che mette in relazione la densità alla percentuale (in peso) di carbonio organico presente nel suolo (LEIFELD *et al.*, 2005). L'equazione che regola il modello è la seguente:

$$D = 1.49 (\%OC) (-0.29)$$

dove D è la *bulk density* (t m⁻³) e %OC è la percentuale in peso di carbonio organico. Conoscendo la densità del suolo e la percentuale di carbonio organico è stato calcolato il peso di carbonio organico lungo il profilo verticale.

Stima del carbonio nella vegetazione

La carta dell'uso del suolo e della vegetazione è stata ricavata dal Corine Land Cover 2000 (CLC 2000). Il CLC è un progetto dell'Unione Europea che ha come finalità quella di cartografare le tipologie di

copertura del suolo dei vari Stati membri e di valutarne i cambiamenti durante il periodo 1990-2000 (BÜTTNER *et al.*, 2002). I dati, distribuiti per l'Italia dall'Agenzia per la Protezione dell'Ambiente e per i servizi Tecnici (APAT, 2005) e originariamente proiettati in UTM su WGS84, sono stati proiettati in Gauss – Boaga (fuso ovest), datum ED 50 al fine di renderli conformi con gli altri dati utilizzati. Il CLC 2000 presenta per la Lombardia 45 classi di utilizzo del suolo, alcune delle quali sono state accorpate, seguendo criteri di affinità fisionomica e/o strutturale. Al fine di valutare la ripartizione del OC tra i vari comparti ecosistemici si è calcolato il carbonio contenuto nella fitomassa. Per il calcolo della fitomassa delle vegetazioni forestali sono stati applicati una serie di modelli (LE MAIRE *et al.*, 2005) che utilizzano come variabili l'area basimetrica (BA), l'altezza della vegetazione (H), LAI e SLA (Tab. 1).

TABELLA 1

*Modelli impiegati per il calcolo della biomassa nelle vegetazioni forestali (da LE MAIRE *et al.*, 2005).*

*Models used for calculating forest biomass (from LE MAIRE *et al.*, 2005).*

Biomassa legnosa epigea (AWB) $AWB_{latifoglie} = [0.37 * (BA) * H] - 0.01$
 $AWB_{conifere} = [0.22 * (BA) * H] + 4.6$

Biomassa fogliare (LB) $LB = LAI * SLA$

Biomassa radicale grossolana (CRB) $CRB = 0.2 * AWB$

Biomassa radicale fine (FRB) $FRB_{latifoglie} = LB$
 $FRB_{conifere} = (LB * 2)/3$

Tuttavia questi modelli non tengono conto della biomassa relativa al sottobosco (es. novellame, detriti legnosi e lettiera) che in taluni casi può rappresentare un'importante componente della dotazione di carbonio dei boschi (MATTHEWS, 1997; LIU *et al.*, 2006).

L'indice di area fogliare (Leaf Area Index, LAI) è un parametro adimensionale che esprime la superficie fogliare per unità di superficie topografica. Tale parametro è stato misurato in campo attraverso l'utilizzo dello strumento "LAI 2000 - Plant Canopy Analyzer" (Li-cor, Inc – Nebraska USA). I valori di LAI per i boschi di conifere sono stati corretti moltiplicandoli per un fattore pari a 1.5 (GOWER, NORMAN, 1991), in quanto la disposizione degli aghi delle conifere determina una sottostima della trasmittanza della canopy.

L'area fogliare specifica (Specific Leaf Area, SLA) è un importante parametro funzionale (WESTOBY, 1998; HODGSON *et al.*, 1999; WEIHER *et al.*, 1999), espresso tramite il rapporto tra area e peso secco fogliare ($cm^2 g^{-1}$). I dati di SLA relativi alle varie specie forestali presenti nelle classi di vegetazione sono stati ricavati da una base di dati realizzata dall'Unità di Ecologia Vegetale e Fitogeografia, DBSF -

Università degli Studi dell'Insubria.

I dati relativi alle aree basimetriche ed alle altezze medie degli alberi sono state ricavate da un archivio realizzato nell'ambito del Progetto Strategico 9.1.6 della Regione Lombardia dall'Unità di Ecologia Vegetale e Fitogeografia, DBSF - Università degli Studi dell'Insubria.

I valori di biomassa relativi ai comparti della pianta sono stati successivamente sommati, ottenendo i valori di peso secco totale per ciascuna classe di vegetazione. Le biomasse delle vegetazioni non forestali sono state ricavate da diverse pubblicazioni scientifiche (OLSON *et al.*, 1983, 1985; BUWALDA, LENZ, 1992; HITZ *et al.*, 2001; ANTHONI *et al.*, 2004a; SUIKER *et al.*, 2004; MAYER *et al.*, 2005).

Per stimare i CP, i valori di peso secco sono stati moltiplicati per un fattore di conversione pari a 0.5 (KORT, TURNOCK, 1999; LE MAIRE *et al.*, 2005).

Stima dei flussi di carbonio

Al fine di stimare i flussi annuali di CO₂ tra ecosistemi ad atmosfera è stato stimato il *Net Ecosystem carbon Exchange* (NEE), o flusso ecosistemico netto di carbonio. Per convenzione valori negativi di NEE rappresentano un sequestro netto di anidride carbonica da parte di un ecosistema, mentre valori positivi indicano un'emissione netta di CO₂ in atmosfera. Il NEE può essere calcolato sottraendo la respirazione (R) alla produzione primaria lorda (Gross Primary Production o GPP). R e GPP sono stati ricavati tramite i due seguenti modelli (VAN DIJK *et al.*, 2005):

$$GPP = - 5.13 \ln(LAI) - 2.13 \ln(Q_{avg}) - 3.29 \ln(T_{avg}) + 0.33$$

$$R = 4.87 \ln(T_{avg}) - 1.98 \ln(Q_{avg}) - 2.35 \ln(LAI) + 7.37$$

dove LAI è il Leaf Area Index, Q_{avg} è l'insolazione annua (espressa in $GJ a^{-1}$) e T_{avg} è la temperatura media annua (espressa in °C). Gli strati informativi relativi a Q_{avg} e T_{avg} sono stati ricavati da RAIMONDI (2003).

