



## FORME DI HUMUS FORESTALI IN VENETO

G. Sartori\*, A. Garlato\*, S. Obber\*, F. Ungaro°, I. Vinci\*

\* Osservatorio Regionale Suoli - ARPAV, Castelfranco Veneto

° CNR IRPI - Istituto di Ricerca per la Protezione Idrogeologica, Sede di Firenze

### Riassunto

Sono stati analizzati i dati relativi a 276 profili di humus, rappresentativi delle diverse coperture pedologiche, delle diverse morfologie e fasce vegetazionali dell'area alpina e prealpina veneta. Si è osservata una netta prevalenza dei mull, e in particolare delle forme poco attive (*Amphimull*), sui substrati carbonatici, e dei moder (*Dysmoder*) sui substrati silicatici. Le analisi della varianza per gruppi e l'analisi fattoriale hanno messo in evidenza le relazioni tra variabili ambientali e edafiche e forme di humus. I mull più attivi sono localizzati a quote più basse, in ambienti con temperature medie più elevate, su suoli con pH da sub-acido a sub-alcalino. I mull meno attivi sono legati a temperature inferiori, e eventualmente anche a una vegetazione con residui non facilmente decomponibili. I moder sono in relazione con un clima ancora più freddo, e con tessiture del suolo relativamente grossolane e reazione acida. Le relazioni statistiche messe in luce hanno consentito di mettere a punto, in prima approssimazione, una tabella multientrata che permette di predire, per certi aspetti con una accettabile accuratezza, le forme di humus a partire dalle variabili ambientali ed edafiche.

*Parole chiave: forme di humus, mull, suoli alpini, Référentiel Pédologique*

### Abstract

276 humus profiles, which are typical of different pedological covers, morphologies and vegetation belts, have been analyzed in the alpine and pre-alpine area of Veneto Region. Over calcareous materials, a strong prevalence of mull forms, and particularly of the least active forms (*Amphimull*), has been observed. Over siliceous materials, moder forms (*Dysmoder*) were dominating. Breakdown ANOVA and factorial analysis allowed to point out some relationships between environmental and soil variables and humus forms. The most active mull forms are situated at low altitudes, where average temperatures are higher, on soils with pH that ranges from sub-acid to sub-alkaline. The least active mull forms are linked to lower temperatures and in some cases also to vegetation types characterized by hardly decaying litter. Moder forms are related to an even colder climate, to relatively coarse soil texture and to acid reaction. The pointed out statistical relationships allowed to build a table which can be used as an instrument to predict humus forms, with acceptable accuracy, starting from environmental and soil variables.

*Key words: humus forms, mull, alpine soils, Référentiel Pédologique*

### Introduzione

Numerosi studi hanno dimostrato che le caratteristiche morfologiche degli humus sono strettamente collegate alle loro proprietà fisico-chimiche e biologiche (Baritz, 2003; Jabiol et al., 2007), le quali a loro volta sono il risultato di interazioni tra variabili ambientali (clima, vegetazione, substrato, morfologia) e intervento antropico (gestione forestale). Storicamente lo studio delle forme di humus è stato affrontato da un punto di vista prevalentemente qualitativo (Jabiol et al., 2005), sostanzialmente a causa della enorme complessità delle interazioni tra i processi che ne determinano la formazione e la differenziazione. Il quadro è poi ulteriormente complicato dalla differente terminologia usata per la descrizione delle forme humus, del significato attribuito ai parametri diagnostici e alle differenti soglie discriminanti adottate nei principali sistemi di classificazione. Tuttavia legami funzionali ed evolutivi tra le diverse forme di humus, pedofauna ed alcune caratteristiche ambientali sono note da tempo ed hanno permesso di stabilire relazioni anche relativamente semplici tra forme di humus prevalenti e caratteristiche dell'ecosistema. Una decrescente biodiversità microbica, vegetale ed animale, associata ad una diminuzione della fertilità del suolo e della

produttività della formazione forestale, accompagna ad esempio il passaggio tra le tre principali forme di humus: da mull, a moder e, in ultimo, mor (Brêthes et al., 1995; Ponge et al., 2000; Ponge, 2003; Graefe e Beylink, 2006).

Sulla base delle tassonomie messe a punto negli ultimi anni nei diversi paesi (Green et al., 1993; AFES, 1995; Baritz, 2003; Van Delft et al., 2006), sono in corso attualmente dei tentativi per giungere ad una classificazione condivisa delle forme di humus (Jabiol et al., 2004). Ci si è avviati parallelamente verso un approccio più quantitativo nella descrizione delle diverse forme di humus e nel collegamento di queste alle caratteristiche dell'ecosistema forestale, in particolare attraverso lo sviluppo di un "indice di humus" o "indice di Ponge" (Ponge et al., 2002). La messa a punto di un indice semiquantitativo si basa sull'assunzione che le differenti forme di humus possano essere indicizzate su una scala di valori e che questa scala possa essere correlata con proprietà morfologiche e dati analitici che caratterizzano il soprassuolo forestale ed i profili del topsoil.

Il presente lavoro ha come scopo la disamina della variabilità dei parametri descrittivi e analitici degli humus forestali del Veneto e l'individuazione di eventuali relazioni tra forme di humus e variabili ambientali, nella prospettiva di una migliore conoscenza delle forme di humus caratteristiche dei vari ambienti, e della messa a punto di strumenti predittivi a partire dalle variabili ambientali e edafiche.

## Materiali e Metodi

Sono stati presi in esame 276 profili di humus descritti e analizzati nell'ambito della cartografia alla scala 1:250.000 della Regione Veneto (ARPAV, 2005). I profili rappresentano le diverse Unità tipologiche di suolo, caratteristiche delle diverse morfologie e fasce vegetazionali, sviluppate sui substrati carbonatici e silicatici dell'area alpina e prealpina. Essi sono stati classificati utilizzando il Référéntiel Pédologique (AFES, 1995), che da studi precedenti risultava essere il sistema di classificazione più idoneo per gli ambienti alpini (Calabrese et al., 1997).

