



DIPARTIMENTO DI SCIENZE AGRARIE ALIMENTARI E AMBIENTALI

CORSO DI LAUREA IN: SCIENZE FORESTALI E AMBIENTALI

HUMUS ATIPICO,
FIGLIO DI UNA PEDOGENESI AVVELENATA
ATYPICAL HUMUS, SON OF A POISONED PEDOGENESIS

TIPO TESI: compilativa

Studente:
MATTEO BARTOLETTI

Relatore:
PROF. CRISTIANO CASUCCI

ANNO ACCADEMICO 2022-2023
SESSIONE DI LAUREA AUTUNNALE

“So many people live within unhappy circumstances and yet will not take the initiative to change their situation because they are conditioned to a life of security, conformity, and conservatism, all of which may appear to give one peace of mind, but in reality nothing is more dangerous to the adventurous spirit within a man than a secure future. The very basic core of a man’s living spirit is his passion for adventure. The joy of life comes from our encounters with new experiences, and hence there is no greater joy than to have an endlessly changing horizon, for each day to have a new and different sun.”.

-Christopher McCandless

SOMMARIO

ELENCO DELLE TABELLE.....	4
ELENCO DELLE FIGURE	5
INTRODUZIONE E SCOPO DELLA TESI	6
CAPITOLO 1 L'HUMUS: "TRA DEFINIZIONE E TASSONOMETRIA"	8
1.1 "Cos'è l'humus".....	8
1.2 "Tassonomia dell'humus"	9
1.2.1 "Orizzonti diagnostici organici (O)".....	9
1.2.2 "Orizzonti diagnostici organo-minerali (A)"	10
1.2.3 "Classificazione morfo-funzionale dell'humus"	11
CAPITOLO 2 L'HUMUS COME STRUMENTO PER IL MONITORAGGIO AMBIENTALE	13
2.1 "Humus Index"	13
2.2 "Anomalie nelle forme di humus campionate".....	15
2.3 "Confronto tra humus index e altri parametri di monitoraggio biologico".....	16
CAPITOLO 3 FORME DI HUMUS ATIPICHE: COME SI FORMANO E COSA INDICANO	19
3.1 Humus atipico	19
3.1.1 Diagramma evolutivo	25
3.1.2 Differenze e similitudini con i technosols	30
CONCLUSIONI	33
BIBLIOGRAFIA	34

ELENCO DELLE TABELLE

Tabella 2-1: Tabella che raccoglie i valori dell'humus campionato nei vari pozzetti	14
Tabella 2-2: Tabella di confronto tra la veridicità statistica	16

ELENCO DELLE FIGURE

Figura 0-1: Area di studio	7
Figura 3-1: Forme di humus naturali	22
Figura 3-2: Forme di humus degradato tipiche e non	22
Figura 3-3: Forme di humus rigenerato non tipiche con analogie e non.....	23
Figura 3-4: Diagramma evolutivo ipotizzato dagli studiosi.....	26

INTRODUZIONE E SCOPO DELLA TESI

Lo scopo della tesi è quello di far luce e chiarezza su nuove forme di humus, “figlie di una pedogenesi avvelenata”, che sono state rilevate e studiate negli ultimi anni da Irina N. Korkina e Evgenii L. Vorobeichik due studiosi della Institute of Plant and Animal Ecology, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences.

Tra il 2016 e il 2023 quest’ultimi hanno eseguito tre studi nell’area che circonda la Middle Ural Copper Smelter (MUCS), una fonderia di rame in funzione dal 1940 situata al confine geografico tra Europa e Asia, a nord della città di Revda e 50 km a ovest di Ekaterinburg, capoluogo della regione di Sverdlovsk (Figura 0-1).

Le caratteristiche del territorio sono quelle di una taiga: il clima è continentale con un’elevata escursione termica tra il giorno e la notte e le temperature medie stagionali variano fortemente da un +17,8°C a luglio e un -14,2°C a gennaio (valori medi calcolati tra il 1975 e il 2015).

La vegetazione del luogo è principalmente arborea, le foreste di conifere dominano il panorama e la specie dominante nell’area di studio, posta a ovest della fabbrica, è l’abete rosso (*Picea abies*).

Gli studiosi hanno scelto questo come luogo di studio date le elevate emissioni di gas tossici nell’atmosfera contenenti zolfo, azoto, fluoro e metalli pesanti, tra cui rame, piombo, zinco, ferro, mercurio, cadmio e arsenico.

Le emissioni hanno toccato un massimo nel 1970 di 350'000 tonnellate in un solo anno, poi hanno iniziato a decrescere progressivamente fino ad arrivare al 2010 con valori tra le 3'000 e le 5'000 tonnellate all’anno.

Questi numeri hanno “incoronato” la MUCS come una delle fonti d’inquinamento più importanti della Russia dell’ultimo secolo.

Questo, sommato al fatto che nel 2010 la sua emissività è diminuita di settanta volte rispetto al picco massimo raggiunto 40 anni prima rendono l’area intorno alla fonderia il luogo di studio perfetto per valutare i danni che i decenni di emissioni hanno causato all’ecosistema e gli eventuali segni di ripristino, se presenti.

L'elaborato è strutturato in tre capitoli nei quali illustrerò in primis la European humus reference base con lo scopo di fare in modo che ogni lettore possa comprendere i successivi due capitoli in cui affronterò invece l'analisi vera e propria delle forme di humus atipiche, partendo dalla loro scoperta nel 2016, passando poi per la loro analisi e proposta di classificazione avvenuta nel 2021.

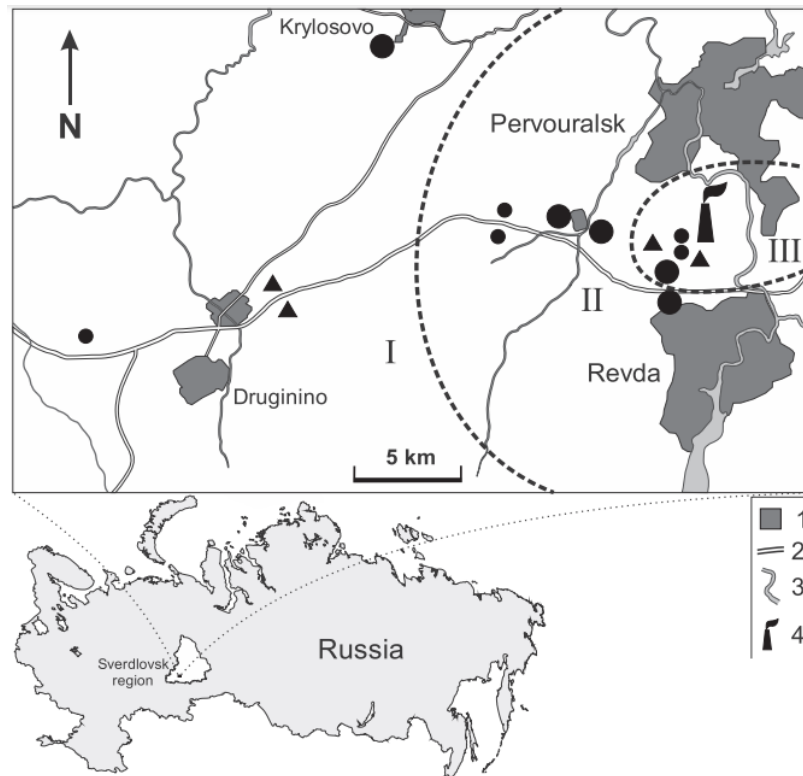


Figura 0-1: Area di studio.

I numeri romani indicano le zone di inquinamento: (I) sfondo, (II) cuscinetto e (III) impatto.

I simboli indicano (1) gli insediamenti; (2) l'autostrada; (3) i fiumi e i corpi idrici; (4) la Middle Ural Copper Smelter.

Capitolo 1

L'HUMUS: TRA DEFINIZIONI E TASSONOMETRIA

1.1 Cos'è l'humus:

Dal latino humus, "suolo, terra, terreno".

“L'humus del suolo e, in generale la sostanza organica nell'ambiente, è composto da un insieme di molecole eterogenee di peso molecolare relativamente modesto, di carattere prevalentemente idrofobico che sono tenute insieme da forze deboli più che da legami chimici stabili come quelli presenti nei veri e propri biopolimeri. Il risultato è quello di un'associazione supramolecolare di dimensione molecolare solo apparentemente grande ma che in realtà è facilmente disaggregabile in frazioni di dimensioni inferiori in presenza di particolari composti organici dei suoli e delle acque” (Piccolo et al, 1990).