Per le vegetazioni non arboree i dati di NEE sono stati desunti da diverse pubblicazioni scientifiche (FRANK, DUGAS, 2001; BUBIER *et al.*, 2002; FLANAGAN *et al.*, 2002; BARCZA *et al.*, 2003; ANTHONI *et al.*, 2004a, b; WELKER *et al.*, 2004). Tali dati sono stati attribuiti ai relativi poligoni della carta di uso del suolo e della vegetazione.

RISULTATI E DISCUSSIONE

Carbonio organico nei suoli

I suoli disposti lungo le aste fluviali dei principali corsi d'acqua lombardi denotano un elevato contenuto di carbonio organico, mentre nelle restanti aree planiziali, laddove sono presenti estese aree agricole, sono generalmente più poveri in carbonio. In ambito collinare e submontano la pedosfera si arricchisce progressivamente in carbonio organico, in quanto cambiano le tipologie di suolo rispetto all'ambito planiziale, ma soprattutto in quanto varia la copertura vegetale rappresentata in prevalenza da boschi di latifoglie e di conifere, in genere più ricchi di carbonio (POULTON *et al.*, 2003).

I suoli che si caratterizzano per un maggiore contenuto medio di carbonio organico sono rappresentati dagli *Histosols* ($60.4 \text{ kg}_{\text{OC}} \text{ m}^{-2}$), seguiti dai *Gleysols* ($27.6 \text{ kg}_{\text{OC}} \text{ m}^{-2}$). *Vertisols*, *Podzols* e *Umbrisols* denotano un buon tenore di carbonio organico (rispettivamente 18.5 , 17.7 e $16.8 \text{ kg}_{\text{OC}} \text{ m}^{-2}$), soprattutto se coperti da boschi di conifere. *Cambisols*, *Calcisols*, *Regolsols* e *Luvissols* si caratterizzano per una densità media di carbonio organico relativamente bassa (rispettivamente 13.2 , 11.7 , 11.0 e $10.4 \text{ kg}_{\text{OC}} \text{ m}^{-2}$); tuttavia i *Luvissols* insieme ai *Cambisols* sequestrano il 52.8% del carbonio organico nei suoli lombardi e il 39.5% di quello nei suoli dei Parchi, in quanto rappresentano i tipi di suolo con la maggior estensione a livello regionale. *Arenosols* e *Leptosols* si contraddistinguono per i valori più bassi di carbonio organico, con i secondi che raggiungono valori inferiori a $10 \text{ kg}_{\text{OC}} \text{ m}^{-2}$. La dotazione di carbonio organico sequestrato nei suoli della Lombardia (sino a 1 metro di profondità) è stata stimata in $239.5 \text{ Tg}_{\text{OC}}$, per una densità media di $10.0 \text{ kg}_{\text{OC}} \text{ m}^{-2}$ (Fig. 2).

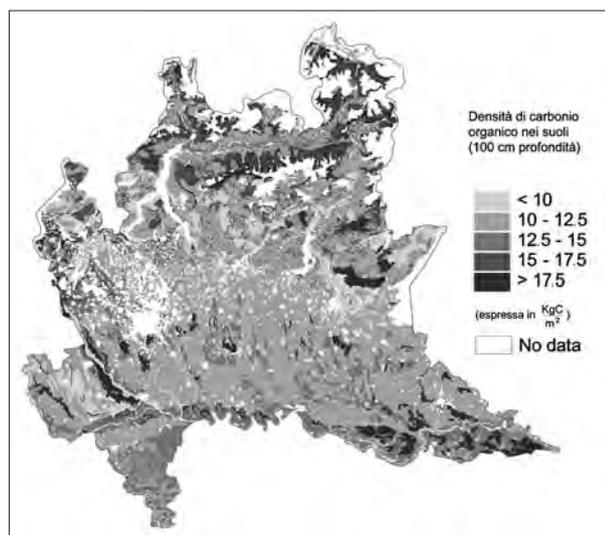


Fig. 2
Carta della densità di carbonio organico nei suoli (100 cm di profondità).
Map of soils organic carbon density (100 cm depth).

I Parchi sequestrano nel loro complesso circa $51.5 \text{ Tg}_{\text{OC}}$ (densità media $10.2 \text{ kg}_{\text{OC}} \text{ m}^{-2}$), pari al 21.5% del totale regionale. DIXON *et al.* (1994) indicano per gli ecosistemi forestali europei una densità media di carbonio organico nel suolo pari $9.0 \text{ kg}_{\text{OC}} \text{ m}^{-2}$, mentre un recente rapporto della FAO (2006) riporta un valore di $11.3 \text{ kg}_{\text{OC}} \text{ m}^{-2}$, entrambi in linea con i valori ottenuti nel presente studio.

Carbonio nella vegetazione

Le vegetazioni arboree che si caratterizzano per i valori più elevati di carbonio per ettaro, sono rappresentate da impianti artificiali, come pioppeti (49.6 kgC m^{-2}) e boschi di conifere esotiche (30.1 kgC m^{-2}). In entrambi i casi gli elevati valori di densità di

carbonio sono imputabili alle densità di impianto, superiori a quelle dei boschi naturali, ed al tipo di gestione che comprende anche scalature e concimazioni, volte ad aumentare la fitomassa e conseguentemente il carbonio per unità di superficie. Tra i boschi naturaliformi, i boschi igrofilo si caratterizzano per tenori elevati di carbonio per ettaro (25.6 kgC m^{-2}) e contribuiscono percentualmente in misura maggiore al sequestro del carbonio all'interno dei Parchi rispetto al resto del territorio regionale (+2.7%). I boschi di latifoglie mesofile e mesotermofile, che si contraddistinguono per tenori intermedi di carbonio (15.1 kgC m^{-2}), determinano un contributo al sequestro regionale nella fitomassa pari a 33.5 TgC . Tuttavia essi sono in proporzione meno rappresentati nei Parchi rispetto al resto del territorio (-19.9%). La fitomassa dei castagneti, quantunque molto variabile in funzione del tipo di gestione forestale, presenta in media un buon tenore di carbonio per ettaro (13.3 kgC m^{-2}). I castagneti nel complesso forniscono un contributo alle fitomasse delle aree protette proporzionalmente inferiore rispetto al restante territorio lombardo (-4.4%). Le peccete e le abetine in termini di carbonio sequestrato hanno una notevole importanza a livello regionale (17.8%), ma ancor più nei Parchi, dove rappresentano il 30.2% del carbonio della vegetazione (Tab. 2).