Le classi tassonomiche del Référéntiel Pédologique sono state indicizzate utilizzando l'indice di Ponge ( $I_{Ponge}$ : 1 = *Eumull*; 2 = *Mésomull*; 3 = *Oligomull*; 4 = *Dysmull*; 5 = *Amphimull* e *Hémimoder*; 6 = *Eumoder*; 7 = *Dysmoder*). Per la vegetazione sono state utilizzate 3 classi molto ampie, corrispondenti a una crescente difficoltà di decomposizione dei residui vegetali (1: orno-ostrieti e altre latifoglie con residui facilmente decomponibili; 2: faggete, castagneti, piceo-faggete e abetine con abete bianco >50%; 3: peccete, pinete, mughete, lariceti). Le altre variabili categoriche considerate, sono state: presenza/assenza di orizzonti ologranici (rispettivamente OF e OH), distretto bioclimatico di appartenenza (avanalpico, esalpico, esomesalpico, mesalpico, endalpico), acidità/carbonatazione dell'orizzonte A del suolo (carbonatato e subalpino, privo di carbonati e neutro o subacido, privo di carbonati e molto acido).

Tabella 1. Statistiche descrittive del data set.

Variabile	Num. Oss.	Media	Minimo	Mediana	Massimo	Std.Dev.
Quota (m s.l.m.)	276	997.75	20.00	1010.00	2155.00	478.47
Esposizione (°)	272	156.39	0.00	147.50	360.00	99.12
Precipitazioni (mm/anno)	276	1315.04	750.00	1350.00	2050.00	255.02
Temperatura (°C)	276	7.88	2.10	7.60	13.60	2.67
Indice di Gams (P/Q)	276	1.99	0.49	1.39	47.50	3.05
Indice di Lang (P/T)	276	188.86	59.52	182.59	500.00	73.76
pH in H <sub>2</sub> O	267	6.51	4.00	6.80	8.70	1.33
argilla (%)	257	20.18	0.00	17.00	58.00	11.56
limo (%)	256	51.68	13.00	52.00	85.00	13.46
sabbia (%)	256	28.40	1.00	27.00	80.00	15.37
scheletro (%)	265	17.72	0.00	10.00	80.00	17.20
C org (%)	122	5.45	0.12	4.90	18.79	3.23

Per ciascun profilo, inoltre, sono stati presi in considerazione pH in acqua dell'orizzonte minerale di superficie (oriz. A), carbonio organico %, frazioni granulometriche (sabbia, limo e argilla secondo USDA) e percentuale contenuto in scheletro. Sono poi stati considerati i dati di stazione relativi a quota (Q), esposizione, precipitazioni (P) e temperatura (T), e a indici da questi calcolati quali l'indice di Gams (P/Q) e l'indice di Lang (P/T). Le statistiche descrittive del data set sono riportate nella tabella 1. Si può notare che l'altitudine media dei siti analizzati è di circa 1000 metri s.l.m., mentre la piovosità è di circa 1300 millimetri

annui. Il contenuto medio di limo dei suoli (orizzonte A) è molto alto (51%): le classi tessiturali più frequenti sono infatti la franco-limosa (54%), la franca (20%) e la franco-limosa-argillosa (8%).

Al fine di approntare una tabella multientrata che consenta la predizione delle diverse forme di humus senza dover ricorrere alla descrizione di nuovi profili, le variabili disponibili sono state utilizzate per verificare l'esistenza di relazioni tra forme di humus e dati ambientali ed edafici attraverso l'analisi delle correlazioni, l'analisi della varianza per classi e il test di significatività delle medie e l'analisi fattoriale e delle componenti principali.

## Risultati e Discussione

Il data set utilizzato si compone di 276 profili di humus. La distribuzione delle frequenze delle varie forme di humus (figura 1) mostra che prevalgono gli humus con indice di Ponge pari a 5 (*Amphimull* e *Hémimoder*); dominano però nettamente gli *Amphimull* (108 profili), e gli *Hémimoder* sono presenti molto sporadicamente (2 profili)<sup>1</sup>. La grande maggioranza di tali *Amphimull* sono legati, come mostrato dall'istogramma, a suoli sviluppati da materiali carbonatici. Molto frequenti sono anche i *Dysmull* ( $I_{\text{Ponge}} = 4$ ) e gli *Oligomull* ( $I_{\text{Ponge}} = 3$ ), legati anch'essi prevalentemente a suoli su materiali calcarei. Meno frequenti sono i *Mésomull* ( $I_{\text{Ponge}} = 2$ ), e soprattutto le forme più attive *Eumull* ( $I_{\text{Ponge}} = 1$ ), presenti solo su suoli da materiali calcarei.

I *Dysmoder* ( $I_{\text{Ponge}} = 7$ ), e soprattutto gli *Eumoder* ( $I_{\text{Ponge}} = 6$ ), non sono molto frequenti (rispettivamente 18 e 5 profili). L'istogramma mostra che la totalità di tali forme sono presenti su suoli sviluppati da materiali silicatici. La minore abbondanza relativa rispetto alle forme mull si spiega quindi con la minore diffusione dei substrati silicatici rispetto a quelli calcarei nella montagna veneta. Si sottolinea che le forme mor, così come definite dal Référentiel Pédologique<sup>2</sup>, non sono state rinvenute nell'area di studio.

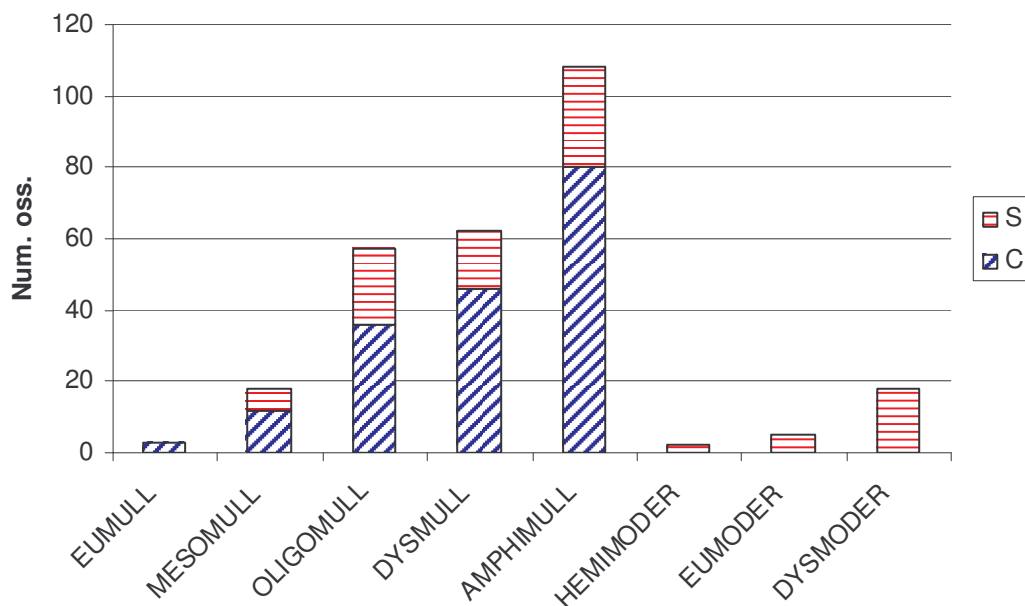


Figura 1. Frequenza delle diverse forme di humus (C: substrato carbonatico; S: substrato silicatico)

