

RUOLO DELLA VEGETAZIONE SPONTANEA NELL'ABBATTIMENTO DEI GAS SERRA IN LOMBARDIA

BRUNO E.L. CERABOLINI, GUIDO BRUSA, ALESSANDRO OSSOLA, SIMON PIERCE

Parole chiave – biodiversità; boschi; *Net Ecosystem carbon Exchange*; serbatoi di carbonio; uso del suolo; vegetazione

Key words – biodiversity; carbon pools; land use; *Net Ecosystem carbon Exchange*; vegetation; woodland.

Riassunto – Scopi del presente studio sono la valutazione della vegetazione reale in relazione alla sua capacità di sequestro del carbonio e del suo valore naturalistico, e la stima del miglioramento nel sequestro di carbonio che potrebbe consentire la vegetazione spontanea indirizzata verso quella potenziale. Tramite l'impiego di due indici aggregati è stato attribuito un giudizio di qualità ambientale a ciascuna classe di uso del suolo presente in Lombardia. La maggior parte della regione (ca. 45%) è occupata da vegetazioni di qualità ambientale insignificante, in quanto il loro contributo è molto carente sia nel sequestro del carbonio sia nella conservazione della biodiversità. La vegetazione potenziale contribuirebbe soltanto ad una diminuzione nel valore di *NEE* di circa il 17% rispetto a quello stimato per la vegetazione reale (-4.6 TgCO₂ a⁻¹). Il sequestro di carbonio può essere incrementato mediante forme di corretta gestione ambientale e ripristini di ecosistemi impoveriti, anche nei livelli di biodiversità, in particolare nell'area pianiziale dove sono prevalentemente concentrate usi del suolo di tipo agricolo.

Abstract – The role of the spontaneous vegetation in the abatement of greenhouse gas in Lombardy.

The aims of the study are the evaluation of the actual vegetation in relation to its capability of carbon sequestration and its natural value, and the estimation of the improvement in carbon sequestration that spontaneous vegetation could recover if it is guided to the potential vegetation. A judgment of environmental quality was assigned to each class of land use in Lombardy by means of two aggregate indexes. The main part of the region (ca. 45%) is assigned to the vegetation of negligible environmental quality, because its contribution is much poor both in carbon sequestration and biodiversity conservation. The potential vegetation could only contribute with a decrease in *NEE* value of about 17% as regards to estimated *NEE* value of the actual vegetation (-4.6 TgCO₂ a⁻¹). The carbon sequestration can be enhanced by practices of proper environment management and restorations of deprived ecosystems, also in biodiversity levels, mostly in the plain area where land uses of agriculture type are prevalent.

INTRODUZIONE

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 *carbon pools* a livello regionale, grazie alle quali poter monitorare gli scambi dei gas serra, in particolare della CO₂, e stabilire obiettivi realistici per l'abbattimento delle emissioni. Occorre tuttavia sottolineare che una valutazione obiettiva e scientificamente valida del contributo della vegetazione spontanea al sequestro di carbonio deve essere condotta anche nel rispetto e nel recepimento delle direttive comunitarie in campo ambientale, quali la Convenzione di Rio per la conservazione della Biodiversità e i relativi strumenti applicativi (Direttiva 43/92/CEE, Rete 2000, ecc.).

Sulla base di queste premesse, gli scopi del presente studio sono:

- la valutazione della vegetazione reale in relazione alla sua capacità di sequestro del carbonio e al suo valore naturalistico (biodiversità);
- la stima del margine di miglioramento nel sequestro di carbonio che potrebbe consentire la vegetazione spontanea indirizzata verso quella potenziale.

MATERIALI E METODI

L'area di studio corrisponde alla Regione Lombardia, estesa su una superficie di circa 23.800 km², pari al 7.9% del territorio nazionale. La regione si caratterizza per un paesaggio prevalentemente pianiziale (47.0%), montano (40.6%) e in subordine collinare (12.4%).

La stima a scale regionale del carbonio organico ecosistemico (suolo e vegetazione reale) segue la metodologia riportata in OSSOLA et al. (2007), così come la valutazione dei flussi annuali di CO₂ (*Net Ecosystem carbon Exchange* o *NEE*) tra gli ecosistemi e l'atmosfera. 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. I valori di *NEE* non considerano il prelievo di biomasse (es. fieno dai prati e raccolto dai coltivi).