TABELLA 2

Percentuali di sequestro di carbonio organico (%OC) e di superficie occupata per tipo di vegetazione e/o uso del suolo in Lombardia e nei Parchi.

Percent of carbon sequestration (%OC) and area for each type of vegetation and/or soil use in Lombardy and Parks.

Vegetazione e/o uso del suolo	Lombardia		Parchi	
	%OC	%Area	%OC	%Area
Boschi a <i>Picea excelsa</i> e/o <i>Abies alba</i>	17.8	(7.7)	30.2	(15.4)
Boschi a <i>Castanea sativa</i>	7.0	(2.8)	3.6	(1.8)
Boschi di conifere esotiche	0.1	(0.0)	0.3	(0.1)
Boschi a <i>Fagus sylvatica</i>	7.6	(3.6)	6.3	(3.4)
Boschi a <i>Larix decidua</i> e/o <i>Pinus cembra</i>	2.8	(1.5)	4.9	(3.1)
Boschi di latifoglie esotiche	1.5	(0.6)	2.7	(1.2)
Boschi di latifoglie mesofile e mesotermofile	33.6	(11.8)	18.4	(7.6)
Boschi a <i>Quercus ilex</i>	<0.1	(0.0)	0.2	(0.1)
Boschi di pini montani ed oromediterranei	2.8	(1.1)	5.6	(2.5)
Boschi di querce caducifoglie	1.7	(0.8)	3.3	(1.8)
Boschi igrofilo	1.1	(0.2)	3.1	(0.7)
Brughiere, cespuglieti ed arbusteti	0.6	(3.2)	0.9	(5.3)
Praterie	1.3	(5.4)	1.6	(7.8)
Prati stabili	0.6	(2.3)	0.4	(1.9)
Paludi	<0.1	(0.1)	0.1	(0.4)
Pioppeti	12.8	(1.4)	12.6	(1.6)
Frutteti, vigneti ed oliveti	0.1	(1.0)	<0.1	(0.1)
Risaie	1.0	(6.3)	1.0	(8.0)
Seminativi non irrigui	6.6	(43.6)	4.3	(33.4)
Zone agricole eterogenee	1.0	(6.6)	0.5	(3.8)

Le faggete ed i boschi di querce caducifoglie si caratterizzano per valori di carbonio per ettaro più bassi rispetto alle vegetazioni sopra menzionate. Questi valori sono probabilmente imputabili allo sfruttamento forestale di queste vegetazioni per la produzione di legna da ardere oppure, nel caso delle querce, al diffuso stato di sofferenza di queste specie (THOMAS *et al.*, 2002; RAGAZZI *et al.*, 2003), con conseguente misure di ridotti valori di LAI e pertanto stima di bassi valori di biomassa fogliare e radicale.

Nel loro complesso le vegetazioni lombarde sequestrano 99.5 TgC, per una densità media pari a 4.2 kgC m⁻². Le vegetazioni all'interno dei Parchi con 23.5 TgC (densità media pari a 4.7 kgC m⁻²) contribuiscono per il 23.6% al sequestro totale regionale. Quest'ultima percentuale è leggermente più elevata rispetto a quella relativa al sequestro di carbonio organico nei suoli, in quanto la fitomassa forestale è concentrata per la maggior parte a quote mediamente elevate, proprio laddove i Parchi sono percentualmente meglio rappresentati rispetto alla restante parte del territorio regionale.

Net Ecosystem carbon Exchange

L'integrazione dei valori di Net Ecosystem carbon Exchange, ricavati dai modelli per le vegetazioni forestali e dalla letteratura per le vegetazioni non arboree, ha permesso la spazializzazione dei dati e la creazione della carta del NEE (Fig. 3).

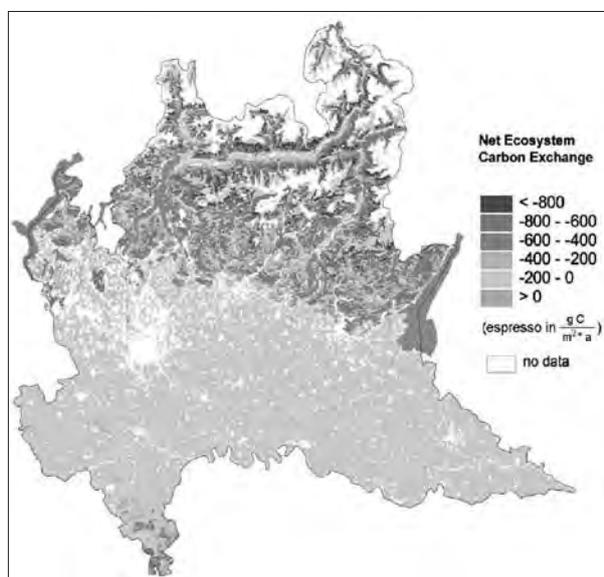


Fig. 3

Stima del flusso ecosistemico netto di anidride carbonica. Evaluation of Net Ecosystem carbon Exchange.

Dalla carta si può notare come il NEE presenti valori bassi, ovvero fortemente negativi (elevato sequestro di anidride carbonica), nella porzione settentrionale del territorio lombardo e nella porzione appenninica dell'Oltrepò Pavese, grazie alla presenza di estese formazioni boschive.

In particolare, i boschi a *Picea excelsa* e/o *Abies alba* denotano un valore di NEE medio pari a -715 gC m⁻² a⁻¹, mentre i boschi a *Larix decidua* e/o *Pinus cembra* si contraddistinguono per valori leggermente superiori, pari a -621 gC m⁻² a⁻¹. Come gli altri boschi di conifere, essi presentano NEE notevolmente bassi in relazione ai valori elevati di LAI che caratterizzano i boschi di conifere.

