

## VALUTAZIONE DELLO STOCK DI CARBONIO DI SUOLI FORESTALI DEL FRIULI V.G. (NE ITALIA)

Eddy Papais<sup>1</sup>, Alba Gallo<sup>1</sup>, Claudio Bini<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Department of Environmental Sciences, Informatics and Statistics, Ca' Foscari, University of Venice, (Italy); 845171@stud.unive.it

Le emissioni di gas prodotte dalle attività antropiche, in particolare CO<sub>2</sub>, sono concause del riscaldamento climatico. I suoli rappresentano uno dei principali serbatoi di carbonio su scala globale, e giocano un ruolo fondamentale nel ciclo del carbonio, il quale è uno dei processi chiave che regolano i cambiamenti climatici. I suoli forestali sono particolarmente ricchi di materia organica se confrontati con i suoli agricoli, e rappresentano un fondamentale serbatoio per il sequestro della CO<sub>2</sub> atmosferica. In questo studio sono stati valutati gli stock di carbonio nella parte superficiale di suolo (*episolum* umifero) sotto diverse coperture forestali nel NE Italia. I profili di suolo sono stati esaminati al fine di classificarne le forme di humus, e sono stati prelevati dei campioni di topsoil per le analisi chimico-fisiche. I valori di carbonio organico totale, ottenuti in laboratorio, sono stati utilizzati per stimare gli stock di carbonio delle stazioni esaminate. I boschi di latifoglie e il prato da sfalcio mostrano le forme di humus più attive (Amphimus e Mull) e gli stock di carbonio inferiori, viceversa, la pecceta presenta la forma di humus meno attiva (Moder) e il valore di carbon stock più elevato, evidenziando così una netta correlazione tra coperture vegetali, forme di humus e stock di carbonio.

*Parole chiave:* forme di humus, coperture forestali, SOC, pedofunzioni, stock di carbonio.

*Keywords:* humus forms, forest stands, SOC, pedotransfer functions, carbon stock.

<http://dx.doi.org/10.4129/2cis-ep-va>

### 1. Introduzione

Considerata la crescente domanda energetica, in particolare da parte dei paesi emergenti, appare inverosimile una riduzione delle emissioni di CO<sub>2</sub> nel futuro prossimo. Per perseguire l'obiettivo di ridurre tali emissioni, anche in ottemperanza degli obblighi previsti dal protocollo di Kyoto, è necessario perciò agire sui serbatoi di carbonio presenti nel pianeta. In accordo con Batjes (1996), i suoli rappresentano uno dei principali sink su scala globale, infatti, l'ammontare di carbonio organico da loro sequestrato è maggiore rispetto allo stock immagazzinato complessivamente nella biosfera (610 Pg C) e nell'atmosfera (750 Pg C), totalizzando circa 1500 Pg C. I suoli forestali risultano particolarmente ricchi di materia organica se confrontati con i suoli agricoli e rappresentano per questo motivo una pedina fondamentale nel sequestro del CO<sub>2</sub> atmosferico. Infatti, secondo recenti studi (Galbraith *et al.*, 2003; Schulp *et al.*, 2008), negli orizzonti organici di superficie (humus) può essere stoccato tra il 10 e il 30% del carbonio totale immagazzinato nel suolo.

La stima dello stock di carbonio è uno strumento fondamentale per valutare, in termini quantitativi, le capacità di immagazzinamento di questa porzione di suolo, in relazione anche alle forme di humus e alla tipologia di soprasuolo.

L'obiettivo di questo lavoro è quantificare il contenuto in carbonio organico nell'*episolum* umifero di sei stazioni prealpine del Friuli Venezia Giulia (NE Italia),

caratterizzate da differenti coperture vegetali: dal punto di vista morfologico e tassonomico secondo il *Référentiel Pédologique* (A.F.E.S., 2008) e, dal punto di vista chimico, attraverso la valutazione del contenuto di sostanza organica e la stima degli stock di carbonio.