La carta dell'uso del suolo e della vegetazione reale per il territorio lombardo è stata ricavata dal *Corine Land Cover 2000 (CLC 2000)*. In Lombardia il *CLC 2000* presenta 45 classi di utilizzo del suolo, alcune delle quali sono state accorpate, seguendo criteri di affinità fisionomica e/o strutturale. Le classi di uso del suolo con vegetazione spontanea rada o assente come le superfici artificiali, i corpi idrici, i ghiacciai ecc., non sono state considerate nell'analisi.

La carta della vegetazione potenziale è stata realizzata analizzando la distribuzione regionale di dodici specie arboree di interesse forestale tramite modelli climatici e bioclimatici (RAIMONDI, 2003). Dalla carta della vegetazione potenziale sono state sottratte le aree con vegetazione rada o assente ricavate dal *CLC 2000*. I valori di *NEE* per le vegetazioni potenziali sono stati calcolati con la stessa metodologia di quelli per le vegetazioni reali (v. OSSOLA et al., 2007).

L'indice di capacità di sequestro del carbonio (CS) è stato calcolato per ciascuna classe di uso del suolo e di vegetazione reale (Tabella 1), riportando su una scala 0-1 i valori di *NEE*, quelli di carbonio organico ecosistemico e il tempo di residenza del carbonio nella fitomassa (valutato qualitativamente in relazione al prelievo di biomassa). È stato quindi calcolato il valore medio per ciascuna classe di uso del suolo ed infine le medie così ottenute per tutte le classi sono state ridistribuite su un intervallo da 0 a 1.

Il calcolo dell'indice di naturalità (NT) segue le indicazioni riportate da CERABOLINI et al. (2007), considerando per ciascuna classe di uso del suolo e di vegetazione reale gli indici di ricchezza floristica (numero di specie), di rarità di specie (numero di specie rare e/o protette potenzialmente presenti), di specificità d'habitat (rarità regionale) e di uso antropico (grado di conservazione in relazione allo sfruttamento da parte dell'uomo); ciascun indice è espresso su una scala di valori da 1 a 4. Per ciascuna classe è stato quindi calcolato il valore mediano dei quattro indici; infine, tutti i valori mediani ottenuti sono stati riportati su una scala da 0 a 1, ricavando così i valori dell'indice NT.

La valutazione della capacità complessiva di sequestro del carbonio e del valore naturalistico delle vegetazioni reali è stata realizzata mediante la formulazione dell'indice di qualità ambientale (QA_i), basato sulla seguente formula: $QA_i = (NT + CS) / 2 * 10$. I valori di QA_i sono stati espressi mediante una scala sintetica di

giudizio (QA), articolata su sei categorie: $10 \geq QA_i \geq 8$, QA=ottima; $8 > QA_i \geq 7$, QA=buona; $7 > QA_i \geq 6$, QA=discreta; $6 > QA_i \geq 5$, QA=sufficiente; $5 > QA_i \geq 1$, QA=insufficiente; se $1 > QA_i \geq 0$, QA=insignificante.

RISULTATI E DISCUSSIONE

I valori più alti dell'indice di sequestro del carbonio (CS) sono stati calcolati per i boschi di conifere esotiche, contraddistinti da un basso valore di *NEE*, e per le paludi (incluse le torbiere), caratterizzate dall'elevato valore di carbonio ecosistemico e dall'alto livello di residenza. Nel complesso gli altri boschi di sempreverdi (boschi di abeti, di pini, di larice e/o cembro e di leccio) esibiscono elevati valori dell'indice CS, a cui contribuisce in prevalenza il basso valore di *NEE* (sempre inferiore a -600 gCO₂ m⁻² a⁻¹), determinato dall'elevata area basimetrica e dai valori di *Leaf Area Index* maggiori di 4.5. I valori più bassi dell'indice CS sono stati attribuiti a usi del suolo in cui sono prevalenti specie erbacee, soprattutto per la scarsa residenza del carbonio (prelievo della biomassa a cadenza annuale o infrannuale) e in subordine per i modesti valori di carbonio ecosistemico (generalmente inferiore a 20 kg m⁻²).