Il valore medio di NEE ricavato dai modelli per i boschi di faggio è pari a -498 gC m⁻² a⁻¹, valore che ben si accorda con i dati di KNOHL *et al.* (2003), che riporta per le faggete tedesche valori di -490 e di -494 gC m⁻² a⁻¹. I boschi di castagno presentano un NEE medio pari a -499 gC m⁻² a⁻¹. I boschi di latifoglie mesofile e mesotermofile (frassineti e ostrieti) rappresentano vegetazioni estremamente eterogenee il cui NEE medio è stato stimato in -363 gC m⁻² a⁻¹. I boschi di querce caducifoglie hanno mostrato un valore medio di NEE meno negativo, pari a -99 gC m⁻² a⁻¹. Questo dato è da mettere in relazione ai valori relativamente bassi di LAI misurati in campo, come già indicato per la stima del OC. Il valore di NEE per i boschi a *Quercus ilex* è di -735 gC m⁻² a⁻¹, valore in sintonia con quello riportato da VAN DIJK, DOLMAN (2004) per una stazione nel Lazio (-610 gC m⁻² a⁻¹). È importante notare come formazioni boschive di specie esotiche abbiano valori di NEE in genere inferiori rispetto alle vegetazioni originali di una determinata area. Infatti, i boschi di conifere esotiche (*Pinus strobus*) si contraddistinguono per un valore medio di NEE pari a -726 gC m⁻² a⁻¹, mentre per i boschi di latifoglie esotiche (*Robinia pseudoacacia*) è stato stimato un valore pari a -192 gC m⁻² a⁻¹.

Sulla base di dati di NEE riportati in letteratura (GOULDEN *et al.*, 1996; CHEN *et al.*, 1999; GRANIER *et al.*, 2000; VALENTINI *et al.*, 2000; PILEGAARD *et al.*, 2001; WILSON *et al.*, 2001; GRANIER *et al.*, 2002; LAW *et al.*, 2002; SAIGUSA *et al.*, 2002; CARRARA *et al.*, 2003; KNOHL *et al.*, 2003; NAKAI *et al.*, 2003; ANTHONI *et al.*, 2004b; BARR *et al.*, 2004; VAN DIJK, DOLMAN, 2004), il valori medio per i boschi di latifoglie della fascia temperata è di -270 gC m⁻² a⁻¹ e la deviazione standard è di 153 gC m⁻² a⁻¹ (valori riferiti a 19 siti distinti). Sempre sulla base di dati bibliografici (HASSIKA, BERBIGIER, 1998; ANTHONI *et al.*, 1999; ARNETH *et al.*, 1999; BERBIGIER *et al.*, 2001; CHEN *et al.*, 2002; DOLMAN *et al.*, 2002; LAW *et al.*, 2002; CARRARA *et al.*, 2003; HIRANO *et al.*, 2003; ANTHONI *et al.*, 2004b; CLARK *et al.*, 2004; MORGENSTERN *et al.*, 2004; PAW *et al.*, 2004; SCOTT *et al.*, 2004; VAN DIJK, DOLMAN, 2004) si ricava un valore medio di NEE per i boschi di conifere della fascia temperata di -397 gC m⁻² a⁻¹ e una deviazione standard di 179 gC m⁻² a⁻¹ (valori riferiti a 17 siti distinti). Occorre notare come i valori di NEE stimati per le formazioni forestali con il modello di VAN DIJK *et al.* (2005) sono generalmente più bassi rispetto ai valori di NEE riportati in letteratura, misurati grazie a stazioni di monitoraggio dei flussi di CO₂, che utilizzano la tecnica della correlazione turbolenta (eddy covariance). Plausibilmente queste differenze sono da mettere in relazione al modello di insola-

zione annua impiegato, che considera le giornate come prive di fenomeni meteorologici che riducono la radiazione solare che giunge a terra, come la presenza di nubi e nebbie.

Poiché l'insolazione annua presenta coefficienti negativi sia nel modello della respirazione sia in quello della produzione primaria lorda, incrementi di questo fattore determinano complessivamente una riduzione del NEE, ovvero una sovrastima del sequestro di carbonio nelle vegetazioni forestali.

La regione pianiziale, interessata prevalentemente da agroecosistemi, presenta un NEE medio relativamente basso ($-200 \text{ gC m}^{-2} \text{ a}^{-1}$). In realtà il contributo dei coltivi andrebbe ritenuto positivo, in quanto i prodotti agricoli sono prelevati con cadenza annuale o infrannuale; il carbonio sarebbe quindi liberato in atmosfera altrove e non fissato in loco. Ad esempio, ANTHONI *et al.* (2004a) riportano per coltivazioni di *Triticum aestivum* in Germania valori di NEE pari a -245 e $-185 \text{ gC m}^{-2} \text{ a}^{-1}$; considerando però l'asportazione dall'agroecosistema del raccolto, questi valori passano rispettivamente a 45 e $105 \text{ gC m}^{-2} \text{ a}^{-1}$.

Complessivamente il NEE totale a livello regionale è pari a $-4.6 \text{ TgCO}_2 \text{ a}^{-1}$ con un contributo dei Parchi di $-1.1 \text{ TgCO}_2 \text{ a}^{-1}$, che rappresenta circa il 23.5% del totale. Le emissioni di anidride carbonica da fonti antropiche nel 2001 in Lombardia sono state stimate in 71.5 TgC a^{-1} (ARPA, 2001). Il sequestro di CO_2 da parte della vegetazione lombarda, stimato nel presente studio, compensa quindi solo il 6.5% delle emissioni antropiche. JANSSEN *et al.* (2003) riportano percentuali di compensazione variabili tra 7% e 12% per la vegetazione europea; il valore minore ottenuto dal presente lavoro per la Lombardia è probabilmente da riferire alle emissioni di anidride carbonica, decisamente più elevate rispetto alla media europea (EEA, 2006).

Il sequestro annuo di anidride carbonica da parte della vegetazione dei Parchi rappresenta solamente l'1.5 % delle emissioni antropiche regionali.