### 2. Materiali e metodi

#### 2.1. Area di studio

Il territorio oggetto di studio si trova nella parte nord orientale della regione Friuli Venezia Giulia, nell'area delle Prealpi Giulie Settentrionali che prende il nome di Alta Valle del Torre. Le sei stazioni di rilevamento, scelte all'interno del comune di Lusevera (UD), si trovano ad un'altitudine compresa tra i 485 e i 590 metri s.l.m. L'area, vocata ad attività silvo-pastorali, ha visto diminuire drasticamente la sua popolazione nell'ultimo secolo, favorendo fenomeni più o meno naturali di rimboschimento.

#### 2.1.1 Clima

Dal punto di vista climatico la zona, secondo la classificazione di Köppen, rientra nel tipo *Cfb*: clima temperato umido con estate moderatamente calda, con assenza di stagione arida (f) e con temperatura media del mese più caldo inferiore a 22°C (b). La peculiarità di questo territorio sono le abbondanti precipitazioni, nell'ordine dei 2350 mm annui, ben distribuite durante l'intero arco dell'anno, che escludono la presenza di periodi di aridità.

### 2.1.2 Litologia

La litologia della zona è caratterizzata da masse rocciose di origine sedimentaria, ascrivibili al flysch eocenico, costituita da stratificazioni alternate di marne e arenarie.

Sono altresì presenti degli accumuli di detrito di falda di natura calcarea e dolomitica, provenienti dalle retrostanti pareti rocciose più ripide (Carulli e Galli, 2013).

### 2.1.3 Suolo

I rilievi effettuati coinvolgono sei suoli, scelti per la loro rappresentatività dell'area di studio. Secondo il sistema tassonomico World Reference Base for Soil Resources (FAO, 2006) cinque di questi appartengono al gruppo dei Cambisols, di cui due su substrato carbonatico (Eutric Cambisol) e tre su substrato silicatico (Dystric Cambisol), mentre l'ultimo è un Rendzic Leptosols su substrato calcareo. Le tessiture prevalenti sono franco-sabbiose e franche.

### 2.1.4 Vegetazione

Lo studio e la classificazione delle coperture vegetali rappresenta una fase preliminare nella scelta delle stazioni di campionamento, e risulta fondamentale per comprendere appieno le relazioni esistenti tra suolo e humus.

L'area di studio, come già discusso, presenta un clima temperato, caratterizzato da precipitazioni abbondanti e temperature miti, che colloca la zona nel distretto climatico esalpico, tipico del territorio prealpino friulano. Nell'area in esame sono state selezionate, per la loro rappresentatività del territorio, cinque tipologie forestali ed un prato-pascolo, nella fattispecie due orno-ostrieti tipici (uno più maturo ed uno più primitivo), una faggeta submontana dei suoli acidi, un acero frassineto tipico, una pecceta secondaria montana (impianto) ed un prato da sfalcio dominato da *Arrhenatherum elatius*.

### 2.2 Classificazione delle forme di humus

Attualmente ci sono due principali sistemi di classificazione per le forme di humus, uno canadese (Green *et al.*, 1993) ed uno francese (A.F.E.S., 2008). Gli studi condotti dal Centro di Ecologia Alpina di Trento (Calabrese *et al.*, 1997), allo scopo di confrontare i due sistemi di classificazione, suggeriscono che quello francese del Référentiel Pédologique (A.F.E.S., 1995) si adatti meglio all'ambiente forestale italiano rispetto a quello canadese, motivo per cui nel presente studio si è fatto riferimento a tale metodo, nella fattispecie all'edizione aggiornata del 2008.

### 2.3 Calcolo dello stock di carbonio

In questo studio ci si è focalizzati su quella porzione superficiale di suolo denominata *episolum* umifero e perciò, il carbon stock potenziale è stato calcolato sommando i contributi degli orizzonti ologranici (ad esclusione dell'orizzonte OL che non viene conteggiato nel calcolo del carbon stock) e del sottostante orizzonte organo-minerale (A).