Parlando invece di collocazione spaziale all'interno dei profili del suolo l'humus occupa la superficie di quest'ultimo ed è anch'esso suddivisibile in vari orizzonti organici (O) e organo minerali (A).

La sua capacità di variare velocità e modalità di degradazione e incorporazione della materia organica all'interno dei propri orizzonti a seconda dell'ecosistema in cui si trovi è la principale motivazione per la quale, dalla fine dell'Ottocento fino ad oggi, la comunità scientifica lavora per creare metodi di classificazione sempre più all'avanguardia ed efficaci. Il sistema di classificazione Europeo introdotto nel 2011, tuttora attivo e aggiornato, mira ad essere quello definitivo, infatti è creato per consentire un approccio elastico e aperto a interpretazioni aggiuntive da parte di chi lo utilizza.

1.2 Tassonomia dell'humus:

Le tipologie di humus vanno incontro a diversi livelli di suddivisione, la prima è quella tra terrestri e semisommersi.

Nel nostro caso andremo ad avere a che fare unicamente con humus terrestri ovvero quelli che non sono mai, o solo per pochi giorni l'anno, sommersi e quindi saturi d'acqua.

Gli humus terrestri a loro volta si suddividono in terroformi, entiformi e paraformi. (Augusto Zanella, Bernard Jabiol, Jean-François Ponge, Giacomo Sartori, Rein de Waal, et al.. European Humus Forms Reference Base. 2011.).

I terroformi rappresentano le forme di humus tipiche e quelle a cui gli studiosi faranno riferimento nei loro studi che analizzerò più avanti.

Al fine di andare avanti con i livelli di classificazione è fondamentale introdurre gli orizzonti diagnostici.

1.2.1 Orizzonti diagnostici organici(O):

Gli orizzonti organici sono tre: OL, OF e OH, rispettivamente in ordine crescente di componente umica presente al loro interno.

L'orizzonte OL è situato sulla superficie a diretto contatto con l'atmosfera.

È principalmente composto da residui vegetali poco alterati e ancora riconoscibili.

La quantità di componente umica in questo strato è limitata, raggiungendo al massimo il 5-10%.

OLn indica che i residui vegetali sono giunti al suolo da meno di un anno. Le foglie presenti sono brune, integre, non connesse tra loro e distribuite in modo casuale.

OLv denota un livello in cui le foglie sono parzialmente frammentate e raggruppate in masse coerenti, questo orizzonte indica un inizio di trasformazione della sostanza vegetale, dove la decomposizione è in corso.

Al disotto di quest'ultimo si colloca l'orizzonte OF, caratterizzato dall'accumulo di lettiera parzialmente decomposta.

Tale materiale, frammentato, sbiancato, macchiato e scheletrizzato, è principalmente costituito da foglie, aghi trasformati, rametti e altri materiali legnosi.

La percentuale di componente umica in questo orizzonte varia dal 10% al 70% in volume.

A seconda delle condizioni pedoclimatiche, il processo di decomposizione è principalmente influenzato dalla fauna del suolo, (OFzo) o dai funghi decompositori di cellulosa-lignina (OFnoz).

L'orizzonte OH rappresenta uno stadio avanzato di trasformazione della sostanza organica nel suolo.

Si caratterizza per la presenza di un accumulo di materiale trasformato zoogenicamente, ossia una lettiera ben decomposta con colorazioni che vanno dal nero al grigio-marrone, marrone e rossastro.

Questo strato è principalmente composto da escrementi di animali invecchiati.

Nel contesto di questa fase evolutiva, gran parte delle strutture e dei materiali originali non è più distinguibile, riflettendo un avanzato stadio di decomposizione.

La componente unica in questo orizzonte costituisce più del 70% in volume, indicando un notevole arricchimento di materia organica di origine animale.

Questo stadio avanzato rappresenta il culmine del processo di trasformazione della materia organica negli orizzonti O.

1.2.2 *Orizzonti diagnostici organo-minerali(A):*

L'orizzonte organo-minerale A del suolo si presenta sotto cinque forme differenti che indicano differenti livelli di trasformazione e struttura del terreno, influenzati dalla decomposizione del materiale organico e dalle caratteristiche minerali della roccia madre su cui si sviluppa.

In generale ne distinguiamo tre di tipo zoogenico (Azo) e due di tipo non zoogenico (Anzo). Gli orizzonti Azo vengono definiti biomacrostrutturati (maA), biomesostrutturati (meA), biomicrostrutturati (miA) data la loro struttura granulare rispettivamente di dimensione macro (>4 mm), meso (compreso tra 1 e 4 mm) e micro (<1 mm).

Tutti e tre gli orizzonti sono caratterizzati da una presenza di pedofauna da cui derivano le caratteristiche zoogeniche, particolarmente avvantaggiato da questo punto di vista vi sono il maA e il meA in cui la presenza del lombrico sia tramite specie epigee che endogene esalta maggiormente la degradazione conferendo le tipiche strutture a granulari a blocchi.

Mentre gli orizzonti Anzo sono divisi in due tipologie: A grano singolo (sgA) oppure massicci (msA), anche detti a blocco unico.

Per quanto riguarda l'orizzonte sgA questo è caratterizzato da una struttura a chicco unico fine e unicamente minerale, la totale assenza di interazione con materia unica i grani non creano agglomerati tra loro e dunque formano una struttura sciolta.

Anche nel caso di msA i grani del terreno sono fini e minerali solamente che grazie a forze di coesione fisiche e chimiche vanno a creare un unico blocco coeso e che non presenta zone di debolezza.

Si presenta duro e rigido quando è privato dell'acqua mentre nel caso di un'elevata umidità si trasforma in una pasta malleabile ma non elastica.

1.2.3 *Classificazione morfo-funzionale dell'humus:*

Grazie agli orizzonti diagnostici precedentemente visionati è possibile individuare le varie forme di humus presenti in natura.

Qui andrò a riportare quelle che ci saranno più utili nella comprensione dei prossimi capitoli, partendo dalle forme più zoogeniche fino a quelle meno.

La prima forma è il Mull, che partendo dalla base presenta un orizzonte A di tipo biomacro o biomesostrutturato derivato dall'elevata zoogenicità degli orizzonti OL e OF che si posizionano al di sopra di quest'ultimo.

Vi è un'assenza di orizzonte OH data l'elevata velocità con la quale la materia organica viene processata dai lombrichi endogeni.

Il Mull può essere suddiviso in varie tipologie che sostanzialmente variano a seconda della velocità con la quale la materia organica viene processata e integrata nell'orizzonte organo minerale.

Si parte con l'EuMull dove la velocità è tale per cui l'orizzonte organico presente è solamente OLn passando poi per meso e oligoMull arrivando al DysMull dove l'orizzonte OFzo è continuo.

La seconda forma di humus di nostro interesse è il Moder che presenta sempre orizzonti OL e OFzo continui a differenza dell'OH che deve essere presente ma anche in maniera frammentata, questo è dovuto alla lentezza della degradazione organica che può impiegare fino a sette anni di tempo.

L'orizzonte A è di tipo microstrutturato oppure di tipo non zoogenico a seconda dell'efficienza e della quantità di pedofauna presente nel suolo.

Se più performante otterremo un HemiModer con un orizzonte miA e un OH discontinuo, mentre nel caso di rallentamenti nei processi di umificazione sarà più probabile la formazione di un EuModer o un DysModer caratterizzati da un OH più spesso e continuo.

La terza e ultima forma è il Mor dove la zoogenicità del suolo raggiunge i suoi minimi infatti, c'è sempre la presenza di un orizzonte OFnzo accompagnato nelle forme più zoogeniche da un sottile OFzo e OH.

L'orizzonte organo minerale invece è di tipo miA discontinuo oppure di tipo Anzo.

Questo è possibile perché data la quasi totale assenza di pedofauna nel terreno permette alla sostanza organica di preservarsi nel terreno per più di sette anni come minimo.

Anche nel Mor sono forme più o meno zoogeniche, la più è l'HemiMor dove l'OFnzo è frammentato e posto al di sopra dell'OFzo mentre la forma più estrema del Mor è l'EuMor dove l'OFnzo è continuo e spesso a tal punto da occupare tutto il profilo organico del suolo fino all'orizzonte A.