CONCLUSIONI

Il presente studio dimostra che i Parchi regionali della Lombardia si caratterizzano per dotazioni di carbonio nei suoli e nella vegetazione (rispettivamente 21.5% e 23.6%) leggermente superiori rispetto alla superficie occupata (21.0%). Lo stesso si può affermare per il flusso ecosistemico netto di anidride carbonica (23.5%). I Parchi, nei quali non dovrebbero esistere pressanti esigenze nell'uso del suolo, possono rappresentare comunque un'opportunità non solo per la protezione della biodiversità, ma anche per l'incremento e la conservazione dei CP. In particolare il ripristino di agroecosistemi degradati (LAL, 2004), una corretta gestione delle pratiche agricole (HAO *et al.*, 2001) ed un'eventuale conversione di campi abbandonati in sistemi boscati (POULTON *et al.*, 2003) potrebbero notevolmente incrementare i CP nei Parchi. Inoltre l'avviamento della vegetazione attuale verso la vegetazione potenziale ed al tempo stesso il ripristino (o la creazione) di vegetazioni non

climatiche, come torbiere e paludi, rappresentano nuove prospettive per la gestione ed il miglioramento delle dotazioni di carbonio organico nei suoli e nella fitomassa. Tuttavia occorre notare che la capacità dei CP è limitata (SIX *et al.*, 2002) e che eventuali interventi di variazione nell'uso del suolo possono avere importanti effetti sulla biodiversità. Questo aspetto deve essere debitamente preso in considerazione soprattutto per quanto concerne i Parchi lombardi, il cui territorio è occupato per circa il 35% da SIC (Siti di Importanza Comunitaria), ZSC (Zone speciali di Conservazione) e ZPS (Zone di Protezione speciale), istituiti prioritariamente per la conservazione della biodiversità, ai sensi delle direttive 79/409/CEE e 92/43/CEE. Il presente lavoro dimostra la possibilità di stimare i *carbon pools* nel suolo e nella vegetazione ed i flussi annui di anidride carbonica, attraverso un metodo semplice e riproducibile, basato sull'utilizzo di alcuni modelli proposti in letteratura e di banche dati esistenti.

Ringraziamenti - Questo studio è stato finanziato dalla Regione Lombardia (Direzione Generale Qualità dell'Ambiente - Unità Operativa Parchi ed Aree Protette) tramite il Centro Regionale per la Flora Autoctona (CFA).

LETTERATURA CITATA

- ANTHONI P.M., FREIBAUER A., KOLLE O., SCHULZE E.D., 2004a - *Winter wheat carbon exchange in Thuringia, Germany*. *Agr. Forest Meteorol.*, 121: 55-67.
- ANTHONI P.M., KNOHL A., REBMAN C., FEIBAUER A., MUND M., ZIEGLER W., KOLLE O., SCHULZE E.D., 2004b - *Forest and agricultural land-uses-dependent CO₂ exchange in Thuringia, Germany*. *Glob. Change Biol.*, 10: 1-15.
- ANTHONI P.M., LAW B.E., UNSWORTH M.H., 1999 - *Carbon and water vapor exchange of an open-canopied ponderosa pine ecosystem*. *Agr. Forest Meteorol.*, 95: 151-168.
- APAT, 2005 - *CORINE land cover 2000*. (<http://www.mais.sinanet.apat.it/cartanetclc2000/clc2000/index.asp>).
- ARNETH F.M., KELLIHER F.M., MCSEVENY T.M., BYERS A.N., 1999 - *Assessment of annual carbon exchange in a water-stressed Pinus radiata plantation: An analysis based on eddy covariance measurements and an integrated biophysical model*. *Glob. Change Biol.*, 5 (5): 531-545.
- ARPA, 2001 - *Progetto INEMAR (INventario EMissioni ARia)*. Download 21-11-2005 sito <http://www.ambiente.regione.lombardia.it/inemar/proge.htm>.
- ARROUAYS D., DESLAIS W., BADEAU V., 2001 - *The carbon content of topsoil and its geographical distribution in France*. *Soil Use Manage.*, 17: 7-11.
- BARCZA Z., HASZPRA L., KONDO H., SAIGUSA N., YAMAMOTO S., BARTHOLY J., 2003 - *Carbon exchange of grass in Hungary*. *Tellus B*, 55 (2): 187-196.
- BARR A.G., BLACK T.A., HOGG E.H., KLJUN N., MORGENSTERN K., NESIC Z., 2004 - *Inter-annual variability in the leaf area index of a boreal aspen-hazelnut forest in relation to net ecosystem production*. *Agr. Forest Meteorol.*, 126: 237-255.
- BATJES N.H., 1996 - *Total carbon and nitrogen in the soils of the world*. *Eur. J. Soil Sci.*, 47: 151-163.
- BERBIGIER P., BONNEFOND J., MELLMANN P., 2001 - *CO₂ and water vapour fluxes for 2 years above Euroflux forest site*. *Agr. Forest Meteorol.*, 108: 183-197.
- BUBIER J., CRILL P., MOSEDALE A., 2002 - *Net Ecosystem CO₂ exchange measured by autochambers during the*