La restituzione della distribuzione territoriale dell'indice CS su scala regionale (Figura 1, in alto a sinistra) evidenzia il relativo maggior contributo delle zone montuose e in subordine di quelle collinari, zone in cui si rinvengono prevalentemente i boschi di conifere. La pianura mostra bassi valori di CS, tanto da condizionare nel complesso la distribuzione regionale dell'indice; quasi il 50% del territorio presenta, infatti, valori di CS prossimi a 0 in relazione all'uso prevalente di tipo agricolo. Elevati valori dell'indice (CS ≥ 0.8) sono nell'insieme scarsamente rappresentati (< 10%).

I valori più alti dell'indice di naturalità (NT) sono stati attribuiti alle formazioni a leccio, soprattutto in rapporto al loro importante significato biogeografico, e alle praterie, che si distinguono per l'elevata ricchezza floristica e la presenza di specie rare. Valori piuttosto elevati sono riportati anche per le paludi e per i boschi igrofilii, soprattutto in virtù dello scarso sfruttamento e della specificità d'habitat. I valori più bassi sono stati invece assegnati ad usi agricoli del suolo (seminativi non irrigui, risaie, frutteti, zone agricole eterogenee e pioppeti), che presentano nel complesso specie banali, una bassa ricchezza floristica (spesso costituita da una forte componente di esotiche) ed un intenso sfruttamento antropico.