Ho elencato solamente una piccola parte di tutti i possibili humus che sono contenuti nella classificazione europea ma è già abbastanza per capire quanto questa sia approfondita e dettagliata.

Gli studiosi Irina N. Korkina e Evgenii L. Vorobeichik però fanno notare come vi sia una grossa lacuna nell'ambito dei terreni chimicamente contaminati, in quanto quest'ultimi non vengano né citati e né tantomeno classificati.

Nel prossimo capitolo vedremo come questa problematica ha impattato il loro studio svoltosi nel 2016 e mirato a dimostrare come la classificazione morfo-funzionale delle forme di humus sia un utile strumento per il monitoraggio ambientale.

Capitolo 2

L'HUMUS COME STRUMENTO PER IL MONITORAGGIO AMBIENTALE

2.1 Humus index:

L'Humus index (HI) è il numero ordinale di una determinata forma di humus nell'elenco ordinato di queste forme e consente di convertire le informazioni descrittive (qualitative) di tali forme in informazioni quantitative (numeriche) (Ponge e Chevalier, 2006).

Dunque, permette di numerare le forme di humus conosciute in una scala da 1(humus fortemente zoogenici) a 10(humus fortemente non zoogenici).

Su questo principio di dinamicità si basa lo studio “The Humus Index: A Promising Tool for Environmental Monitoring”, pubblicato da “ISSN 1067-4136, Russian Journal of Ecology, 2016, Vol. 47, No. 6, pp. 526–531. © Pleiades Publishing, Ltd., 2016.

Original Russian Text © I.N. Korkina, E.L. Vorobeichik, 2016, published in Ekologiya, 2016, No. 6, pp. 434–440.”

In questo studio i ricercatori hanno analizzato le tipologie di humus forestale (foresta d'abete rosso) nei pressi di una fonderia di rame situata nella taiga meridionale dei monti Urali e hanno riscontrato un'importante correlazione tra l'inquinamento del suolo e la tipologia di humus presente in esso.

Al fine di eseguire un'analisi dettagliata, sono stati realizzati pozzi di terreno ad una profondità di circa 20 centimetri presso ciascuna delle distanze considerate rispetto all'inquinatore.

Complessivamente, sono stati posizionati 28 pozzi di terreno, distribuiti in 3-8 repliche con distanze approssimative tra loro di 100-200 metri.

Questa distribuzione ha assicurato una copertura omogenea delle diverse distanze, escludendo tuttavia le aree di base degli alberi e i luoghi con evidenti disturbi del suolo (pedoturbazione).

La valutazione delle forme di humus è stata condotta sul campo seguendo i parametri stabiliti nella Base di Riferimento Europea, da me citata e riportata nel capitolo precedente.

I principali elementi diagnostici considerati comprendevano diversi fattori: la stratificazione in orizzonti relativamente alla presenza di residui vegetali distinguibili (noti come orizzonti organici OL, OF e OH che costituiscono la lettiera forestale) oppure in base al contenuto complessivo di materia organica, segnando il confine inferiore della lettiera.

Inoltre, si è considerato il tipo di trasformazione della lettiera (se di natura zoogenica o non zoogenica), le dimensioni della zona di transizione tra la lettiera e gli orizzonti organo-minerali, nonché la struttura di tali orizzonti organo-minerali.

Gli orizzonti A del suolo aggregati sono stati classificati in biomacrostrutturati, biomesostrutturati o biomicrostrutturati, mentre gli orizzonti non aggregati sono stati suddivisi in sciolti o massicci non zoogenici.

Le forme di humus sono state identificate e associate a uno specifico humus index, secondo la seguente assegnazione: Eumull - 1, Mesomull - 2, Oligomull - 3, Dysmull - 4, Hemimoder - 5, Eumoder - 6, Dysmoder - 7, Hemimor - 8, Humimor - 9, Eumor - 10, insieme a un analogo idromorfo, l'Hydromor, associato anch'esso al valore 10.

Table 1. Forms of humus in forest soils from zones with different pollution levels

Distance from polluter, km	Sequence of soil horizons (depth, cm)		O/A, mm	Humus form (index)
	organic	organo-mineral		
Background zone				
30	OL(1)	meA(9)	3-5	Mesomull (2)
30	OL(1-2)/OFzo(disc)	meA(6)	<3	Oligomull (3)
30	OL(2)/OFzo(disc)	meA(8)	<3	Oligomull (3)
30	OL(0.5)/OFzo(1.5)	meA(8)	3-5	Dysmull (4)
30	OL(0.5-1)/OH(1-2)	meA(8)	>5	Hemimoder (5)
30	OL(2)/OH(2)	meA(6-8)	>5	Hemimoder (5)
Buffer zone				
7	OL(0.5)/OFzo(1)	miA(1.5)/meA(6)	3-5	Dysmull (4)
7	OL(0.5)/OFzo(1)/OH(1.5)	miA(1)/meA(8)	3-5	Dysmoder (7)
7	OL(1)/OFnzo(disc)/OFzo(1)/OH(disc-2)	miA(6-8)	>5	Dysmoder (7)
7	OL(1)/OFnzo(1)/OFzo(1)	miA(1)/meA(6)	3-5	Hemimor (8)
7	OL(1)/OFnzo(2)/OFzo(disc)	miA(1)/meA(8)	<3	Humimor (9)
4	OL(0.5-1)/OFnzo(4)/OFzo(disc)	meA(6) + msA	<3	Humimor (9)
4	OL(2)/OFnzo(2)/OFzo(1)	meA(6) + msA	<3	Humimor (9)
4	OL(2)/OFnzo(2)/OFzo(2-disc)	meA(3) + msA	<3	Humimor (9)
4	OL(1)/OFnzo(4)/OFzo(1)	msA(5) + meA	<3	Humimor (9)
4	OL(1)/OFnzo(2)/OFzo(1)/OH(1)	meA(6) + msA	<3	Humimor (9)
4	OL(1)/OFnzo(2.5-3)/OH(0.5-1)	meA(6) + miA	>5	Humimor (9)
4	OL(2)/OFnzo(2)/OFzo(1)/OHdisc	meA(7)	<3	Humimor (9)
4	OL(1)/OFnzo(2)/OFzo(1)	meA(7)	<3	Humimor (9)
Impact zone				
2	OL(4)/OFnzo(0.5-2)/OH(0.5)	meA(5) + msAg	<3	Humimor (9)
2	OL(0.5)/OFnzo(2.5)/OFzo(disc)/OH(1)	meA(6)	<3	Humimor (9)
2	[OL(7)]	miA(6) + msA	<3	Eumor (10)
2	[OL(13)]/[OFnzo(1)]	meA(disc)/msAg(6)	<3	Eumor (10)
2	OL(1)/OFnzo(1)/OHg(1)	msAg(6)	<3	Eumor (10)
2	OL(1)/OFnzo(3)	meAg(2) + msA	<3	Eumor (10)
1	OFnzo(2)	msAg(4)	<3	Eumor (10)
1	OL(1)/OFnzo(3.5)/OHg(1)	msAg(3) + miA	3-5	Hydromor (10)
1	OL(0.5)/OFnzo(2.5)/OHg(2)	msAg(8) + miA	<3	Hydromor (10)

Designations: (O/A) the size of transition zone between (O) organic and (A) organo-mineral horizons; (zo) signs of zoogenic transformation of plant remains, (nzo) no such signs; (disc) discontinuous layer, (me) biomesostructured layer, (mi) biomicrostructured layer, (ms) massive layer, [] layer buried under moss carpet; (+) combination of different structures within the same horizon (the structure occupying greater volume is in the first place); (g) signs of hydromorphism (in horizon A, gleying). Boldface indicates characteristics that do not correspond to the specified form of humus.

Tabella 2-1: Tabella che raccoglie i valori dell'humus campionato nei vari pozzetti, in grassetto i dati che presentano anomalie rispetto alle forme di humus naturali.

2.2 Anomalie nelle forme di humus campionate:

Analizzando i dati della tabella 2-1 vediamo come nella background zone (zona di fondo), a 30km di distanza dalla fonderia, è caratterizzata da profili organici poco spessi e tutti di tipo OL/OF o OL/OH, segnale che l'attività zoogenica è presente e che di conseguenza la materia organica è processata in modo rapido e integrata nel profilo A di tipo mesostrutturato.