- snow-covered season at a temperate peatland. *Hydrol. Process.*, 16: 3667-3682.
- BÜTTNER G., FERANEC J., JAFFRAIN G., 2002 - *Corine land cover update 2000: Technical guidelines*. Technical report n. 89. EEA, Copenhagen.
- BUWALDA J.G., LENZ F., 1992 - *Effects of cropping, nutrition and water supply on accumulation and distribution of biomass and nutrients for apple trees on "M9" root systems*. *Physiol. Plantarum*, 84: 21-28.
- CARRARA A., KOWALSKI A.S., NEIRYNCK J., JANSSENS I.A., YUSTE J.C., CEULEMANS R., 2003 - *Net ecosystem CO₂ exchange of mixed forest in Belgium over 5 years*. *Agr. Forest Meteorol.*, 119 (3-4): 209-227.
- CHEN W.J., BLACK T.A., YANG P.C., BARR A.G., NEUMANN H.H., NESIC Z., BLANKEN P.D., NOVAK M.D., ELEY J., KETTLER R.J., CUENCA R., 1999 - *Effects of climatic variability on the annual carbon sequestration by a boreal aspen forest*. *Glob. Change Biol.*, 5: 41-53.
- CHEN J., FALK M., EUSKIRCHEN E., PAW U.K.T., SUCHANEK T.H., USTIN S.L., BOND B.J., BROSOEKE K.D., PHILLIPS N., RUCHENG B., 2002 - *Biophysical controls of carbon flows in three successional Douglas-fir stands based on eddy-covariance measurements*. *Tree Physiol.*, 22: 169-177.
- CLARK K.L., GHOLZ H.L., CASTRO M.S., 2004 - *Carbon dynamics along a chronosequence of slash pine plantations in north Florida*. *Ecol. Appl.*, 14 (4): 1154-1171.
- DEL FAVERO *et al.*, 2002 - *I tipi forestali della regione Lombardia*. Cierre edizioni.
- DIXON R.K., BROWN S., HOUGHTON R.A., SOLOMON A.M., TREXLER M.C., WISNIEWSKI J., 1994 - *Carbon pools and flux of global forest ecosystems*. *Science*, 263 (5144): 185-190.
- DOLMAN A.J., MOORS E.J., ELBERS J.A., 2002 - *The carbon uptake of a mid latitude pine forest growing on sandy soil*. *Agr. Forest Meteorol.*, 111: 157-170.
- EEA, 2006 - *Annual european community greenhouse gas inventory 1990-2004 and inventory report 2006*. Submission to the UNFCCC secretariat. EEA Technical Report 6/2006, Copenhagen, 2006.
- ERSAF, 2004 - *Carta dei suoli - Scala 1:250000*.
- ERSAL, 1988a - *I suoli del parco "pineta di Appiano Gentile e Tradate" ed aree limitrofe*. ERSAL.
- , 1988b - *I suoli della bassa pianura bresciana fra i fiumi Mella e Chiese*. ERSAL.
- , 1990 - *I suoli dell'isola bergamasca*. ERSAL.
- , 1991a - *I suoli del parco del Ticino abbiatense*. ERSAL.
- , 1991b - *I suoli della pianura ostigliese*. ERSAL.
- , 1991c - *I suoli della provincia bresciana orientale*. ERSAL.
- , 1991d - *I suoli dell'Oltropò mantovano - destra Secchia*. ERSAL.
- , 1992a - *I suoli del Calasco*. ERSAL.
- , 1992b - *I suoli del fondovalle valtellinese*. ERSAL.
- , 1992c - *I suoli del Parco del Ticino - settore settentrionale*. ERSAL.
- , 1992d - *I suoli del Viadanese*. ERSAL.
- , 1992e - *I suoli dell'hinterland bergamasco*. ERSAL.
- , 1993a - *I suoli del Parco Agricolo sud Milano*. ERSAL.
- , 1993b - *I suoli della Omellina settentrionale*. ERSAL.
- , 1993c - *I suoli della pianura bresciana centrale*. ERSAL.
- , 1994a - *I suoli del bacino del torrente Bitto di Gerola*. ERSAL.
- , 1994b - *I suoli del fondovalle dalle Valchiavenna*. ERSAL.
- , 1996 - *I suoli del Trevigliese*. ERSAL.
- ESWARAN H., VAN DER BERG E., REICH P., 1993 - *Organic carbon in soils of the world*. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 57: 192-194.
- FAO, 2006 - *Global Forest Resources Assessment 2005. Progress towards sustainable forest management*. FAO Forestry Paper n. 147. FAO, Rome.
- FAO/ISRIC/ISSS, 1998 - *World reference base for soil resources*. World Soil Resources Report n. 84. FAO, Rome.
- FLANAGAN L.B., WEVER L.A., CARLSON P.J., 2002 - *Seasonal and interannual variation in carbon dioxide exchange and carbon balance in a northern temperate grassland*. *Glob. Change Biol.*, 8: 599-615.
- FRANK A.B., DUGAS W.A., 2001 - *Carbon dioxide fluxes over a northern, semiarid, mixed grass prairie*. *Agr. Forest Meteorol.*, 108: 317-326.
- GANUZA A., ALMENDROS G., 2003 - *Organic carbon storage in soils of the Basque Country (Spain): the effect of climate, vegetation type and edaphic variables*. *Biol. Fert. Soils*, 37: 154-162.
- GOULDEN M.L., MUNGER J.W., FAN S.-M., DAUBE B.C., WOFSEY S.C., 1996 - *Measurements of carbon sequestration by long-term eddy covariance: methods and a critical evaluation of accuracy*. *Glob. Change Biol.*, 2: 169-182.
- GOWER S.T., NORMAN J.M., 1991 - *Rapid estimation of Leaf Area Index in conifer and broadleaf plantations*. *Ecology*, 72 (5): 1896-1900.
- GRANIER A., CESCHIA E., DAMESIN C., DUFRÈNE E., EPON D., GROSS P., LÉBAUBE S., LE DANTEC V., LE GOFF N., LEMOINE D., LUCOT E., OTTORINI J.M., PONTAILLER J.Y., SAUGIER B., 2000 - *The carbon balance of a young beech forest*. *Funct. Ecol.*, 14: 312-325.
- GRANIER A., PILEGAARD K., JENSEN N.O., 2002 - *Similar net ecosystem exchange of beech stands located in France and Denmark*. *Agr. Forest Meteorol.*, 114: 75-82.
- HAO X., CHANG C., LINDWALL C.W., 2001 - *Tillage and crop sequence effects on organic carbon and total nitrogen content in an irrigated Alberta soil*. *Soil Till. Res.*, 62: 167-169.
- HASSIKA P., BERBIGIER P., 1998 - *Annual cycle of photosynthetically active radiation in maritime pine forest*. *Agr. Forest Meteorol.*, 90: 157-171.
- HIRANO T., HIRATA R., FUJINUMA Y., SAIGUSA N., YAMAMOTO S., HARAZONO Y., TAKADA M., INUKAI K., INOUE G., 2003 - *CO₂ and water vapor exchange of a larch forest in northern Japan*. *Tellus B*, 55 (2): 244-257.
- HITZ C., EGLI M., FITZE P., 2001 - *Below-ground and above-ground production of vegetational organic matter along a climosequence in alpine grasslands*. *J. Plant Nutr. Soil Sci.*, 164: 389-397.
- HODGSON J.G., WILSON P.J., HUNTER R., GRIME J.P., THOMPSON K., 1999 - *Allocating C-S-R plant functional types: a soft approach to a hard problem*. *Oikos*, 85: 282-294.
- HOWARD P.J.A., LOVELAND P.J., BRADLEY R.I., DRY F.T., HOWARD D.M., HOWARD D.C., 1995 - *The carbon content of soil and its geographical distribution in Great Britain*. *Soil Use Manag.*, 11: 9-15.
- ISTAT, 1990 - *Le regioni in cifre*. ISTAT, Roma.
- JANSSEN I.A., FREIBAUER A., CIAIS P., SMITH P., NABUURS G.J., FOLBERTH G., SCHLAMADINGER B., HUTJES R.W.A., CEULEMANS R., SCHULZE E.D., VALENTINI R., DOLMAN A.J., 2003 - *Europe's terrestrial biosphere absorbs 7 to 12 % of European anthropogenic CO₂ emissions*. *Science*, 300: 1538-1542.
- JÖBBÄG E.G., JACKSON R.B., 2000 - *The vertical distribution of soil organic carbon and its relation to climate and vegetation*. *Ecol. Appl.*, 10 (2): 423-436.