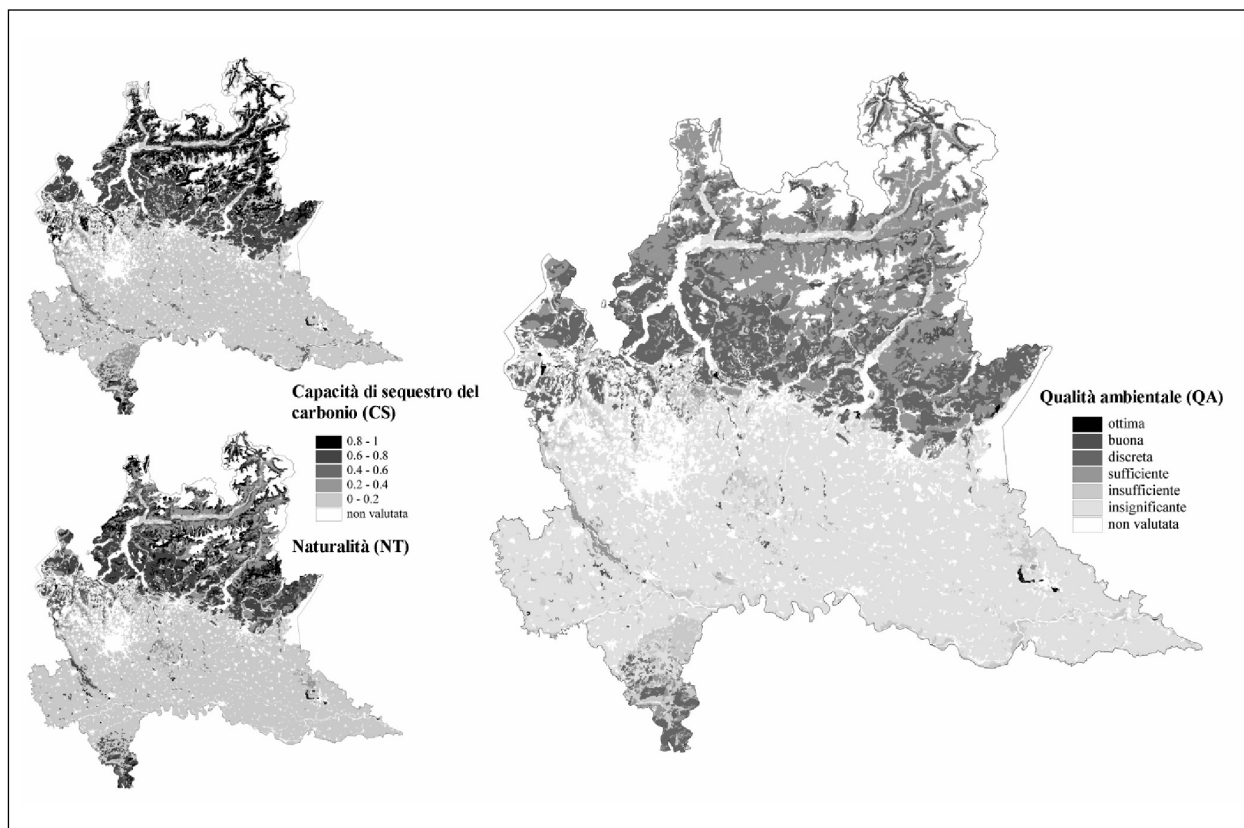


Fig. 1 - Carte dell'indice di capacità di sequestro del carbonio (CS), dell'indice di naturalità (NT) e del giudizio sintetico di qualità ambientale (QA).

La restituzione della distribuzione territoriale dell'indice NT (Fig. 1, in basso a sinistra) rivela come la maggior parte delle aree pianiziali sono occupate da vegetazioni con valore dell'indice vicino a 0 per la presenza pressoché ubiquitaria di aree agricole. Procedendo verso le aree collinari e soprattutto montuose, si raggiungono valori relativamente più elevati, specialmente in corrispondenza di formazioni forestali con discreti valori di biodiversità (querçeti, faggete e boschi di latifoglie mesofile). Nelle valli alpine più interne si assiste ad un abbassamento del livello di naturalità per la presenza di estese formazioni di abeti, anche se larici-cembrete e soprattutto pascoli e praterie d'altitudine determinano un parziale incremento dell'indice in quota. Circa il 50% dell'area di studio presenta un valore dell'indice NT pari a 0, in quanto prevale l'uso del suolo di tipo agricolo. Elevati valori dell'indice ($NT \geq 0.8$) risultano complessivamente poco rappresentati (< 5%) sull'intera scala regionale.

La categoria di qualità ambientale più elevata (QA = ottima) è stata attribuita a due formazioni vegetali poco diffuse nel territoriale regionale: i boschi di leccio e le paludi. Entrambe le vegetazioni possiedono un'elevata capacità di sequestro del carbonio e costituiscono un elemento naturalistico di elevato pregio.

La categoria di qualità buona è stata attribuita ai boschi igrofilo e ai boschi di larice e/o pino cembro, in relazione alla discreta capacità di sequestro e all'elevato interesse naturalistico che rivestono queste formazioni nel contesto regionale. Ai boschi di faggio, ai boschi di latifoglie mesofile e ai boschi di pini montani è stata attribuita una qualità ambientale discreta; in particolare, per le pinete la capacità di sequestro è compensata da un valore di naturalità non particolarmente alto (soprattutto per la scarsa ricchezza floristica e la relativa mancanza di specie rare). Sei vegetazioni sono state inserite nella categoria sufficiente di qualità ambientale. I boschi di abeti, così come quelli di castagno, presentano elevate capacità di sequestro del carbonio, ma sono tra le formazioni forestali più diffuse in Lombardia e quindi con una specificità d'habitat piuttosto bassa. Gli impianti di conifere esotiche presentano una notevole capacità di sequestro del carbonio, benché controbilanciata da un valore naturalistico trascurabile. In antitesi il contributo al sequestro di carbonio delle praterie e delle brughiere e cespuglieti è estremamente basso, sebbene costituiscano, in particolare le praterie calcifile prealpine e alpine, una delle più importanti fonti di biodiversità vegetale a livello regionale. Altre vegetazioni giudicate come sufficienti sono i querçeti,

che mostrano una modesta capacità di sequestro del carbonio, ma valori di naturalità moderatamente elevati. Le vegetazioni con una valutazione negativa (insufficiente) o molto negativa (insignificante) sono tutte antropogene. Nel complesso presentano valori naturalistici inconsistenti, spesso accompagnati anche da capacità di sequestro del carbonio altrettanto scarse.

La carta della qualità ambientale (Figura 1, a destra) evidenzia come la fascia planiziale sia rappresentata dalla categoria insignificante, con l'eccezione di alcune piccole aree dislocate lungo le aste fluviali. Una qualità ambientale nettamente migliore si riscontra a partire dall'alta pianura e soprattutto nelle aree collinari e montuose, sia alpine che appenniniche, dove nell'insieme dominano le categorie sufficiente e discreta. La categoria di qualità buona è localizzata soprattutto nella porzione nord-orientale della regione, dove sono prevalentemente ubicati i boschi di larice e/o cembro. Le aree che hanno ricevuto una valutazione ottima non risaltano particolarmente, in quanto paludi e torbiere e specialmente i boschi di

leccio occupano una modestissima frazione di territorio regionale.