La netta prevalenza della forma *Amphimull* (74%) su substrati carbonatici conferma quanto già osservato in altri settori delle Alpi italiane calcaree (Calabrese et al., 1996; Sartori et al., 2005). Questi humus, in passato considerati dagli autori del nord Europa forme di transizione e/o legati a uno stato di non equilibrio (i *Mullmoder* per esempio degli autori tedeschi), costituiscono ora una classe al livello tassonomico più alto nella nuova versione del Référentiel Pédologique, di prossima pubblicazione (la modifica è già presente in Jabiol et al., 2007).

<sup>1</sup> Per questo motivo di seguito verranno trattati solo gli *Amphimull*.

<sup>2</sup> Sulla definizione dei mor non c'è ancora accordo tra le varie classificazioni, e lo stesso RF (nella versione 1995) ne dà una definizione provvisoria.

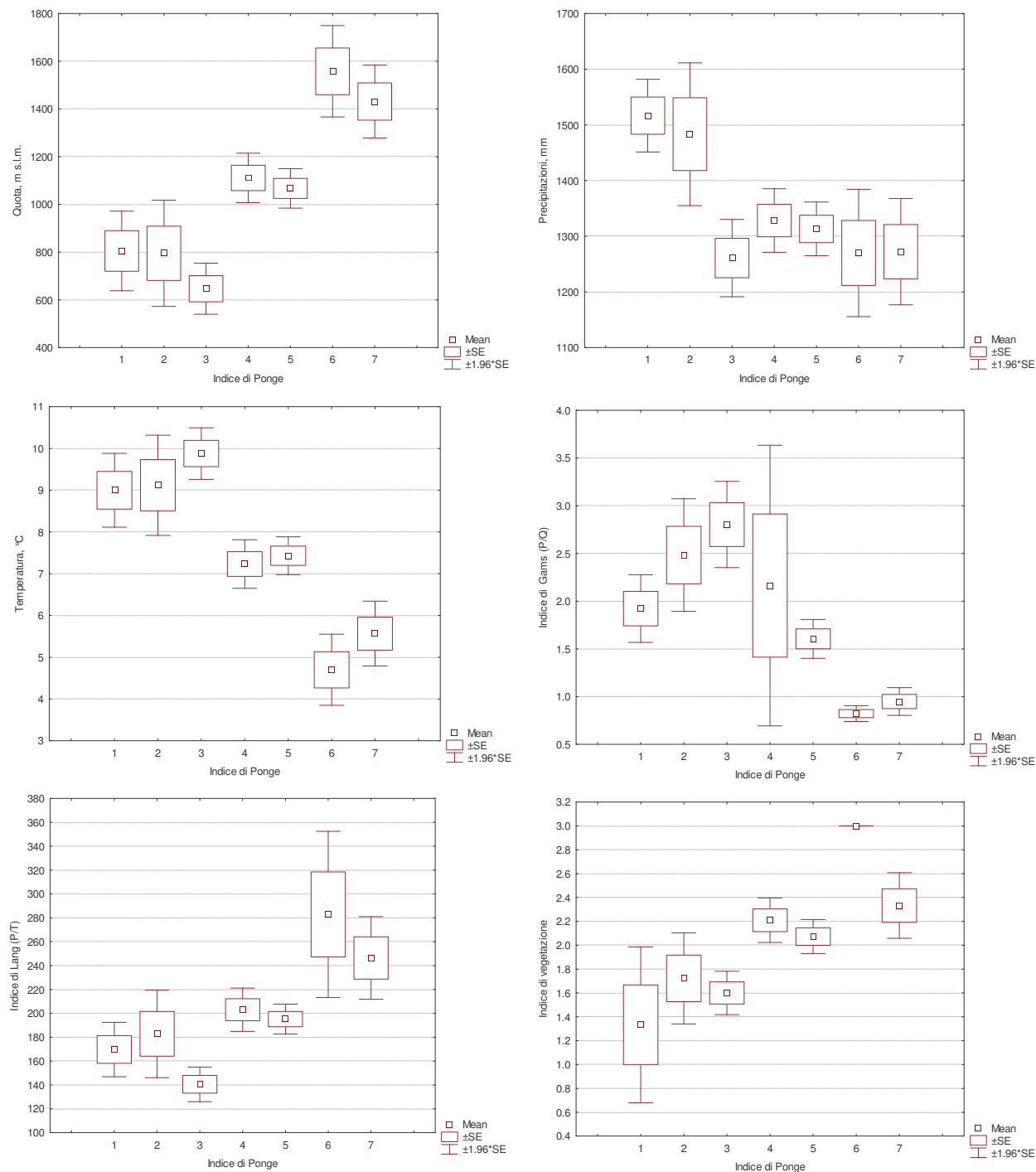


Figura 2. Valori medi e intervalli di confidenza per i singoli fattori ambientali in relazione alla tipologia di humus, espressa come indice di Ponge.

Al fine di ottenere una prima indicazione, di come i diversi fattori edafici e ambientali possano influenzare la formazione di un particolare tipo di humus, sono stati calcolati i coefficienti di correlazione tra le variabili considerate. Tale analisi rivela che l'indice di Ponge mostra una correlazione statisticamente significativa e di segno positivo con la quota ( $r = 0.30$ ), l'indice di Lang ( $r = 0.23$ ), le percentuali di sabbia ( $r = 0.22$ ) e di C organico ( $r = 0.25$ ), e la presenza dell'orizzonte OH ( $r = 0.87$ ). Correlazioni significative ma di segno negativo si hanno con la temperatura ( $r = -0.31$ ), l'indice di Gams ( $r = -0.32$ ), la percentuale di argilla ( $r = -0.21$ ) e il pH in  $H_2O$  ( $r = -0.32$ ). L'insieme di tali correlazioni evidenziano una tendenza piuttosto netta: le forme di humus più attive sono localizzate tendenzialmente a quote più basse, in ambienti con temperature medie più elevate, su suoli con pH da sub-acido a sub-alcalino e con contenuti non elevati di carbonio organico nel primo orizzonte (mediamente inferiori al 6%). Va tuttavia rilevata la grande dispersione osservabile all'interno delle classi più numerose ( $I_{Ponge}$  3, 4 e 5: *Oligomull*, *Dysmull* e *Amphimull*), per le

quali questo tipo di analisi non evidenzia delle relazioni univoche tra variabili pedo-ambientali e forme di humus.