- JONES R.J.A., HIEDERER R., RUSCO E., MONTANARELLA L., 2005 - *Estimating organic carbon in the soils of Europe for policy support*. Eur. J. Soil Sci., 56: 655-671.
- KNOHL A., SCHULZE E.D., KOLLE O., BUCHMANN N., 2003 - *Large carbon uptake by an unmanaged 250 years old deciduous forest in Central Germany*. Agr. Forest Meteorol., 118: 151-167.
- KORT J., TURNOCK R., 1999 - *Carbon reservoir and biomass in Canadian prairie shelterbelts*. Agroforest. Syst., 4: 175-186.
- LAL R., 2004 - *Agricultural activities and the global carbon cycle*. Nutr. Cycl. Agroecosyst., 70: 103-116.
- LAW B.E., FALGE E., GU L., BALDOCCHI D.D., BAKWIN P., BERBIGIER P., DAVIS K., DOLMAN A.J., FALK M., FUENTES J.D., GOLDSTEIN A., GRANIER A., GRELE A., HOLLINGER D., JANSSENS I.A., JARVIS P., JENSEN N.O., KATUL G., MAHLI Y., MATTEUCCI G., MEYERS T., MONSON R., MUNGER W., OECHEL W., OLSON R., PILEGAARD K., PAW U.K.T., THORGEIRSSON H., VALENTINI R., VERMA S., VESALE T., WILSON K., WOFSY S., 2002 - *Environmental controls over carbon dioxide and water vapor exchange of terrestrial vegetation*. Agr. Forest Meteorol., 113: 97-120.
- LE MAIRE G., DAVI H., SOUDANI K., FRANCOIS C., LE DANTEC C., DUFRENE E., 2005 - *Modelling annual production and carbon fluxes of a large managed temperate forest using forest inventories, satellite data and field measurements*. Tree Physiol., 25: 859-872.
- LEIFELD J., BASSIN S., FUHRER J., 2005 - *Carbon stocks in Swiss agricultural soils predicted by landuse, soil characteristics and altitude*. Agr. Ecosyst. Environ., 105: 255-266.
- LIU W.H., BRYANT D.M., HUTYRA L.R., SALESKA S.R., HAMMOND-PYLE E., CURRAN D., WOFSY S.C., 2006 - *Woody debris contribution to the carbon budget of selectively logged and maturing mid-latitude forests*. Oecologia, 148: 108-117.
- MAYER P., HEINDL-TENHUNEN B., TENHUNEN J., 2005 - *Bestandeshohen messungen zur charakterisierung von Grünland auf landschaftsebene* - ETH, Eidgenössische Technische Hochschule Zurich, Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft.
- MATTHEWS E., 1997 - *Global litter production, pools, and turnover times: Estimates from measurement data and regression models*. J. Geophys. Res., Vol. 102, D15: 18771-18800.
- MORGENSTERN K., BLACK T.A., HUMPHREYS E.R., GRIFFIS T.J., DREWITT G.B., CAI T.B., NESIC Z., SPITTLEHOUSE D.L., LIVINGSTONE N.J., 2004 - *Sensitivity and uncertainty of the carbon balance of a Pacific Northwest Douglas Fir forest during El Nino La Nina cycle*. Agr. Forest Meteorol., 123 (3-4): 201-219.
- NAKAI Y., KITAMURA K., SUZUKI S., ABE S., 2003 - *Year-long carbon dioxide exchange above a broadleaf deciduous forest in Sapporo, Northern Japan*. Tellus B, 55(2): 305-312.
- OLSON J.S., WATTS J.A., ALLISON L.J., 1983 - *Carbon in live vegetation of major world ecosystems (ORNL-5862)*. Environmental sciences Division, Oak Ridge National Laboratories, Oak Ridge, Tennessee.
- , 1985 - *Major world ecosystem complexes ranked by carbon in live vegetation (NDP-017)*. Carbon dioxide Information Center. Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, Tennessee.
- PAW U.K.T., FALK M., SUCHANEK T.H., USTIN S.L., CHEN J., PARK Y.-S., WINNER W.E., THOMAS S.C., HSIAO T.C., SHAW R.H., KING T.S., PYLES R.D., SCHROEDER M., MATISTA A.A., 2004 - *Carbon dioxide exchange between an old-growth forest and the atmosphere*. Ecosystems, 7: 513-524.
- PIGNARD G., DUPOUEY J.L., ARROUAYS D., LOUSTAU D., 2000 - *Carbon stocks estimates for French forests*. Biotechnol. Agron. Soc. Environ., 4: 285-289.
- PILEGAARD K., HUMMELSHOJ P., JENSEN N.O., CHEN Z., 2001 - *Two years of continuous CO2 eddy-flux measurements over a Danish beech forest*. Agr. Forest Meteorol., 107(1): 29-41.
- POST W.M., EMANUEL W.R., ZINKE P.J., STENGEBERGER A.G., 1982 - *Soil carbon pools and world life zones*. Nature, 298: 156-159.
- POULTON P.R., PYE E., HARGREAVES P.R., JENKINSON D.S., 2003 - *Accumulation of carbon and nitrogen by old arable land reverting to woodland*. Glob. Change Biol., 9: 942-955.
- RAGAZZI A., MORICCA S., CAPRETTI P., DELLAVALLE I., TURCO E., 2003 - *Differences in composition of endophytic mycobiota in twigs and leaves of healthy and declining Quercus species in Italy*. Forest Pathol., 33 (1): 31-38.
- RAIMONDI B., 2003 - *Modellizzazione della distribuzione potenziale di specie e vegetazioni delle Alpi italiane ai fini della valutazione dei possibili impatti dei cambiamenti climatici*. Dott. ricerca - XV ciclo - Univ. Insubria, Varese.
- RODRIGUEZ-MURILLO J.C., 2001 - *Organic carbon content under different types of land use and soil in peninsular Spain*. Biol. Fert. Soils, 33: 53-61.
- SAIGUSA N., YAMAMOTO S., MURAYAMA S., KONDO H., NISHIMURA N., 2002 - *Gross primary production and net ecosystem exchange of a cool-temperate deciduous forest estimated by the eddy covariance method*. Agr. Forest Meteorol., 112: 203-215.
- SCOTT N.A., RODRIGUES C.A., HUGHES H., LEE J.T., DAVIDSON E.A., DAIL D.B., MALERBA P., HOLLINGER D.Y., 2004 - *Changes in carbon storage and net carbon exchange one year after an initial shelterwood harvest at Howland Forest, ME*. Environ. Manag., 33: S9-S22.
- SIX J., CONANT R.T., PAUL E.A., PAUSTIAN K., 2002 - *Stabilization mechanisms of soil organic matter: Implications for C-saturation of soils*. Plant Soil, 241: 155-176.
- SUYKER A.E., VERMA S.B., BURBA G.G., ARKEBAUER T.J., WALTERS D.T., HUBBARD K.G., 2004 - *Growing season carbon dioxide exchange in irrigated and rainfed maize*. Agr. Forest Meteorol., 124: 1-13.
- TAN Z.X., LAL R., SMECK N.E., CALHOUN F.G., 2004 - *Relationships between surface soil organic carbon pool and site variables*. Geoderma, 121: 187-195.
- THOMAS F.M., BLANK R., HARTMANN G., 2002 - *Abiotic and biotic factors and their interactions as causes of oak decline in Central Europe*. Forest Pathol., 32 (4-5): 277-307.
- VALENTINI R., MATTEUCCI G., DOLMAN A.J., SCHULZE E.-D., REBMANN C., MOORS E.J., GRANIER A., GROSS P., JENSEN N.O., PILEGAARD K., LINDROTH A., GRELE A., BERNHOFER C., GRUNWALD T., AUBINET M., CEULEMANS R., KOWALSKI A.S., VESALE T., RANNIK Ü., BERBIGIER P., LOUSTAU D., GUDMUNDSSON J., THOGEIRSSON H., IBROM A., MORGENSTERN K., CLEMENT R., MONCRIEFF J., MONTEGNANI L., MINERBI S., JARVIS P., 2000 - *Respiration as the main determinant of carbon balance in European forests*. Nature, 404: 861-865.
- VAN DIJK A.I.J.M., DOLMAN A.J., 2004 - *Estimates of CO2 uptake and release among European forests based on eddy covariance data*. Glob. Change Biol., 10: 1445-1459.
- VAN DIJK A., DOLMAN A.J., SCHULZE E., 2005 - *Radiation, temperature and leaf area explain ecosystem*