Lo stock di carbonio (SOC) è stato calcolato effettuando il prodotto, eseguito per ogni orizzonte, tra il quantitativo ponderale di carbonio e la densità apparente dell'orizzonte, sottraendo il volume occupato dalla frazione grossolana:

$$SOC = \sum_{n=1}^k [OC * \rho * T * (1 - \delta) * 10]$$

dove:

SOC: è lo stock di carbonio organico nel suolo (t/ha);

OC: è la concentrazione di carbonio organico nel singolo orizzonte (g/kg);

$\rho$ : è la densità apparente dell'orizzonte (t/m<sup>3</sup>);

T: è lo spessore dell'orizzonte (m);

$\delta$ : è la proporzione dei frammenti grossolani (>2mm) nell'orizzonte.

La concentrazione di carbonio organico (OC) è stata determinata con il metodo Walkley-Black per ogni orizzonte. Lo spessore dei vari orizzonti (T) è stato misurato direttamente in campo. La proporzione dei frammenti grossolani ( $\delta$ ) è stata stimata in laboratorio, dopo aver suddiviso ciascun orizzonte ed averlo posizionato negli appositi contenitori.

Ciò ha permesso una stima più accurata di quanto sarebbe stato possibile fare in campo. La densità apparente dell'orizzonte ( $\rho$ ) è un parametro che può essere calcolato in campo, oppure stimato attraverso dei modelli matematici definiti pedofunzioni.

La stima in campo di questo parametro dovrebbe restituire valori più accurati rispetto a quelli ricavati attraverso le pedofunzioni; in realtà, la variabilità dello spessore della lettiera, la presenza di copertura erbacea che non andrebbe campionata ma difficile da eliminare, la presenza di rami che attraversano il campionario, la difficoltà di selezionare un campione rappresentativo della stazione in esame e i lunghi tempi necessari per tale operazione, ne rendono preferibile (e non meno attendibile) la stima attraverso le pedofunzioni.

In letteratura esistono svariate pedofunzioni che permettono di calcolare la densità apparente attraverso diversi dati di input. Nel presente studio si è scelto di utilizzare il modello di Hollis e Wood (1989), in cui tale parametro viene calcolato attraverso la percentuale di carbonio organico totale (TOC%):

$$\rho = -0,00745 * TOC\% + 0,593$$

Seguendo questa metodologia sono stati elaborati quattro differenti scenari: due definiti reali, calcolati sullo spessore effettivo dell'*episolum* umifero, e due definiti potenziali, poiché calcolati su uno spessore standard di dieci centimetri.

Sia per lo scenario reale che per quello potenziale sono stati forniti due casi, in cui viene considerata, o meno, la frazione grossolana (materiale con  $\phi > 2\text{mm}$ ).

Lo scenario reale mostra l'effettivo quantitativo di carbonio organico stoccato nei suoli esaminati, mentre, lo scenario potenziale permette di confrontare le diverse capacità di stoccaggio delle forme di humus in relazione anche alle diverse coperture vegetali.

### 3. Risultati e discussioni

#### 3.1 Forme di humus

La pecceta presenta la forma di humus meno attiva tra quelle riscontrate, un Dysmoder, risultato di una lettiera acidificante più difficile da degradare rispetto a quella delle latifoglie; gli altri siti invece, caratterizzati da diverse coperture di latifoglie (o copertura esclusivamente erbacea nel caso della stazione C6), presentano forme di humus più attive come Eumull, Mésomull, Dysmull ed Amphimus, indice di una lettiera più facile da decomporre, che si traduce in un minor accumulo di materia organica negli orizzonti superficiali.