L'analisi della varianza per classi ha permesso di determinare la significatività per ciascuna forma di humus (espressa come  $I_{\text{Ponge}}$ ) dei valori medi di quota, esposizione, temperatura, indice di Gams, indice di Lang e indice di vegetazione (figura 2) utilizzando test di significatività delle medie corretti per la diversa consistenza numerica dei gruppi (Tukey-Kramer unequal N HSD test).

Nel caso della quota gli intervalli di confidenza dei valori medi consentono di evidenziare tre fasce altimetriche ben distinte: la prima al di sotto dei 1000 metri s.l.m., nella quale troviamo le forme con valori di indice da 1 a 3 (*Eumull*, *Mésomull*, *Oligomull*), una seconda tra 1000 e 1200 metri caratterizzata dalle forme con valore di indice 4 e 5 (*Dysmull* e *Amphimull*), e infine una terza a quote >1300 metri in cui si ritrovano le forme con indice 6 e 7 (*Eumoder* e *Dysmoder*). Le differenze statisticamente significative ad un livello di probabilità pari al 95% sono quelle tra i valori medi dell'indice 2 (795 m s.l.m.) e 7 (1431 m s.l.m.), e quelle tra l'indice 3 (647 m s.l.m.) e 4 (1111 m s.l.m.), 5 (1067 m s.l.m.), 6 (1558 m s.l.m.) e 7. Ad un livello di probabilità pari al 90% risulta significativa anche la differenza tra l'indice 2 e l'indice 6.

Un'analoga ripartizione, e altrettanto netta, è osservabile per quanto riguarda i valori medi delle temperature. Il primo gruppo di forme di humus presenta valori medi di temperatura  $\geq 9^\circ \text{C}$ , ed è caratterizzato da valori progressivamente crescenti passando dal mull più attivo (*Eumull*) alle forme relativamente meno attive (*Mésomull*, *Oligomull*). Il secondo gruppo ha valori medi intorno ai  $7^\circ \text{C}$ , e il terzo ha inferiori ai  $5,5^\circ \text{C}$ . Le differenze statisticamente significative ad un livello di probabilità pari al 95% sono le stesse osservate per la quota, alle quali si aggiunge anche differenza tra l'indice 2 e l'indice 6.

Gli stessi ben distinti tre raggruppamenti sono evidenziabili considerando l'indice di Lang (rapporto tra precipitazioni e temperature medie annue). Il primo gruppo ha valori di indice di Lang  $< 180$ , il secondo gruppo valori compresi tra 195 e 205, il terzo valori medi  $> 240$ . Le differenze statisticamente significative sono presenti tra i valori medi della classe 3 ( $I_{\text{Lang}} = 141$ ) rispetto alle classi 4 ( $I_{\text{Lang}} = 203$ ), 5 ( $I_{\text{Lang}} = 195$ ), 6 ( $I_{\text{Lang}} = 283$ ) e 7 ( $I_{\text{Lang}} = 246$ ).

A differenza della quota, della temperatura e dell'indice di Lang, l'esposizione non sembra giocare alcun ruolo nel determinare lo sviluppo di diverse forme di humus. I valori medi sono infatti tutti ravvicinati, e non si rilevano differenze statisticamente significative.

Per quanto riguarda le precipitazioni è possibile osservare due gruppi ben separati di forme di humus. Il primo gruppo, con valori medi intorno ai 1500 mm/anno, comprende i mull molto attivi ( $I_{\text{Ponge}}$  da 1 a 2: *Eumull* e *Mésomull*). Il secondo, con valori medi tra 1260 e 1330 mm/anno, comprende i mull meno attivi e i moder ( $I_{\text{Ponge}}$  da 3 a 7: *Oligomull*, *Dysmull* e *Amphimull*, *Eumoder* e *Dysmoder*). Anche in questo caso non si osservano tuttavia differenze statisticamente significative.

Nel caso dell'indice di Gams (rapporto tra precipitazioni e quota), non si individuano gruppi chiaramente distinti, quanto piuttosto un trend nei valori medi che crescono costantemente per i valori di indice di Ponge tra 1 e 3, per poi decrescere tra 4 e 7. Anche qui non si rilevano differenze statisticamente significative, e gli intervalli di confidenza, in particolar modo per la classe con indice 4 (*Dysmull*) sono piuttosto ampi.

L'indice di vegetazione mostra un chiaro trend crescente al crescere dell'indice di Ponge, con differenze statisticamente significative tra la classe con indice 3 (*Oligomull*) e le classi 4, 5, 6 e 7 (*Dysmull* e *Amphimull*, *Eumoder* e *Dysmoder*). In altre parole le forme di humus indicizzate con l'indice citato sono legate, tra gli altri fattori, a residui progressivamente meno facilmente decomponibili.

Riassumendo i dati sopra esposti, si può affermare che sembrano esserci nel complesso dei legami piuttosto stretti tra forme di humus e parametri ambientali. Sebbene non si tratti mai di relazioni univoche tra un dato parametro ambientale (o indice climatico) e una data forma di humus, si evidenziano pur sempre dei rapporti tra la maggior parte dei parametri dell'ambiente e determinati gruppi di forme di humus. Le forme di humus più attive sono legate alle quote più basse e agli ambienti più caldi e piovosi (le Prealpi), con vegetazione di latifoglie. Come si vedrà in seguito, tali relazioni possono essere impiegate nella messa a punto di strumenti atti a prevedere la presenza delle varie forme di humus nei diversi ambienti.