Questa tipologia di successioni di orizzonti garantisce la presenza di humus che variano dal tipo MesoMull al tipo HemiModer, tipici di una foresta d'abete rosso.

Nella zona di buffer (cuscinetto) iniziano a mostrarsi i primi segnali d'anomalia, infatti, già in alcune aree campione poste a sette chilometri e in tutte quelle poste a quattro si ritrova humus di tipo Mor caratterizzato da una frammentazione dell'orizzonte OF in due sezioni: quella più superficiale con un'assenza totale di attività zoogenica e quella più in profondità in cui l'attività zoogenica è presente anche se in maniera ridotta.

Inoltre, gli orizzonti A della zona di buffer presentano svariate anomalie e discontinuità, come la presenza di orizzonte biomesostrutturato in successione o in alcuni casi sovrapposto a struttura biomicrostrutturata o a struttura massiccia.

L'orizzonte biomesostrutturato non è tipico dei Mor, anzi nei criteri per il suo riconoscimento è proprio specificato che uno dei punti fondamentali è proprio l'assenza di questa struttura associabile all'orizzonte A.

Stessa anomalia, anche se meno frequente, viene riscontrata anche nella zona d'impatto (impact zone), che comprende pozzetti di campionamento posti a uno o due chilometri dalla fonte d'inquinamento.

Oltre a ciò, si passa da una maggior presenza di HumiMor ad una di EuMor o HydroMor (sua variante hydromorfa, ovvero che presenta uno degli orizzonti O sottoposto a saturazione d'acqua per meno di sei mesi l'anno e presenta un orizzonte A con colorazione rossastra, tipica di reazioni red/ox).

La caratteristica di questa tipologia di Mor è totale mancanza di attività zoogenica che porta ad un accumulo importante di materia organica e al conseguente inspessimento dell'orizzonte OF_{nzo}.

2.3 Confronto tra humus index e altri parametri di monitoraggio biologico:

Dopodiché tramite il test statistico di Kruskal-Wallis è stato possibile testare la veridicità statistica delle differenze tra i gruppi campionati.

Il test in questione valuta se vi siano differenze statisticamente significative tra i gruppi, utilizzando i ranghi dei valori osservati.

Esso valuta l'ipotesi nulla la quale afferma che non ci siano differenze tra i gruppi rispetto alla variabile d'interesse.

Il procedimento coinvolge la classificazione di tutti i dati in un unico pool ordinato e assegnando un rango a ciascun valore.

Dopodiché, vengono calcolate le somme dei ranghi per ciascun gruppo e viene utilizzata una formula statistica per valutare se queste somme dei ranghi differiscano significativamente tra i gruppi.

Se il risultato del test supera una soglia critica chiamata "valore p" (p-value) prefissata (comunemente 0.05), si può rifiutare l'ipotesi nulla e concludere che ci sono differenze statisticamente significative tra almeno due dei gruppi considerati.

INDICE DI HUMUS										531
Tabella 2. Parametri del biota del suolo e alcune proprietà dei suoli sotto le foreste di abete rosso in zone con diversi livelli di inquinamento										
Parametro (anno)	Zona (distanza dall'inquinatore, km)				Dimensione dell'effetto				Fonte di informazioni	
	terreno posteriore (20-30)	tampone (6-7)	tampone (4-5)	impatto (1-3)	N	D	CI _L	CI _U		
Lettieria Cu concentrazione, µg/g (2004)	44.6	561.4	1153.9	2808.6	4/4	1.00	0.82	1.00	Vorobeichik et al., 2012	
pH della lettiera _{water} (2004)	5.6	5.2	4.9	4.6	4/4	-1.00	-1.00	-0.78	Vorobeichik et al., 2012	
Indice di humus (2015)	3	7	9	10	6/9	1.00	0.12	1.00	Questo studio	
Abbondanza, ind. m ⁻² :										
lombrichi (2004)	261	212	39	0	5/5	-0.96	-1.00	-0.45	Vorobeichik et al., 2007	
enchitraeidi (2004)	168	125	30	0	5/5	-0.99	-1.00	-0.64	Vorobeichik et al., 2007	
code di primavera (2002-2004)	35 333	41177	59624	12376	9/9	-0.94	-1.00	-0.63	Kuznetsova, 2009	
Attività trofica di saprofagi, %/15 giorni (test esca-lamina) (2006)	42.5	-	11.2	6.7	15/15	-1.00	-1.00	-0.99	Vorobeichik et al., 2007	
Spessore della lettiera, cm (1990)	2.0	2.9	5.3	5.2	5/12	1.00	0.98	1.00	Vorobeichik, 1995	
Stock di lettiera, kg/m ² (2003)	1.4	-	3.6	7.2	10/10	1.00	0.98	1.00	Vorobeichik e Pishchulin, 2009	
Tasso di decomposizione della cellulosa, %/giorno (2005)	0.53	-	0.37	0.25	15/15	-0.83	-0.96	-0.54	Vorobeichik e Pishchulin, 2011	
Tasso di respirazione specifica della lettiera, mg CO ₂ /g all'ora (2011-2013)	0.20	0.10	0.14	0.05	9/9	-0.90	-0.99	-0.52	Smorkalov e Vorobeichik, 2016	

I valori dell'indice di humus sono mediane (per la zona di fondo, la mediana di sinistra); per gli altri parametri, sono indicate le medie aritmetiche; (-) nessun dato; N è il numero di repliche (parcelle di prova) nelle zone di fondo/impatto; D è il delta di Cliff; CI_L e CI_U sono i limiti inferiori e superiori dell'intervallo di confidenza al 95% per D.

Tabella 2-2: Tabella di confronto tra la veridicità statistica di questo studio e di altri studi effettuati nell'area in anni precedenti.

Dai dati contenuti nella tabella 2-2 si nota come in tutti i casi di studio il Delta-Cliff rientra nei valori limite dell'intervallo di confidenza al 95%, indicandoci come non esistono differenze statisticamente significative tra i gruppi e quindi questi abbiano invece un andamento dipendente l'uno nei confronti dell'altro.

Possiamo evidenziare segni di proporzionalità inversa tra l'incrementarsi dell'humus index e le diminuzioni di lombrichi ed entrichitae di nel terreno, loro che sono i principali autori dei processi di trasformazione e integrazione della sostanza organica, oppure tra l'aumento dell'humu index e l'abbassamento del ph del suolo.

Così come è una proporzionalità diretta quella tra l'incremento dell'humus index e il conseguente inspessimento della lettiera e aumento della concentrazione di rame negli orizzonti.

Dunque, l'humus index si dimostra un valore informativo non solo paragonabile, ma in alcuni casi addirittura superiore a diverse altre tecniche di valutazione dell'attività biologica del suolo.

In confronto a questi metodi, l'approccio basato sulla diagnosi delle forme di humus risulta notevolmente più efficiente sotto l'aspetto dei costi.

Infatti, può essere impiegato senza l'acquisto di costose attrezzature specializzate, a differenza delle misurazioni della respirazione del suolo, o di materiali dispendiosi, come nel caso delle misurazioni dei tassi di decomposizione dell'attività trofica dei saprofagi.

Il coinvolgimento di manodopera richiesto a detta degli scienziati, non superiore a 30-40 minuti per ciascun pozzetto sul campo, insieme alle misurazioni di laboratorio del pH e del carbonio organico, è nettamente inferiore rispetto ad altre metodologie, quali la frammentazione manuale di monoliti di terreno per stimare l'abbondanza della macrofauna del suolo.

Inoltre, l'humus index è un parametro che si "aggiorna" automaticamente nel tempo, fornendo una stima notevolmente più affidabile rispetto all'osservazione istantanea dell'abbondanza degli invertebrati del suolo, o rispetto alla valutazione dello spessore della lettiera forestale, suscettibile a influenze esterne.

Dunque, possiamo affermare che l'humus index sfruttando la dinamicità dell'humus stesso permette una valutazione della qualità del suolo precisa, economica e rapida, ovviamente da affiancare sempre ad altri studi in modo tale da avere dei riscontri validi e un bagaglio informativo più ampio.