Nel complesso la maggior parte dell'area di studio (circa il 45%) è occupata da vegetazioni di qualità ambientale insignificante, ossia che sono in grado di fornire uno scarsissimo contributo sia al sequestro del carbonio che alla conservazione della biodiversità. Le categorie buona e ottima non raggiungono complessivamente il 2% della superficie totale.

Il *NEE* totale a livello regionale è stato stimato in $-4.6 \text{ TgCO}_2 \text{ a}^{-1}$ (OSSOLA et al., 2007), mentre il sequestro di CO_2 da parte della vegetazione potenziale corrisponderebbe a $-5.4 \text{ TgCO}_2 \text{ a}^{-1}$. Si può quindi desumere che a livello regionale siamo prossimi alla quota di sequestro massima, in quanto l'indirizzo della vegetazione lombarda verso quella potenziale comporterebbe soltanto una diminuzione nel valore di *NEE* di circa il 17% rispetto a quello attuale. La vegetazione potenziale (boschi) costituisce tuttavia un *sink* di carbonio (elevata residenza), differentemente dalla maggior parte degli usi di tipo agricolo del suolo.

Uso del suolo e vegetazione reale	Capacità sequestro C			Valore naturalistico					NT	QAI	QA
	NEE	C ecosit.	residen.	CS	ric. flor.	rarietà spp.	spec. habitat	uso antrop.			
Boschi di leccio	-735	22.5	2	0.85	3	3	5	5	1.00	9.23	ottima
Paludi	-28	84.3	3	0.96	2	3	4	5	0.83	8.98	ottima
Boschi igrofilii	-310	38.6	2	0.66	3	2	4	5	0.83	7.49	buona
Boschi di larice e/o pino cembro	-621	22.6	2	0.77	3	2	3	4	0.67	7.17	buona
Boschi di faggio	-498	22.3	2	0.68	3	3	3	4	0.67	6.73	discreta
Boschi di latifoglie mesof./mesotermof.	-393	26.5	2	0.64	3	3	2	4	0.67	6.51	discreta
Boschi di pini montani ed oromedit.	-619	24.7	2	0.78	2	2	3	3	0.50	6.40	discreta
Boschi di abete rosso e/o abete bianco	-715	24.9	2	0.85	2	2	2	4	0.33	5.91	sufficiente
Boschi di conifere esotiche	-726	44.9	2	1.00	1	1	2	2	0.17	5.83	sufficiente
Brughiere, cespuglieti ed arbusteti	-40	14.1	3	0.47	2	2	4	4	0.67	5.68	sufficiente
Boschi di querce caducifoglie	-99	23.4	2	0.41	3	3	3	5	0.67	5.37	sufficiente
Boschi di castagno	-499	25.2	2	0.70	2	2	2	2	0.33	5.17	sufficiente
Praterie	-62	17.3	0	0.00	4	4	4	3	1.00	5.00	sufficiente
Boschi di latifoglie esotiche	-192	28.8	1	0.34	2	2	2	2	0.33	3.38	insufficiente
Pioppeti	-10	62.2	1	0.45	2	1	1	1	0.00	2.27	insufficiente
Prati stabili	-143	16.6	0	0.05	4	2	1	2	0.33	1.92	insufficiente
Frutteti, vigneti ed oliveti	-10	13.7	2	0.28	1	1	1	1	0.00	1.38	insufficiente
Risaie	-155	14.2	0	0.04	1	1	1	1	0.00	0.21	insignificante
Zone agricole eterogenee	-155	13.9	0	0.04	2	1	1	1	0.00	0.20	insignificante
Seminativi non irrigui	-155	13.6	0	0.04	1	1	1	1	0.00	0.19	insignificante