#### 3.2 Stock di carbonio

La stima degli stock di carbonio ha permesso di fare luce sull'attuale capacità di questi suoli di immagazzinare il carbonio in forma organica. In Tabella 1 sono riportati gli stock di carbonio calcolati per le sei stazioni esaminate, suddivisi nei quattro scenari sopraccitati ed in relazione alle forme di humus ed alle coperture vegetali. Prendendo in considerazione lo scenario reale (Fig. 1), si osserva che i valori di SOC nei siti con copertura di latifoglie (C1, C2, C3, C4) e nel prato da sfalcio (C6) presentano valori di SOC simili e decisamente inferiori al valore di SOC riscontrato nella pecceta (C5). Tali valori, in accordo con diversi studi (Faggian *et al.*, 2012; Garlato *et al.*, 2009; Schulp *et al.*, 2008) dimostrano che la presenza della lettiera, soprattutto se spessa e difficilmente degradabile come quella derivante da aghifoglie, è un fattore chiave per l'immagazzinamento del carbonio. Confrontando gli scenari reali (Fig. 1) con e senza frazione grossolana (Fig. 2), si osservano piccole variazioni negli stock di carbonio. Rimuovendo dal calcolo la frazione grossolana, che sottrae volume utile al suolo per lo stoccaggio del carbonio, i valori di SOC aumentano inevitabilmente in tutte le stazioni. Tuttavia, dato che nei suoli esaminati il contenuto di materiale grossolano nei vari orizzonti non varia in maniera così marcata (dal 2 al 10%), si osservano degli incrementi di stoccaggio contenuti tra il 2% del sito C3 e l'11% del sito C6. Questi aumenti coinvolgono principalmente gli orizzonti organo-minerali, in cui la presenza di scheletro risulta più abbondante. Tali variazioni non modificano tuttavia il trend generale osservabile (Fig. 1 e 2), ma aiutano a comprendere l'importanza che ha il computo della frazione grossolana nella valutazione del carbon stock reale, soprattutto nel caso di suoli ricchi di scheletro. Gli orizzonti olorganici giocano un ruolo chiave nello stoccaggio del carbonio organico.

I campioni analizzati mostrano, infatti, che tali orizzonti bloccano mediamente un quantitativo di carbonio due volte maggiore rispetto al sottostante orizzonte organo-minerale A. In termini numerici, i primi bloccano mediamente in forma organica un quantitativo di carbonio pari a 7,5 t/ha circa, mentre l'orizzonte A circa 3,8 t/ha (Fig. 3).

Tuttavia, lo scenario reale non permette un effettivo confronto tra le capacità di stoccaggio delle differenti

forme di humus, perché i profili esaminati presentano spessori differenti. Tale parametro gioca un ruolo chiave nelle dinamiche di stoccaggio del carbonio organico e giustifica parzialmente la differenza tra il valore di SOC nel sito C1 e le altre stazioni. Le forme di humus meno attive (Moder, Mor, Amphimus) presentano una maggior differenziazione degli orizzonti olorganici e spesso anche un maggior spessore, dovuti ad un rallentamento dell'attività di degradazione e trasformazione della sostanza organica rispetto a forme più attive (Mull). Analizzando lo scenario potenziale (Fig. 4 e 5) si osserva un livellamento nelle differenze di contenuto di carbonio organico tra le diverse stazioni. Il Dysmoder (la forma di humus meno attiva tra quelle identificate nell'area di studio) presenta anche in questo scenario il contenuto di SOC più elevato, presumibilmente conseguenza di una lettiera di resinosa più difficile da degradare. Tali valori diminuiscono progressivamente spostandosi verso forme di humus intermedie quali Dysmull, Amphimus fino a raggiungere i valori più bassi nelle forme Eumull e Mésomull. In queste ultime, il processo di decomposizione della materia organica risulta più veloce, ed impedisce di fatto una maggior differenziazione degli orizzonti olorganici nonché un loro ispessimento. Il Mésomull, l'unica forma di humus priva di copertura forestale (prato da sfalcio), presenta il valore di SOC più basso. Questo è dovuto alla mancanza di uno strato arbustivo e arboreo, in grado di arricchire la lettiera con materiale fogliare e legnoso, più difficilmente degradabile.