Rimane il fatto che molte forme di humus presenti nell'area cuscinetto e d'impatto presentano una o più anomalie sviluppatesi, secondo gli studiosi, in tempi pedologici differenti e dunque necessitano di uno studio più approfondito per capire se si trattano di casi isolati e fortuiti o ci si trova davanti a vere e proprie nuove forme da inserire nella classificazione morfo-funzionale europea e a cui associare un humus index più appropriato e preciso, rispetto a quello assegnatogli in questo studio.

Capitolo 3

FORME DI HUMUS ATIPICHE: COME SI FORMANO E COSA INDICANO

3.1 Humus atipico:

In questo capitolo andremo ad analizzare come una “pedogenesi avvelenata”, così definita dagli studiosi (Targulian e Krasilnikov, 2007), possa dar luce a forme di humus stabili in un contesto di inquinamento costante.

Nel precedente capitolo, infatti, gli studiosi avevano riscontrato delle anomalie durante il riconoscimento delle forme di humus volte al calcolo dell’humus index ed è in questo capitolo che analizzando due ulteriori studi svolti dallo stesso gruppo del precedente che approfondiremo l’argomento.

Lo studio è “Irina N. Korkina, Evgenii L. Vorobeichik, Non-typical degraded and regraded humus forms in metal-contaminated areas, or there and back again, *Geoderma*, Volume 404, 2021, 115390, ISSN0016-7061, <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2021.115390>.”

Il paper si concentra sul classificare forme di humus create sia per processi di degradazione, dovuti alla sovraesposizione ad alte concentrazioni di metalli negli anni di piena attività della fonderia Middle Ural Copper Smelter, sia di quelle forme generate per processi di recupero, dovuti alla continua diminuzione delle emissioni che si sono susseguite negli ultimi decenni.

Per fare ciò gli scienziati hanno individuato e localizzato i siti di indagine posti a ovest della fonderia, distinti in tre specifiche zone: "background" (distanti tra i 30 e i 16 km dalla fonte inquinante), "buffer" (compresi tra 7 e 4 km) e "impact" (con distanze che variano tra 3 e 1 km).

Questa suddivisione riprende quella effettuata nello studio precedentemente analizzato nel capitolo due.

Complessivamente, sono stati selezionati quattro siti di studio all'interno di ciascuna delle suddette zone, totalizzando così 12 siti di analisi. Le distanze tra questi siti variavano tra i 10 e i 20 km nella zona di "sfondo" e tra 0,5 e 3 km nelle zone "cuscinetto" e "impatto".

Ogni sito di studio è stato suddiviso in parcelle di campionamento, sia rettangolari con dimensioni di 25 × 25 metri, sia circolari con un raggio approssimativo di 10 metri.

All'interno di ciascun sito, sono stati implementati due differenti schemi di campionamento: uno schema casuale con una distanza che oscillava tra i 150 e i 500 metri tra le diverse parcelle di campionamento, e uno schema regolare che sfruttava una griglia con passi di 100 metri, questo garantisce un'assenza di perturbazioni nei dati raccolti.

Complessivamente, sono state istituite un totale di 231 aree di campionamento, così distribuite: 70, 80 e 81 nelle zone di "background", "buffer" e "impact", rispettivamente.

Nel contesto di questo studio, sono state utilizzate cinque miniparcelle circolari con un raggio di circa 1,5 metri su ciascuna parcella di campionamento.

La distanza tra i centri dei cerchi è stata mantenuta tra 8 e 10 metri.

Le miniparcelle sono state posizionate in modo casuale, evitando specifiche aree circostanti come tronchi di grandi alberi con un raggio di 1-2 metri e aree affette da fenomeni naturali o antropici come spazi ventosi, pedoturbazioni evidenti causate da attività animali o umane (quali scavi di cinghiali, tunnel di talpe, terreni erosi, spostati o compattati dall'uomo).

Al centro di ciascuna miniparcella, è stata condotta un'analisi morfologica del profilo del suolo superficiale mediante lo scavo di una fossa a una profondità compresa tra 20 e 25 centimetri.

Sono state effettuate due ulteriori descrizioni del suolo superficiale a distanze comprese tra 0,5 e 1 metro dalla piccola fossa, in diverse direzioni, fino al limite superiore dell'orizzonte A, con variazioni da 2 a 5 centimetri nella zona di "background" a 10-15 centimetri nelle zone "buffer" e "impact".

Così facendo, su ciascuna miniparcella, la descrizione della forma dell'humus si è basata su tre osservazioni rappresentative di un unico humipedon.

Per gli orizzonti organici, sono stati stimati la densità, il rapporto tra la materia organica indistinguibile e i resti vegetali distinguibili, la composizione botanica, il colore, il grado di frammentazione e la disposizione reciproca.

Sono state anche registrate le caratteristiche del colore e della struttura della materia organica (granulare, polverosa o microfibrosa), nonché la presenza, dimensione e forma di escrementi animali.

Per gli orizzonti organico-minerali, sono stati analizzati il colore, la struttura, le caratteristiche della materia organica, la tessitura, le caratteristiche redox e altre caratteristiche morfologiche.

È stata inoltre esaminata la forma e lo spessore dell'area di transizione tra gli orizzonti organici inferiori e quelli organico-minerali superiori.

A seguito della classificazione gli studiosi hanno riscontrato 21 varianti di humus che differiscono in maniera più o meno elevata dalla classificazione standard.

Di queste 21; 14 sono definite “con analoghi” ovvero, riferibili a sistema humus conosciuto.

Le altre sette invece, “senza analoghi” ovvero, non minimamente paragonabili a nessun sistema humus conosciuto.

La distribuzione è tutta concentrata nella zona di buffer e impact, nella zona di background sono invece totalmente assenti tali anomalie.

Le varianti di humus sono state suddivise mediante questo metodo:

I nomi delle forme indotte dall'inquinamento o dalla rigenerazione sono stati strutturati come segue: nome di base + qualificatore obbligatorio + qualificatore facoltativo.

Il nome di base rimane analogo o con il prefisso “Quasi” per le forme che presentano analogie con quelli già presenti nella classificazione standard, mentre prendono la denominazione Mormull (hanno scelto questo nome dato che hanno origine durante la fase di transizione Mor → Mull nel 100% dei casi) quando si parla di orizzonti privi di analogie.

I qualificatori obbligatori sono “Deg” (degradato) e “Reg” (rigenerato) per indicare rispettivamente humus che hanno avuto origine per degradazione da inquinamento di metalli e per quelli che invece stanno subendo processi di rigenerazione dovuti all'abbassamento del carico inquinante.

In entrambi casi si osserva la zoogenicità presente nei vari strati.

I qualificatori facoltativi sono “Term” (terminato) o “preTerm (incompleto) per indicare rispettivamente humus che presentano lo stesso livello di degradazione in ogni strato e humus che invece presentano un ritardo su alcuni strati dovuto alla differente risposta che questi hanno all'interazione con i metalli, come vedremo gli strati in ritardo saranno solamente gli orizzonti organo-minerali.

Nelle seguenti figure si possono visualizzare le forme di humus campionate in maniera più schematica.

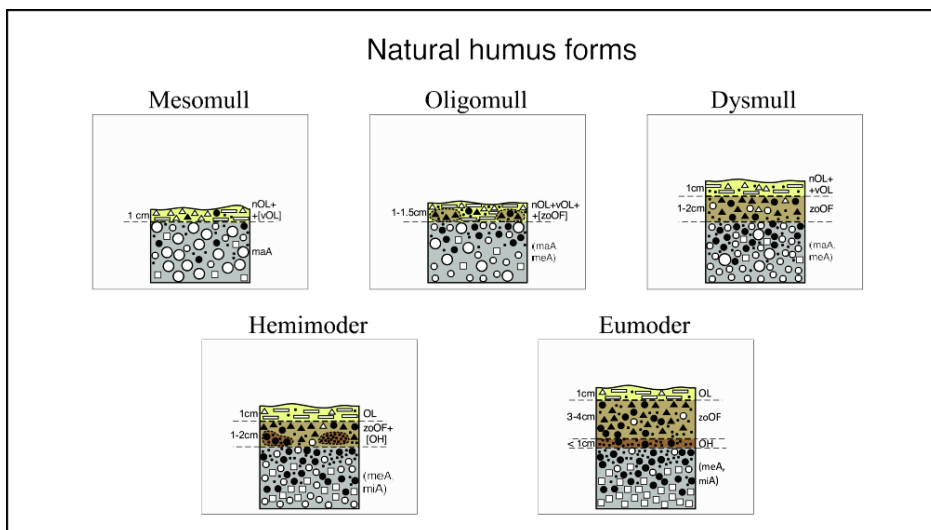


Figura 3-1: Forme di humus naturali.