L'analisi della varianza per classi è stata effettuata anche su un set di variabili riguardanti l'orizzonte organo-minerale di superficie del suolo (orizzonte A), vale a dire pH, percentuali di argilla, sabbia, scheletro e carbonio organico (figura 3). Nel caso del pH è possibile osservare due gruppi ben distinti di forme di humus. Il primo gruppo comprende le forme con indice di Ponge da 1 a 5 (*Eumull*, *Mésomull*, *Oligomull*, *Dysmull* e *Amphimull*), e mostra valori medi di pH dell'orizzonte A superiori a 5.5. Il secondo gruppo, costituito dalle forme di humus con indice 6 e 7 (*Eumoder* e *Dysmoder*), ha valori medi di pH inferiori a 5.5. I test di significatività rilevano come statisticamente significative le differenze tra i valori della classe 7 e le classi da 2 a 5, e tra la classe 6 e le classi 2, 3 e 5.

L'analisi del carbonio mostra un'analogia suddivisone, seppure meno netta, tra forme di tipo mull ( $I_{\text{Ponge}}$  da 1 a 5) e forme di tipo moder ( $I_{\text{Ponge}}$  6 e 7). Nel primo gruppo i valori medi del contenuto di carbonio organico nel topsoil sono inferiori al 6%, mentre nel secondo gruppo sono mediamente superiori a 7,5%. E' da notare il basso contenuto (<4,5%) della classe 3 (*Oligomull*)<sup>3</sup>. La sola differenza statisticamente significativa si osserva tra la classe con indice 3 (*Oligomull*) e quella con indice 7 (*Dysmoder*).

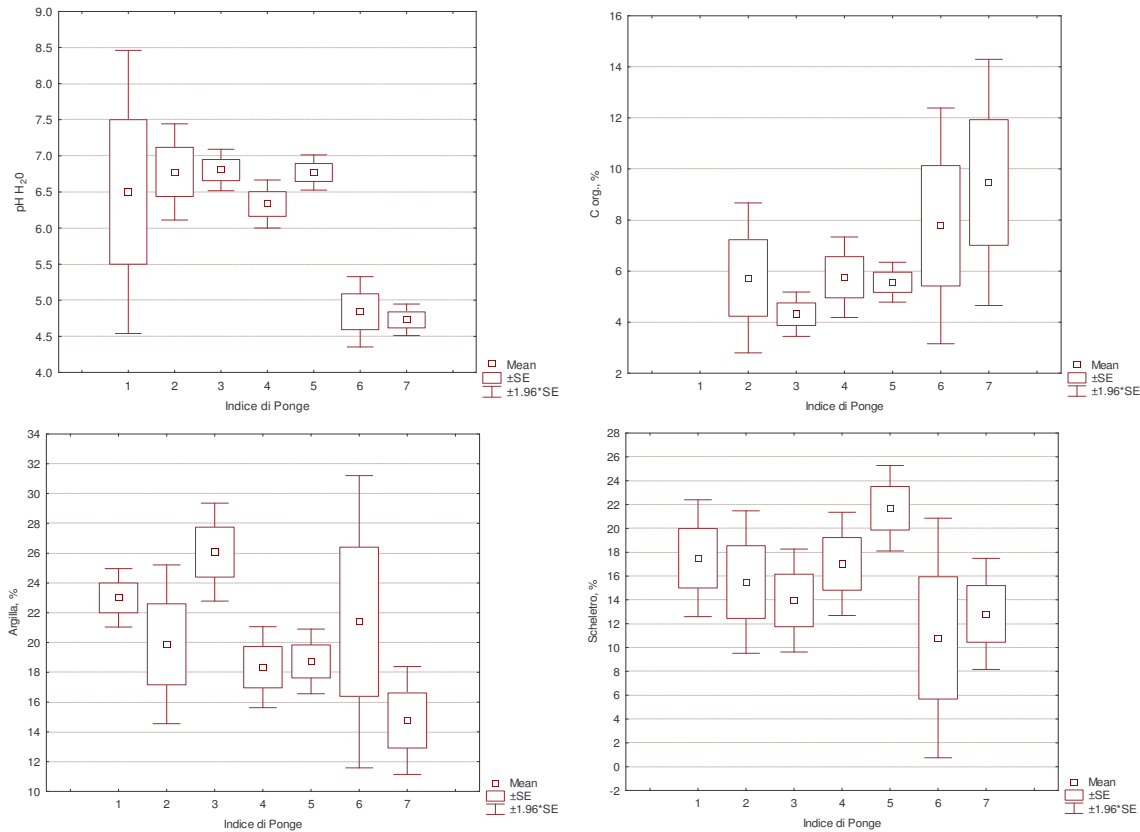


Figura 3. Valori medi e intervalli di confidenza per i singoli fattori edafici in relazione alla tipologia di humus, espressa come indice di Ponge.

Per quanto riguarda il contenuto di argilla solo due tipi di forme di humus mostrano valori ben caratterizzati, mentre tutte le altre hanno valori simili. Le forme con indice 3 (*Oligomull*) hanno infatti contenuti relativamente alti della frazione argillosa (26%), mentre le forme con indice 7 (*Dysmoder*) hanno contenuti relativamente bassi (15%). Le differenze significative si osservano tra la classe con indice 3 (*Oligomull*) e quelle con indice 4 (*Dysmull*), 5 (*Amphimull*) e 7 (*Dysmoder*). Un analogo comportamento, seppure di segno opposto, e seppure meno accentuato, si rileva anche per il contenuto di sabbia. Le forme con indice 3 (*Oligomull*) hanno contenuti relativamente bassi di sabbia (21%), mentre le forme con indice 7 (*Dysmoder*) hanno contenuti relativamente alti (37%). L'unica differenza significativa si osserva in questo caso tra la classe con indice 3 (*Oligomull*) e quella con indice 7 (*Dysmoder*).

L'analisi della presenza di scheletro mostra che il valore medio per la classe 5 (*Amphimull*) è il più alto fra quelli osservati (22%), e si allontana abbastanza da quelli relativi alle classi 6 (11%) e 7 (13%). Non è tuttavia osservabile alcuna differenza statisticamente significativa.

Le variabili pedologiche prese in considerazione sembrano essere nel complesso meno rilevanti di quelle ecologico-ambientali per spiegare la presenza delle varie forme di humus. I valori di pH e le percentuali di argilla del topsoil forniscono comunque delle informazioni molto utili, in particolare per quanto riguarda la caratterizzazione delle forme moder e della forma *Oligomull*. Le forme di humus con indice 6 (*Eumoder*) e 7 (*Dysmoder*) risultano in particolare essere legate a topsoil con pH <5,2 (sono quindi legate a suoli acidi,

<sup>3</sup> Gli Oligomull sono tipicamente presenti, come provato anche dai dati di questo lavoro (in particolare le relazioni con pH e tessitura), su *Luvolsols* (suoli bruni lisciviati) a tessitura fine, provvisti di un orizzonte A moderatamente acido con intensa mineralizzazione, e appunto basso contenuto in carbonio.

sviluppati, come visto in precedenza, da materiali silicatici). E' da notare che questa soglia di acidità corrisponde esattamente con la soglia indicata dai biologi del suolo (pH 4,2 in CaCl<sub>2</sub>) al di sotto della quale nel suolo non si ha più attività di lombrichi (tipica dei mull e assente nei moder), in relazione alla presenza di alluminio nella soluzione circolante (Graefe, 2006). E' evidente che tali soglie possono essere utilizzate, in concomitanza con quelle ambientali, per predire la presenza delle varie forme di humus.