### 4. Conclusioni

I trend riscontrati in questo studio rispettano ciò che ci si attendeva dopo la classificazione delle forme di humus; infatti, forme di humus meno attive come Dysmoder, Dysmull ed Amphimus presentano gli stock più elevati, viceversa le forme più attive come Eumull e Mésomull mostrano i valori di SOC più bassi. Inoltre, come era ipotizzabile, gli stock crescono all'aumentare dello spessore degli *episolum* ed in presenza di coperture vegetali che producono lettiere più difficilmente degradabili, quali le conifere. In particolare, il sito C6, l'unico a presentare un soprasuolo esclusivamente erbaceo, presenta il valore di carbon stock inferiore, confermando l'importanza chiave dei suoli forestali in queste dinamiche. In tale contesto grande importanza assumono gli orizzonti olorganici in quanto presentano un contenuto di carbonio organico decisamente superiore (mediamente il doppio) rispetto agli orizzonti organo-minerali. Tuttavia, questa porzione di suolo, interfacciandosi all'atmosfera, risulta per sua natura la più suscettibile alle variazioni stagionali ed all'influenza dei fattori esterni. Per questo motivo, è necessaria una gestione sinergica dei suoli e delle relative coperture, al fine di incrementare la capacità di stoccaggio del carbonio negli ecosistemi forestali. In questa prospettiva, l'attitudine dei boschi di conifere di generare forme di humus meno attive, e di conseguenza stock di carbonio più elevati, deve essere tenuta in considerazione nelle attività di gestione e pianificazione forestale.

Tabella 1. Stock di carbonio organico (t/ha) negli *episolum* umiferi analizzati.  
 Table 1. Organic carbon stocks (t/ha) in the topsoil analysed.

SITO	SOC per <i>episolum</i> umifero (t/ha)				Forma di humus	Copertura vegetale
	Scenario reale con frazione grossolana	Scenario reale senza frazione grossolana	Scenario potenziale con frazione grossolana	Scenario potenziale senza frazione grossolana		
C1	34	35	51	54	<i>Dysmull</i>	Orno-ostrieto
C2	42	45	47	50	<i>Amphimus</i>	Orno-ostrieto
C3	38	39	42	43	<i>Dysmull</i>	Faggeta
C4	33	35	41	43	<i>Eumull</i>	Acero-frassineto
C5	75	81	55	59	<i>Dysmoder</i>	Pecceta
C6	31	35	28	31	<i>Mésomull</i>	Prato da sfalcio

Figura 1. SOC stock reale (t/ha) con conteggio della frazione grossolana.  
 Figure 1. Real SOC stock (t/ha) considering coarse fraction.

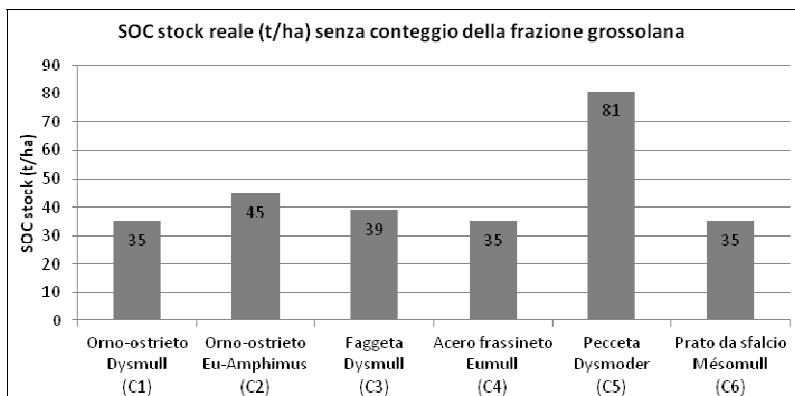
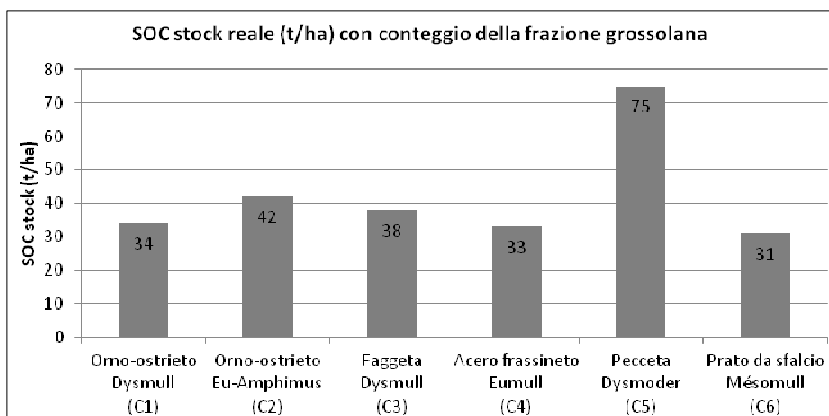