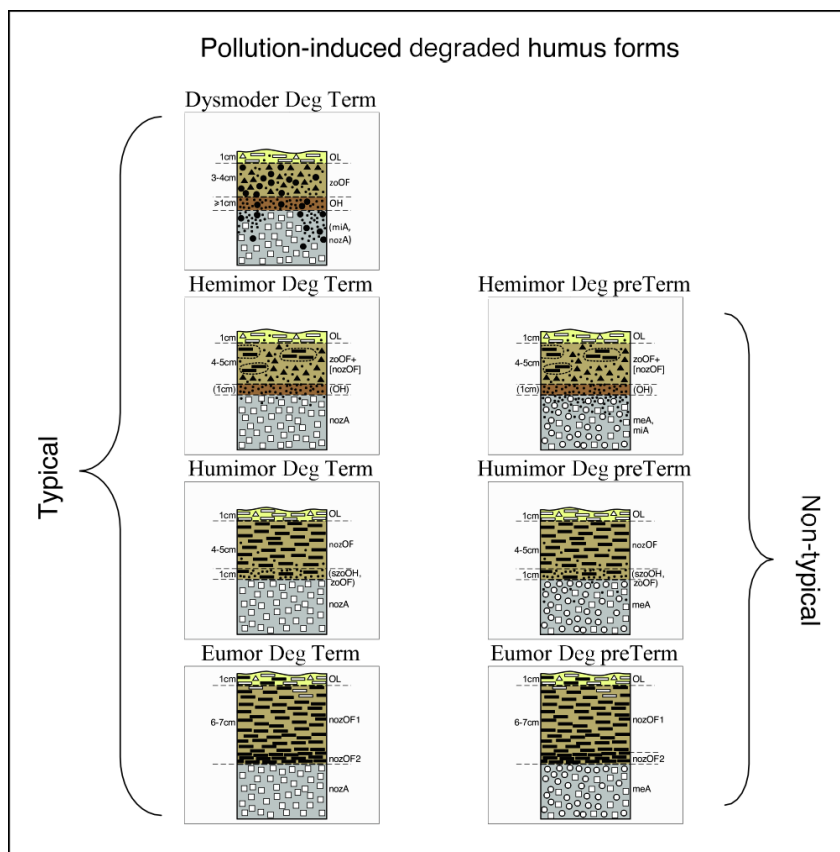


Figura 3-2: Forme di humus degradato tipiche e non.

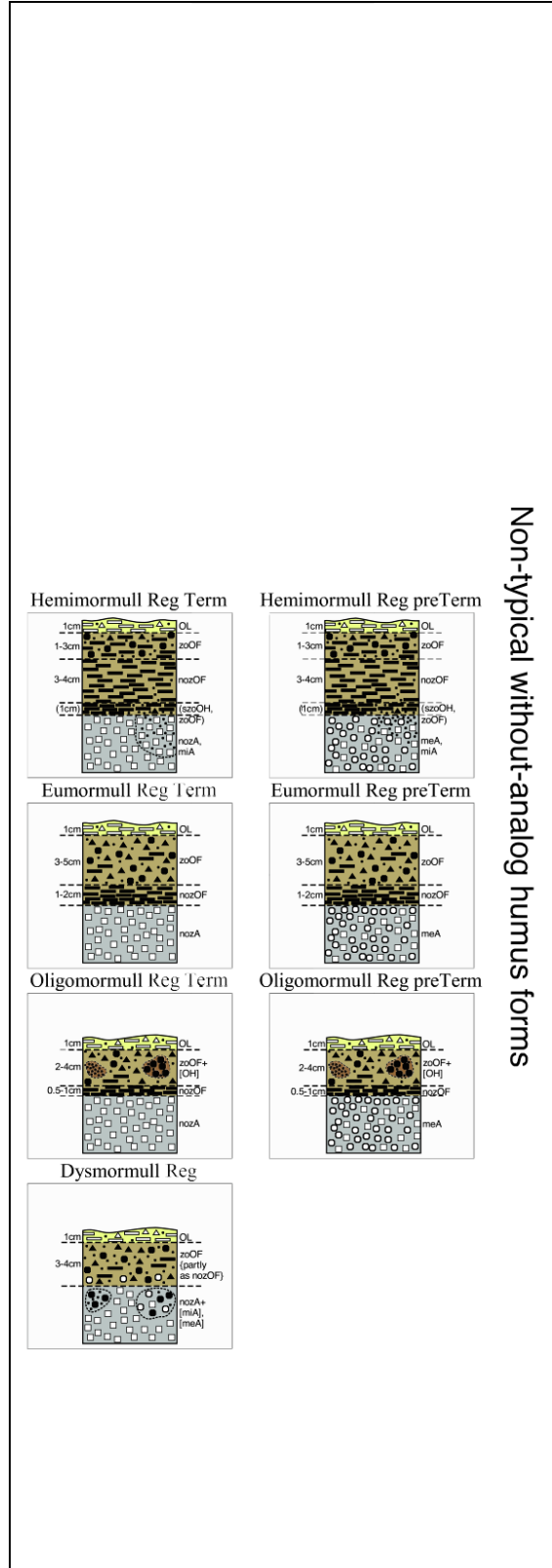
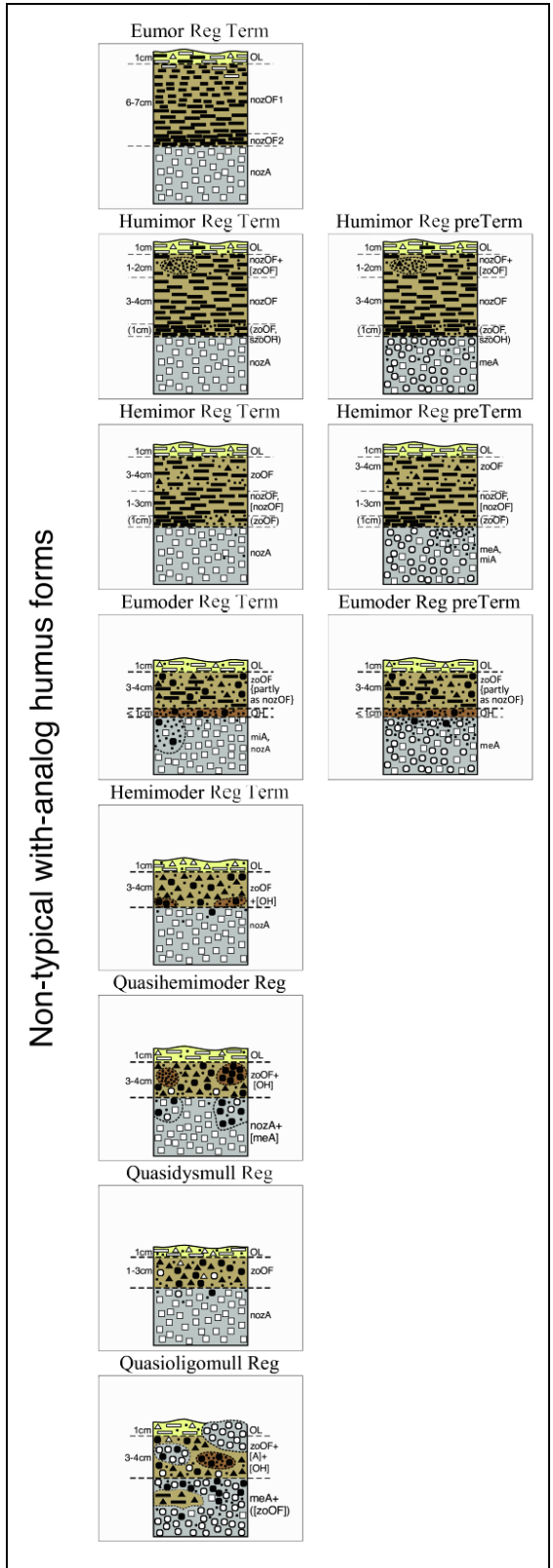


Figura 3-3: Forme di humus rigenerato non tipiche con analogie e non, rispettivamente a sx e a dx.