Al fine di capire quali siano le variabili pedo-ambientali maggiormente influenti sullo sviluppo delle diverse forme di humus, quale sia il loro peso rispettivo e in che modo interagiscano tra loro, sono state applicate l'analisi fattoriale e l'analisi delle componenti principali. Queste, previa trasformazione dei dati al fine di standardizzarne la varianza, hanno permesso di ridurre le numerose variabili indipendenti a un numero limitato di fattori in rapporto con la variabilità osservata nelle forme di humus, classate secondo l'indice di Ponge.

Tabella 2. Autovalori e varianza spiegata da ciascun fattore.

Fattori	Autovalori	Varianza %	Autovalori cumulati	Varianza cumulata %
1	3.79	37.91	3.79	37.91
2	1.48	14.79	5.27	52.71
3	1.36	13.63	6.63	66.33
4	1.01	10.99	7.73	77.32
5	0.96	9.56	8.69	86.88
6	0.74	7.36	9.42	94.24
7	0.40	4.00	9.82	98.24
8	0.18	1.76	10.00	100.00

Nella tabella 2 sono riportati gli autovettori ed i relativi autovalori risultati dall'analisi. Come si osserva dai valori riportati nella tabella, il primo fattore spiega il 38% della varianza, il secondo il 15%, il terzo circa l'13%, ed il quarto circa l'11%. Complessivamente i primi quattro fattori spiegano più del l'75% della varianza totale). I pesi fattoriali (*loadings*) sono riportati nella tabella 3: all'interno del primo fattore pesano in maniera prevalente le variabili climatiche (quota, temperatura, indice di Gams e indice di Lang). Al secondo fattore contribuiscono, con segno opposto, le due frazioni granulometriche (argilla e sabbia). Il terzo fattore è prevalentemente attribuito al pH, e in misura minore al contenuto in scheletro, mentre il quarto alle sole precipitazioni. Gli *scatterplot* ottenuti dall'elaborazione consentono di discriminare in maniera chiara alcune forme di humus quali i *Dysmoder*, gli *Eumoder* e i *Mésomull*.

Tabella 3. Pesì fattoriali delle variabili per i primi quattro fattori. I valori evidenziati in grassetto indicano cluster di variabili

	Factor 1	Factor 2	Factor 3	Factor 4
Quota	<b>-0.968</b>	-0.074	0.003	0.107
Esposizione	0.041	0.019	0.378	0.220
Precipitazioni	-0.027	-0.057	0.051	<b>0.962</b>
Temperatura	<b>0.951</b>	0.127	0.011	0.135
Indice di Gams	<b>0.959</b>	0.056	0.013	0.184
Indice di Lang	<b>-0.901</b>	-0.147	0.015	0.351
pH	0.026	0.212	<b>0.816</b>	-0.166
Argilla	0.093	<b>0.829</b>	0.237	-0.202
Sabbia	-0.139	<b>-0.771</b>	0.182	-0.102
Scheletro	-0.094	-0.380	<b>0.674</b>	0.033

Nella figura 4 si osserva per esempio come i fattori 1 (parametri climatici) e 3 (pH) permettano di separare in maniera soddisfacente i *Mésomull* dai *Dysmoder*. Alcune forme come gli *Amphimull*, e secondariamente gli *Oligomull*, sono però sostanzialmente "ubiquitarie", in quanto in nessuna possibile combinazione di fattori mostrano dei cluster ben distinti. L'osservazione degli *scatterplot* permette pur sempre, tuttavia, di ottenere alcune utili indicazioni. Nello *scatterplot* del fattore 1 (parametri climatici) e 2 (tessitura), il cluster degli *Oligomull* e quello dei *Dysmull* sono in particolare in gran parte sovrapposti (figura 5), ma il secondo si spinge anche nel quadrante inferiore sinistro, corrispondente a tessiture del suolo sabbiose e condizioni

climatiche sfavorevoli, dove il secondo non è presente. Il cluster dei *Mésomull*, sovrapposto in gran parte a quello degli *Oligomull* non esce, all'opposto, dai 2 quadranti corrispondenti a un clima più favorevole.

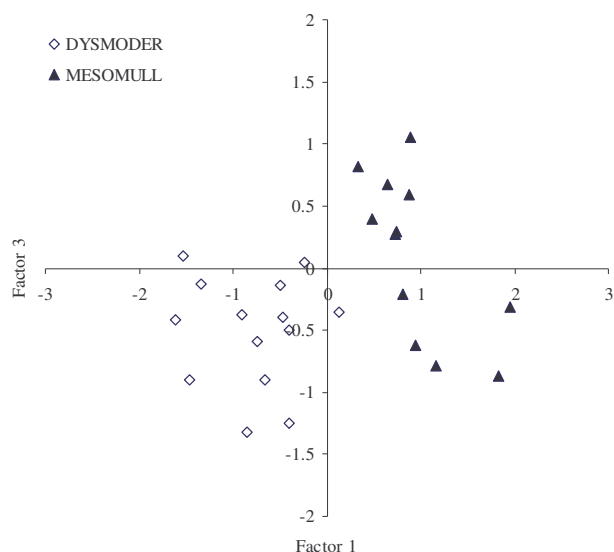


Figura 4. Analisi fattoriale: fattore 1 vs. fattore 3.