Figura 2. SOC stock reale (t/ha) senza conteggio della frazione grossolana.  
 Figure 2. Real SOC (t/ha) without considering coarse fraction.

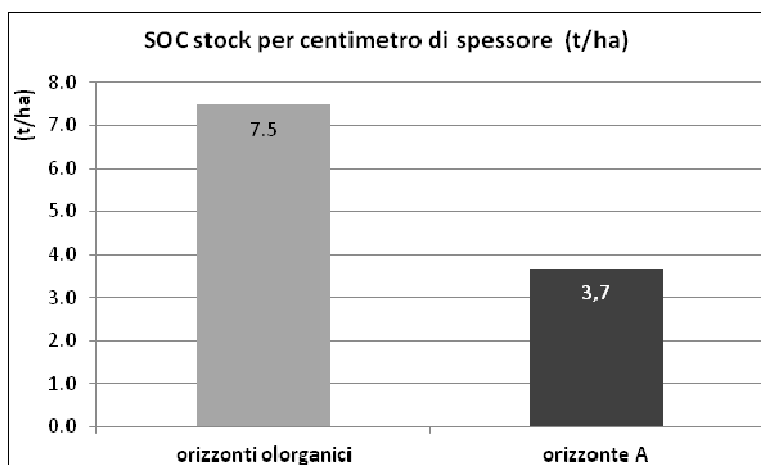


Figura 3. SOC stock medio (t/ha) per centimetro di spessore dei campioni analizzati.  
 Figure 3. Different storage of SOC (t/ha) in holorganics and A horizon in the samples analysed.

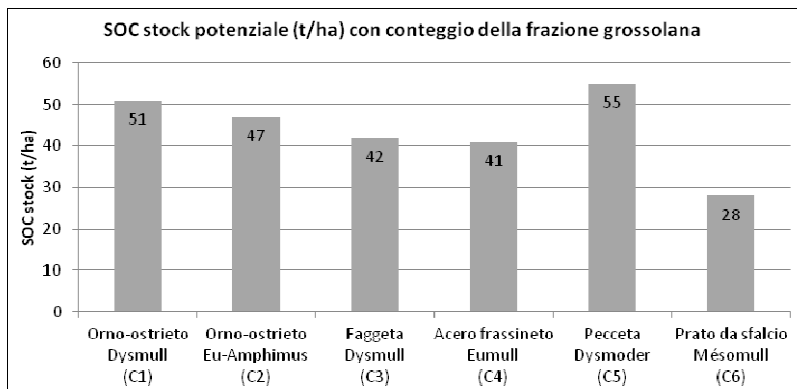


Figura 4. SOC stock potenziale (t/ha) con conteggio della frazione grossolana.  
 Figure 4. Potential SOC stock (t/ha) considering coarse fraction.

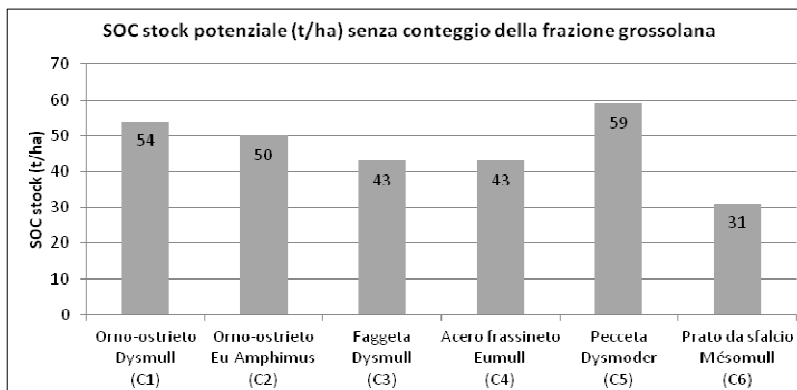


Figura 5. SOC stock potenziale (t/ha) senza conteggio della frazione grossolana.  
 Figure 5. Potential SOC (t/ha) without considering coarse fraction.