Tabella 1. Per ciascuna classe di uso del suolo e di vegetazione reale vengono riportati i valori di *NEE* ($\text{gCO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ a}^{-1}$), di carbonio ecosistemico (kg m^{-2}) e dell'indice di residenza del carbonio (scala qualitativa da 0 - generalmente più prelievi di biomassa all'anno, sino a 3 - prelievi praticamente assenti), impiegati per il calcolo dell'indice di capacità di sequestro del carbonio (CS). Sono inoltre riportati i valori (espressi su una scala qualitativa da 1 - basso valore, sino a 4 - alto valore) degli indici di ricchezza floristica, rarità di specie, specifici città d'habitat e uso antropico, impiegati nel calcolo dell'indice di naturalità (NT). Sono infine riportati i valori dell'indice di qualità ambientale (QAI) e il relativo giudizio sin-tetico (QA).

Considerando che le emissioni di anidride carbonica da fonti antropiche nel 2005 in Lombardia sono state valutate in 78.7 TgCO₂ a⁻¹ (ARPA, 2007), si può stimare che soltanto il 5.6% delle emissioni è compensato dalla vegetazione spontanea; questa percentuale salirebbe modestamente (6.9%) se considerassimo il valore complessivo di *NEE* esprimibile dalla vegetazione potenziale.

CONCLUSIONI

Il sequestro di carbonio può essere incrementato attraverso il ripristino di ecosistemi impoveriti, anche dal punto di vista della biodiversità, in particolare nell'area planiziale regionale. Nel corso degli anni gli ecosistemi planiziali hanno perso la maggior parte del carbonio, originariamente sequestrato nella fitomassa e nei suoli. Attualmente si caratterizzano per un *carbon pool* decisamente minore rispetto a quello che potenzialmente potrebbero ospitare. Si stima infatti che gli agro-ecosistemi degradati abbiano per-

so fino a 5-6 kgC m⁻² dalla pedosfera (LAL, 2004). Il carbonio rilasciato da queste aree potrebbe essere parzialmente ricostituito tramite una idonea gestione delle pratiche agricole, attraverso corretti interventi di concimazione e irrigazione, tramite la rotazione delle colture e la prassi del *minimum tillage* (HAO *et al.*, 2001).

Variazioni nella destinazione d'uso del suolo potrebbero modificare la capacità di catturare carbonio negli ecosistemi ed avere effetti rilevanti anche sulla biodiversità. Ad esempio, la conversione dei coltivi in ecosistemi boscati porterebbe ad un aumento della densità di carbonio organico, non solo nella vegetazione, ma anche nel suolo (POULTON *et al.*, 2003).

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).

BIBLIOGRAFIA

- ARPA, 2007. Inemar, Inventario emissioni in atmosfera. Emissioni in Lombardia nel 2005 - dati finali settembre 2007. ARPA Lombardia - Regione Lombardia. <http://www.ambiente.regione.lombardia.it/inemar/inemarhome.htm>
- CERABOLINI B., RAIMONDI B., CATTANEO M., PREATONI D., BRUSA G., 2007. I caratteri della vegetazione come descrittori della qualità ambientale: un'applicazione cartografica (provincia di Varese, Lombardia). *Informatore Botanico Italiano*, 39: 155-165.
- GANUZA, A., ALMENDROS G., 2003. Organic carbon storage in soils of the Basque Country (Spain): the effect of climate, vegetation type and edaphic variables. *Biology and Fertility of Soils*, 37: 154-162.
- 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 & Tillage Research*, 62: 167-169.
- LAL R., 2004. Agricultural activities and the global carbon cycle. *Nutrient cycling in Agroecosystems*, 70: 103-116.
- OSSOLA A., BRUSA G., PIERCE S., CERABOLINI B., 2007. Ruolo dei Parchi lombardi ai fini del sequestro di carbonio. *Informatore Botanico Italiano*, 39: 333-341.
- POULTON P.R., PYE E., HARGREAVES P.R., JENKINSON D.S., 2003. Accumulation of carbon and nitrogen by old arable land reverting to woodland. *Global Change Biology*, 9: 942-955.
- RAIMONDI B., 2003. Modellizzazione della distribuzione potenziale di specie e vegetazioni delle Alpi italiane ai fini della valutazione dei possibili impatti dei cambiamenti climatici. Dottorato di ricerca, XV ciclo, Università degli Studi dell'Insubria.
- 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.