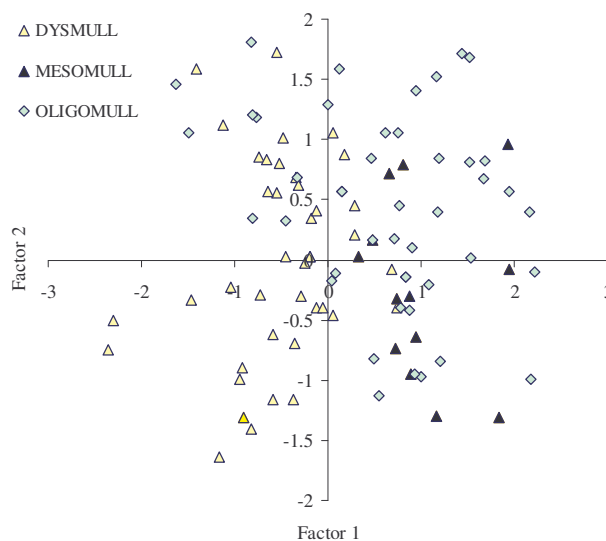


Figura 5. Analisi fattoriale: fattore 1 vs. fattore 2.

Nel complesso si può dire che l'analisi fattoriale consente di separare le forme di humus tipiche di condizioni ambientali e edafiche ben particolari, quali appunto i *Dysmoder*, caratteristici come visto anche in precedenza di ambienti freddi e di suoli molto acidi, o gli *Oligomull*, legati a condizioni climatiche temperate e subacidi. In questi casi un numero di fattori limitato sembra pesare in modo determinante per spiegare la presenza di una ben precisa forma di humus. La diffusione spaziale della maggior parte delle altre forme di humus più frequenti sembra invece dipendere dall'interazione tra un numero elevato di fattori ambientali e edafici, e dall'equilibrio che ne risulta. Come dimostrato dall'analisi dalle correlazioni semplici e dall'analisi della varianza per classi molti singoli fattori svolgono un ruolo ben evidente, ma non sembra che sia individuabile un'unica gerarchia di importanza tra i fattori, valida per tutte le forme di humus e per tutti gli ambienti.

#### *Proposta di una tabella multientrata per la stima della forma di humus*

Le relazioni statistiche e gli strumenti predittivi di tipo statistico illustrati consentono, in alcuni casi con un ragionevole margine di accuratezza, di stimare la forma di humus (espressa come  $I_{\text{Pongé}}$ ) a partire dalle variabili ambientali e pedologiche. Gli intervalli di confidenza delle medie osservate per ciascuna variabile, permettono in particolare di definire degli intervalli di variabilità di riferimento relativamente alle diverse tipologie di humus. Sulla base di tali intervalli di valori è stata allestita in prima approssimazione, in attesa di ulteriori verifiche e approfondimenti (in loco e nelle regioni montane adiacenti), una tabella multientrata che è in grado di dare indicazioni sulle forme di humus presumibilmente presenti in determinate condizioni ambientali e pedologiche (tabella 4).

L'osservazione della tabella permette di constatare che determinate forme di humus – o almeno gruppi di forme di humus – sono caratterizzate da ben definiti parametri ambientali e edafici. E' il caso per esempio del gruppo dei moder ( $I_{\text{Pongé}}$  6 e 7: *Eumoder* e *Dysmoder*), che sono accomunati da valori dei parametri ambientali (e in particolare  $I_{\text{Lang}}$ ) e edafici (in particolare acidità e tessitura grossolana)<sup>4</sup> differenti da quelli delle altre forme. Ed è il caso anche dei mull mediamente attivi ( $I_{\text{Pongé}}$  3: *Oligomull*), che presentano valori dell'Indice di Lang e di quota ben definiti. Nella maggior parte dei casi invece forme di humus "vicine" presentano intervalli di valori più o meno ravvicinati per uno o più caratteri, o anche coincidenti, e quindi solo una o più variabili acquistano carattere discriminante.

<sup>4</sup> Caratteri a loro volta legati ai materiali parentali silicatici (filladi, arenarie acide, riodaciti) da cui derivano i suoli.



In particolare la tabella non consente di separare le due classi più diffuse, i *Dysmull* e gli *Amphimull* ( $I_{\text{Ponge}}$  rispettivamente 4 e 5). Queste due forme sono infatti caratterizzate da una sostanziale coincidenza in termini di valori medi e di intervalli di variabilità delle variabili pedo-ambientali utilizzate come possibili predittori. Solo il pH dell'orizzonte A è più basso nei *Dysmull* (6-6,5) rispetto agli *Amphimull* (6,5 – 7,0)<sup>5</sup>, ma è evidente che tale modesta differenza riguardante il suolo sottostante non può essere di per sé di grande utilità.

Tabella 4.

Indice di Ponge	1	2	3	4	5	6	7
Quota (m s.l.m.)	700-900	700-900	<700	1000-1200	1000-1200	>1200	>1200
Precipitazioni (mm/anno)	1400-1550	1400-1550	<1300	1300-1400	1300-1400	1200-1350	1200-1350
Temperatura media (°C)	8-10	8-10	>9,5	7-8	7-8	<5	5-6
Indice di Lang	160-180	160-220	130-150	195-215	190-200	>250	230-270
Indice di Gams	1,7-2,1	2,2-2,8	2,6-3	1,4-2,9	1,4-1,8	<1	<1
C org. (%)	-	4,2-7,2	3,9-4,8	5,0-6,6 (<6,0 substrato acido)	5,2-6,0 (5,5-8,5 substrato acido)	5,4-10	7-12
pH	5,5-7,5	6,4-7,1	6,6-7,0	6,0-6,5	6,5-7,0	4,6-5,1	4,6-4,8
Argilla (%)	22-24	17-23	24-28	17-20	17-20	16-26	13-17
Sabbia (%)	15-40	30-34	20-23	27-32	27-32	27-45	35-40
Scheletro (%)	15-20	13-20	12-16	15-20	20-25	5-15	10-15
Vegetazione	1 (2)	1 (2)	1 (2)	3 (2)	2 (3)	3	3 (2)

Nel valutare la tabella occorre tenere presente che i valori riportati indicano intervalli di riferimento per i valori medi attesi e non sono rappresentativi dei range di variabilità osservabili. E come è ovvio uno strumento di questo tipo, anche migliorato, non può sostituirsi interamente al lavoro di campagna e agli studi di dettaglio, in quanto solo questi ultimi possono definire con certezza quale forma – o quali forme, vista la grande variabilità spaziale degli orizzonti organici - di humus sono presenti nel dato ambiente (Sartori e Chersich, 2007). Analogamente a quanto succede per i modelli suolo paesaggio (Garlato et al., 2007), esso può però guidare la pianificazione del rilevamento di campo, rendendolo più spedito e più efficace, e può consentire l'ottenimento, a partire dalle informazioni contenute nella banche dati, di elaborati cartografici predittivi (Scull et al., 2003). Questi ultimi strumenti saranno tanto più necessari in futuro, a fronte della grande variabilità già citata, se si considerano le limitate risorse economiche destinabili ai rilievi di terreno nelle aree non coltivate.