## SUMMARY

### Carbon stock evaluation from topsoil of forest stands in Friuli V.G. (NE Italy)

Gas emissions from anthropic activities, particularly CO<sub>2</sub>, are responsible for global warming. Soils represent one of the most important carbon sink on a global scale, and play a key role in global C cycle, which in turn is one of the key processes governing climate change. Forest soils are particularly enriched in organic carbon (OC) with respect to agricultural soils, and represent a fundamental sink for atmospheric CO<sub>2</sub> sequestration. In this study carbon stocks of different forest stands in NE Italy were evaluated.

The soil profiles of the chosen sites were analysed to classify the humus forms and topsoil samples were collected for further physical-chemical analysis. OC values, obtained in laboratory, were used to estimate the carbon stocks values for each site analysed.

To high developed humus forms (Amphimus and Mull), found in the broadleaf forests and meadow, correspond the lowest carbon stocks. On the other hand, the Norway spruce shows the less developed humus form (Dymoder) and the highest carbon storage. These data point out the net relationship among vegetation coverages, humus forms and carbon stocks.

## BIBLIOGRAFIA

- A.F.E.S. (Association Française pour l'Étude du Sol), 1995 – *Référentiel Pédologique*. INRA Éditiones, Paris.
- A.F.E.S. (Association Française pour l'Étude du Sol), 2008 – *Référentiel Pédologique*. Quae Éditiones, Paris.
- Batjes N.H., 1996 – *Total carbon and nitrogen in the soils of the world*. European Journal of Soil Science, 47: 151-163.  
<http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2389.1996.tb01386.x>
- Calabrese M.S., Sartori G., Zanella A., 1997 – *Confronto tra due recenti sistemi di classificazione degli humus: il Référentiel Pédologique e la tassonomia di Green*. Monti e Boschi, 6: 4-10.
- Carulli G.B., Galli M., 2013 – *La storia geologica delle Giulie*. Società Alpina delle Giulie, Trieste: 72-125.
- Faggina V., Bini C., Zilioli D., 2012 – *Carbon stock evaluation from topsoil of forest stands in NE Italy*. International Journal of Phytoremediation, 14: 415-428.  
<http://dx.doi.org/10.1080/15226514.2011.620656>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2006 – *World reference base for soil resources 2006: A framework for international classification, correlation and communication*. Roma.
- Galbraith J.M., Kleiman J.A., Bryant R.B., 2003 – *Sources of uncertainty affecting soil organic carbon estimates in northern New York*. Soil Science Society of America Journal, 67: 1206- 1212.

- <http://dx.doi.org/10.2136/sssaj2003.1206>
- Garlato A., Obber S., Vinci I., Sartori G., Manni G., 2009 – *Stock attuale di carbonio organico nei suoli di montagna del Veneto*. Studi Trentini di Scienze Naturali. Museo tridentino di Scienze Naturali, Trento, 85: 69-81.
- Green R.N., Klinka K., Trowbridge R.L., 1993 – *Towards a taxonomic classification of humus forms*. Forest Science Monograph, 29: 1-49.
- Hollis J.M., Woods S.M., 1989 – *The measurement and estimation of saturated soil hydraulic conductivity*. SSLRC report to MAFF, Soil Surv. Land Res. Centre, Silsoe.
- Schulp C.J.E., Nabuurs G.J., Verburg P.H., Waal R.W., 2008 – *Effect of tree species on carbon stocks in forest floor and mineral soil implications for soil carbon inventories*. Forest Ecology and Management, 256: 482-490. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foreco.2008.05.007>