Proseguendo con lo studio gli scienziati hanno raggruppato le tipologie di humus scoperte nell'area sulla base delle discrepanze a loro associate, rispettivamente discrepanze tra orizzonti O e orizzonte A e discrepanza tra gli orizzonti O.

Per quanto riguarda il primo gruppo questo si divide in altri due sottogruppi che rappresentano le due fasi riscontrate dalle forme di humus atipiche, la fase di degradazione e la fase di rinnovazione.

Rientrano nel primo sottogruppo: Hemimor Deg preTerm, Humimor Deg preTerm e Eumor Deg preTerm.

Dato che posseggono una struttura degli orizzonti O in linea con le caratteristiche Mor ma un orizzonte A di tipo biomesostrutturato che è completamente atipico e sintomo di un "ritardo" nella degradazione.

Nel secondo sottogruppo rientrano: Hemimoder Reg Term e Quasidysmull Reg.

Anche in questo caso gli orizzonti O rispettano le caratteristiche Moder e Mull e troviamo un "ritardo" nell'orizzonte A ma questa volta associato alla rigenerazione e non alla degradazione, si presume che la rigenerazione sia iniziata prima che la degradazione terminasse, infatti gli orizzonti A inseriti in questo sottogruppo sono di tipo non zoogenico e massiccio.

Il secondo gruppo che analizza le discrepanze tra gli orizzonti O è stato anch'esso suddiviso in due sottogruppi:

Il primo riguarda l'inversione degli strati organici all'interno dell'orizzonte O o il loro mescolamento.

Tipicamente orizzonti OFzo si formano al di sotto degli orizzonti OFnzo ma all'interno di forme di humus quali: Humimor Reg Term, Hemimor Reg Term, Humimor Reg preTerm e Hemimor Reg preTerm avviene il contrario.

Mentre nelle forme Eumormull Reg Term e Oligomormull Reg Term l'orizzonte OFnzo è combinato con un OF altamente zoogenico.

Mentre il secondo sottogruppo racchiude le forme di humus che presentano eterogeneità tra orizzonti O ma con caratteristiche non zoogeniche al loro interno.

Tra questi rientrano gli orizzonti Eumoder Reg Term, Eumoder Reg preTerm, Quasihemimoder Reg, Quasioligomull Reg e il Dymormull Reg.

Tutti questi humus presentano orizzonti organici come OF e OH con caratteristiche non zoogeniche e in alcuni casi si trovano mescolanze tra l'orizzonte organo minerale A e gli orizzonti O.

3.1.1 *Diagramma evolutivo:*

Gli studiosi hanno anche ipotizzato un diagramma evolutivo basato sull'humus index e quindi associato al grado di zoogenicità che ogni tipologia di humus possiede.

Nella figura 3-4 è possibile visionare tutte le forme di humus riscontrate nel territorio, più due non riscontrate sul campo ma per gli studiosi presenti sul territorio con elevatissime probabilità (riquadro tratteggiato), collegate attraverso delle frecce che seguono il percorso di degradazione (Mull → Mor) o di rigenerazione (Mor → Mull).

Il processo di degradazione può essere riassunto nei seguenti passaggi:

Partendo dalla forma classica Hemimoder accade che L'orizzonte OH converge con gli orizzonti OL e zoOF, dando luogo all'emergere di uno strato distintivo di lettiera privo di evidenze di trasformazione zoogenica, denominato nozOF, all'interno dell'Hemimor Deg Term.

Successivamente, questa lettiera diventa uniforme. La presenza dello strato zoogenico di zoOF e OH si assottiglia progressivamente e infine svanisce, manifestando una forma estrema, nota come Eumor Deg Term.

La perdita di zoogenicità avviene anche nell'orizzonte A ma con velocità più contenuta ed è proprio questo fenomeno di resistenza che genera gli orizzonti Deg preTerm dove ritroviamo la struttura tipica degli orizzonti O, ma associati ad orizzonti A ancora di tipo meso o micro-strutturato.

Il processo di Rigenerazione è invece più complesso dato che come ho esposto nel precedente sotto capitolo sono molte le forme che l'humus può assumere durante il suo viaggio di ritorno verso una forma pura e autoctona.

Il processo rigenerativo segue sempre il gradiente d'inquinamento, infatti, con il calare dello stesso, è possibile allontanandosi dall'origine; osservando nelle forme un tempo degradate un recupero sempre più importante.

Questo si divide in recupero degli orizzonti O con passaggio da OFnzo a OFzo partendo sempre dall'alto verso il basso, questo perché nel terreno si sviluppa un gradiente di carico tossico che aumenta con l'aumentare della profondità, e nel recupero degli orizzonti A che passano da una struttura massiccia a blocco unico ad una struttura di tipo meso o micro-strutturata.

Questo viaggio di ritorno può essere compiuto per due vie differenti: La prima è quella che passa per le forme moder dell'humus, ovvero quelle che presentano analogie con gli humus già classificati.

La seconda invece, passa per quelle forme di humus che non sono riconducibili a nessuna forma già scoperta e che per comodità gli studiosi hanno definito MorMull.

La scelta che il terreno prende riguardo quale percorso intraprendere è mediata dall'ordine con cui micro e macro invertebrati ricolonizzano il suolo ricostituendo sempre maggior carattere zoogenico ai vari orizzonti, sia organici che organo minerali.

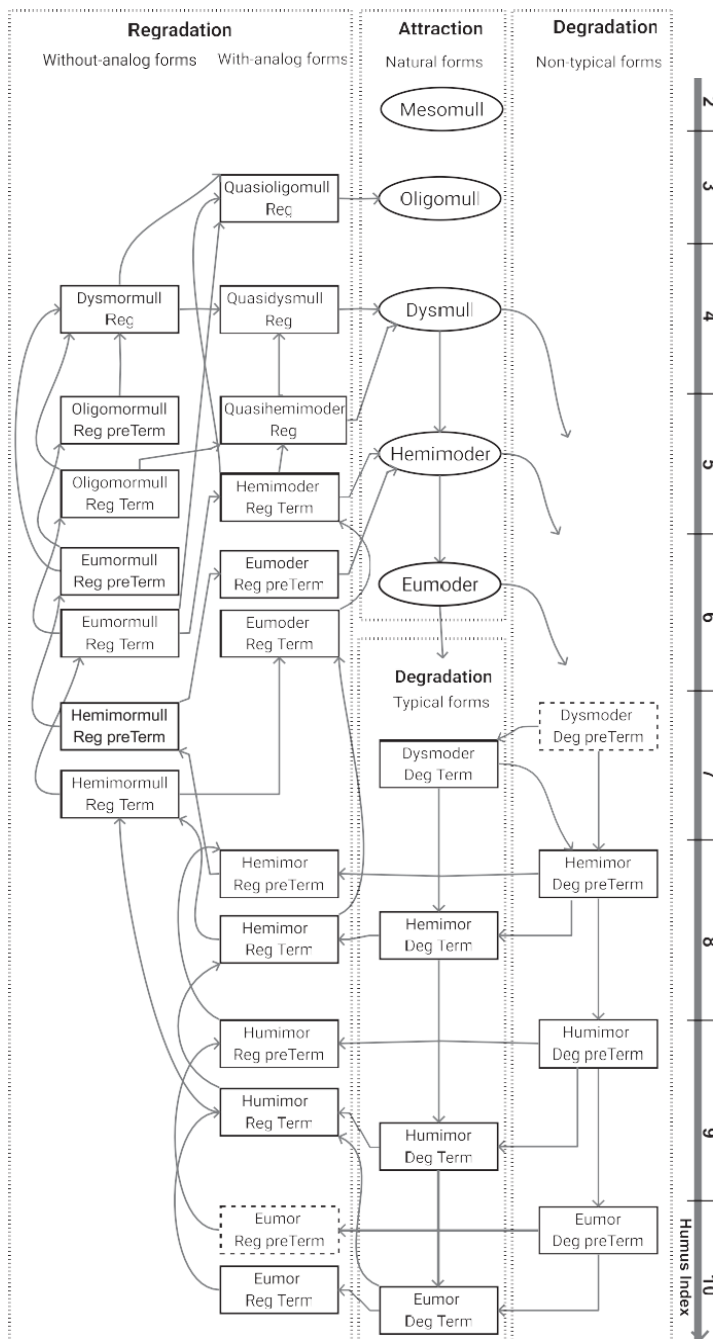


Figura 3-4: Diagramma evolutivo ipotizzato dagli studiosi.