## Conclusioni

Le analisi statistiche effettuate rivelano il ruolo espletato dai fattori ambientali e edafici (e quindi indirettamente dai materiali parentali), sulla distribuzione spaziale delle forme di humus a livello regionale. I mull più attivi (*Eumull*, *Mésomull* e *Oligomull*) sono localizzati, in ambiente calcareo, a quote più basse, in ambienti con temperature medie più elevate, su suoli con pH da sub-acido a sub-alcario. I mull meno attivi (*Dysmull* e *Amphimull*), sempre in ambiente calcareo, sono legati a temperature inferiori, in concomitanza con altri eventuali fattori limitanti, e in particolare una vegetazione con residui non facilmente decomponibili. I moder (*Eumoder* e *Dysmoder*) sono in relazione con un clima ancora più freddo, e con suoli a tessitura relativamente grossolana e reazione acida, caratteri legati a materiali parentali silicatici.

Il rapporto relativamente stretto tra fattori ambientali e forme di humus rispecchia la relativa naturalità, nonostante il popolamento e l'uso millenario delle superfici, degli ambienti alpini e prealpini esaminati. La relativa naturalità, legata anche a una selvicoltura orientata da diversi decenni verso un approccio di tipo conservativo, fa delle Alpi italiane una zona propizia per lo studio delle forme di humus e per la comprensione della loro funzionalità. Nelle aree forestate di molte altre regioni europee, gli impatti diretti (es. la coltivazione in tempi passati) e/o gli apporti atmosferici (Baritz, 2003), o anche solo una selvicoltura con tagli rasi (Bernier et al., 1993), alterano o occultano l'equilibrio tra ambiente e humus.

<sup>5</sup> Tale valore, che riguarda l'insieme degli *Amphimull*, si alza a 7-7,5 negli *Amphimull* sviluppati su materiali carbonatici.

Studi ulteriori dovranno cercare di spiegare la presenza delle forme *Amphimull*, assenti nelle Alpi settentrionali, e la loro eventuale relazione con parametri climatici non ancora indagati (quali la siccità estiva). Nel vasto e per certi versi eterogeneo gruppo degli *Amphimull* andranno poi distinte le differenti sottospecie, e in particolare i prevalenti “*Amphimull calcarei*”, su suoli carbonatati, e i meno frequenti “*Amphimull acidi*”, su suoli acidi.

### **Bibliografia**

- AFES, 1995. Référentiel Pédologique. I.N.R.A., Paris, pp. 222.
- ARPAV, 2005. Carta dei suoli del Veneto. Osservatorio Regionale Suolo, Castelfranco Veneto (TV).
- BARITZ R., 2003. Humus forms in forest of Northern German lowlands. *Geologisches Jahrbuch*, Hannover, pp. 145.
- BERNIER N., PONGE J.F., ANDRE J., 1993. Comparative study of soil organic layers in two bilberry-spruce forest stands (Vaccinio-Piceetea). Relation to forest dynamics. *Geoderma*, 59: 89-108.
- BRETHES A., BRUN J.J., JABIOL B., PONGE J.F., TOUTAIN F., 1995. Classification of humus form: a French proposal. *Ann. Sci. For.*, 52, 535-546.
- CALABRESE S., MANCABELLI A., NICOLINI G., SARTORI G., ZANELLA A., 1996. Studio degli Humus forestali del Trentino. Report n. 9, Centro di Ecologia Alpina, Trento, pp. 53.
- CALABRESE 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.
- GARLATO A., OBBER S., SARTORI G., VINCI I., 2007 – Modelli suolo paesaggio nella cartografia pedologica a scala di riconoscimento delle Alpi. Atti convegno “Stelvio Settanta” (Bagni di Rabbi, 8-11 settembre 2005), in stampa.
- GRAEFE U., BEYLINK A., 2006. Humus forms as tool for upscaling soil biodiversity data to landscape level? *Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft*, Vol.108: 6-7.
- GREEN R.N., TROWBRIDGE R.L., KLINKA K., 1993. Towards a taxonomic classification of humus forms. *For. Sci. Monogr.* 29, 1- 49.
- JABIOL B., ZANELLA A., ENGLISCH M., HAGER H., KATZENSTEINER K., DE WAALS R.W., 2004. Towards a european classification of terrestrial humus forms. *Eurosoil - Freiburg*. September 4-12.
- JABIOL B., FELLER CH., GREVE M.H., 2005. Quand l’humus est à l’origine de la pédologie. 2. Avant et après Müller: évolution des conceptions sur la description et la typologie « des humus »- *Etude et Gestion des Sols*, Vol. 12, 2: 123-134.
- JABIOL B., BRETHES A., PONGE J.F., JABIOL B., TOUTAIN F., BRUN J.J., 2007. L’Humus sous toutes ses formes (2<sup>e</sup> édition). *ENGREF*, Nancy, pp. 68.
- PONGE J.F., 2000. Biodiversité et biomasse de la faune du sol sous climat tempéré. *C.R. Acad. Agr. Fr.*
- PONGE J.F., 2003. Humus forms in terrestrial ecosystems: a framework to biodiversity. *Soil Biol. Biochem.* 35: 935-945.
- PONGE J.F., CHEVALIER R., LOUSSOT P., 2002. Humus index : an integrated tool for the assessment of forest floor and topsoil properties. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 66, 1996-2001.
- SARTORI G., MANCABELLI A., CORRADINI F., WOLF U., 2005 – Atlante dei suoli del Parco Adamello-Brenta. Suoli e paesaggi. *Monogr. Museo Trident. Sci. Nat.*, II, 239.
- SARTORI G., CHERSIC S. (a cura di), 2007. I suoli della Piana delle Viote. *Paesaggi, suoli e forme di humus*. Report n. 39, Centro di Ecologia Alpina, pp. 112.
- SCULL P., FRANKLIN J., CHADWICK O.A., McARTHUR D., 2003. Predictive soil mapping: a review. *Progress in Physical Geography* 27, 2: 171-197.
- VAN DELFT B., DE WAAL REIN, KEMMERS R., MEKKING P., 2006. Humus Forms. Description and classification of humus forms for ecological applications. *Alterra*, Wageningen, pp. 92.