- carbon fluxes in boreal and temperate European forests.* Global Biogeochem. Cy., Vol. 19. Art n.GB2029.
- WEIHER E., VAN DER WERF A., THOMPSON K., RODERICK M., GARNIER E., ERIKSSON O., 1999 - *Challenging Theophrastus: a common core list of plant traits for functional ecology.* J. Veg. Sci., 10: 609-620.
- WELKER J., FAHNESTOCK J., HENRY G., O'DEA K., CHIMNER R., 2004 - *CO₂ exchange in three canadian high arctic ecosystems: response to long term experimental warming.* Glob. Change Biol., 10: 1981-1995.
- WESTOBY M., 1998 - *A leaf-height-seed (LHS) plant ecology strategy scheme.* Plant Soil, 199: 213-227.
- WILSON K.B., BALDOCCHI D.D., HANSON P.J., 2001 - *Leaf age affects seasonal pattern of leaf photosynthetic capacity and net ecosystem exchange of carbon in a deciduous forest.* Plant Cell Environ., 24: 571-583.

RIASSUNTO – Il principale scopo di questo lavoro è quello valutare il contributo dei Parchi Lombardi ai fini del sequestro di carbonio, come indicato negli articoli 3.3 e 3.4 del Protocollo di Kyoto. I “*carbon pools*” nei suoli e nella vegetazione sono stati stimati mediante alcuni modelli, impiegando dati ecologici e forestali misurati in campo o riportati in letteratura. Inoltre è stato stimato il flusso ecosistemico netto di CO₂ (Net Ecosystem carbon Exchange, NEE) per le vegetazioni lombarde. I Parchi della Lombardia, rappresentano il 21.0% dell’intero territorio regionale e contribuiscono per il 21.5% al *carbon pool* regionale nei suoli (239.5 TgC) e per il 23.6% al *carbon pool* regionale nella vegetazione (99.5 TgC). I Parchi inoltre realizzano il 23.5% del flusso ecosistemico netto di CO₂ regionale (-4.6 TgCO₂ a⁻¹). I Parchi, importanti aree per la salvaguardia della biodiversità, rappresentano un’opportunità per incrementare e conservare i *carbon pools*.

AUTORI

Alessandro Ossola, Simon Pierce, Bruno Cerabolini, Dipartimento di Biologia Strutturale e Funzionale, Università dell’Insubria Via Dunant 3, 21100 Varese, e-mail: ossola-alessandro@tiscali.it
Guido Brusa, Dipartimento di Scienze Chimiche e Ambientali, Università dell’Insubria, Via Valleggio 11, 22100 Como