Il primo percorso prevede una ricolonizzazione sequenziale in cui i primi a riapparire nel suolo sono i microartropodi e i microinvertebrati, quali enchitteri, larve di Nematoceri e millepiedi, ad eccezione dei lombrichi nella porzione superiore dello spesso orizzonte OFnzo degli Eumor Deg Term e Humimor Deg Term.

Questo primo passaggio riconferisce abbastanza attività zoogenica al suolo per iniziare la fase di rigenerazione che comporta la transizione dell'humus prima ad una fase Humimor Reg Term e successivamente a Hemimor Reg Term, questo processo si applica allo stesso modo anche a tutte le forme preTerm dove l'orizzonte A non aveva ancora raggiunto il completamento della degradazione.

La seconda fase vede l'entrata in campo di lombrichi epigei, possibile grazie all'abbassamento della tossicità degli strati superiori dovuta all'innalzamento dell'attività zoogenica.

Grazie al loro implemento è possibile la completa lavorazione dell'orizzonte OFnzo, che scompare per far spazio ad un'OFzo e ad un orizzonte OH tipico dell'Eumoder Reg Term.

Ulteriore tempo e lavorazione comportano l'assimilazione dell'orizzonte OH all'interno dell'orizzonte OFzo con formazione di Hemimoder Reg Tem in caso di ritardo nel recupero dell'orizzonte A oppure Quasihemimoder Reg se l'orizzonte A ha incominciato a sviluppare delle prime caratteristiche zoogeniche.

Il passaggio a forme Mull è affidato a macroinvertebrati come Coleotteri e molluschi, i quali assottigliano lo spesso strato OFzo formando il Quasidysmull Reg.

Per arrivare ad un Dysmull vero e proprio e quindi completare il processo di recupero mancano i protagonisti dei processi pedogenetici, i lombrichi endogeni, capaci di rimescolare il terreno e agire anche a livello dell'orizzonte organo minerale, il quale passerà da una struttura massiccia e caotica ad una struttura mesostrutturata e ordinata.

Il secondo percorso invece viene intrapreso quando vi è un'immediata colonizzazione dell'orizzonte OFnzo da parte di lombrichi epigei, senza che nessun'altro microdetritivoro abbia lavorato in maniera significativa il terreno.

Quello che accade è l'inizio della colonizzazione e lavorazione dell'orizzonte OFnzo, il quale, passaggio dopo passaggio, muovendosi in direzione Mor → Mull aumenta lo spessore dello strato zoogenico a discapito di quello non zoogenico, dando origine in sequenza a tutte le forme MorMull, saltando completamente le più tipiche forme Moder.

Lo spessore OFnzo infine sparisce completamente e si raggiunge la forma Quasidysmull reg.

I passaggi sono visionabili nella figura 3-4 ed è importante far notare come le due strade possibili presentino un'asimmetria direzionale tra loro: infatti, è possibile che una porzione

di humus in stato di recupero venga colonizzato immediatamente da lombrichi e dunque prenda la seconda strada ma ad un certo punto durante il processo subentrino altri macro e micro invertebrati con conseguente virata sul primo percorso, mentre è impossibile il contrario.

Dunque, una volta intrapreso il primo percorso che a livello di diversità di specie coinvolte nel processo è il più ricco non è più possibile per il suolo virare sul secondo.

Analizzare il “viaggio di andata e ritorno”, così definito nello studio, che l’humus affronta in questo caso ci riporta al concetto fondamentale, ovvero che l’humus è un sistema dinamico che presenta nella maggior parte dei casi lunghe fasi di stabilità ma derivate da una stabilità raggiunta e mantenuta dell’ecosistema stesso.

Quando la stabilità dell’ecosistema si perde, in questo caso per un elevato e duraturo apporto di metalli e acidi al suolo, l’humus muta con esso andando alla ricerca di un nuovo equilibrio e allontanandosi dall’attrattore (nel nostro caso di studio sono le forme humus Mull tipiche della zona di “background” a più di 30km dall’origine dello squilibrio).

Quello che però è davvero interessante è osservare come l’Eumor Deg Term e preTerm tipico della “impact zone”, area tra gli 0 e i 2km dall’origine dello squilibrio, ora che le condizioni lo permettono stia tornando verso l’attrattore come se fosse, appunto, attirato ad esso.

Il fenomeno in questione ci fa notare come nonostante la perdita di equilibrio dell’ecosistema sia duratura al punto di variare completamente il profilo degli orizzonti organici e parzialmente quello degli orizzonti organo minerali fino a portarli all’instaurazione di un nuovo equilibrio durato decenni è possibile un’inversione di rotta e il ripristino dell’equilibrio originale.

Dunque, abbiamo osservato l’esistenza di una “pedogenesi avvelenata” capace di originare nuove forme di humus stabili e molte altre di transizione.

Le forme di transizione appartenenti al processo di recupero sono quelle che hanno presentato le differenze maggiori rispetto alle forme originali; a tal punto da differire totalmente dalle forme originali in alcuni casi.

Questo è dovuto al gradiente verticale di carico tossico presente nel terreno che ha influenzato la ricolonizzazione da parte della micro e della macro-fauna del suolo facendole seguire una direzione verticale completamente opposta a quella che avrebbe seguito in natura, ovvero dagli orizzonti più profondi verso quelli più in superficie.

Infatti, è stato confermato che all’aumentare della profondità si registrano nell’area di studio aumenti nella concentrazione metallica e diminuzione del ph del suolo.

Questo fenomeno è dovuto a diversi motivi tra cui: la stratigrafia degli strati che riflette la cronologia della deposizione di inquinanti, la eluviazione dei metalli dagli strati superiori e la loro eluizione in quelli inferiori e l'ingrandimento delle concentrazioni di metalli a causa della maggiore durata della decomposizione della materia organica negli strati inferiori non ancora ricolonizzati e dunque non zoogenici.

Il fenomeno della stratigrafia degli strati è sostenuto dalla mancanza di mescolanza degli strati organici a causa della scarsa presenza di macrodetrivori, come i lombrichi, fenomeno a sua volta causato dall'inquinamento stesso.

La lettiera forestale viene considerata un archivio naturale per la ricostruzione ambientale, in quanto gli strati organici riflettono le deposizioni di metalli nel corso del tempo.

L'assenza di attività di bioturbazione da parte dei lombrichi nelle aree studiate contribuisce a mantenere la stratificazione degli strati organici.

Essendo la lamina fogliare la principale superficie di deposito per le polveri metalliche è normale che la riduzione delle emissioni ha comportato una diminuzione dei metalli nelle foglie e di conseguenza nella lettiera.

E dunque il gradiente di tossicità nella lettiera è legato a strati di età diversa, riflettendo vari livelli storici di emissione di inquinanti, ed essendo gli strati più profondi legati ad anni in cui le emissioni erano al loro picco è normale che contengano concentrazioni maggiori.

Mentre il fenomeno di eluviazione dei metalli dagli strati superiori a quelli inferiori è sostenuto da uno studio svolto nella stessa area di saggio "Vorobeichik, E.L., Kaigorodova, S.Y. Long-term dynamics of heavy metals in the upper horizons of soils in the region of a copper smelter impacts during the period of reduced emission. Eurasian Soil Sc. 50, 977–990 (2017). <https://doi.org/10.1134/S1064229317080130>"

Analizza le concentrazioni di metalli nel suolo in due periodi distinti, uno ad alto tasso d'inquinamento ed uno a basso tasso, e dimostra come le concentrazioni metalliche inizialmente elevate nell'orizzonte organico nel secondo periodo diminuiscono nell'orizzonte O ma aumentano nell'orizzonte organo minerale A.

Questo sommato ai processi di prima ricolonizzazione da parte del suolo dei lombrichi epigei che iniziando a movimentare il terreno facilitano la lisciviazione e l'innalzamento conseguente del ph, andando a rendere sempre più accoglienti gli strati superiori a discapito degli inferiori.

Per concludere, il fenomeno dell'ingrandimento della concentrazione metallica dovuto al maggior tempo di decomposizione è sostenuto dal rapporto C/N (carbonio/azoto) che mostra una diminuzione spostandosi dagli strati superficiali a quelli più in profondità.

La concentrazione metallica essendo calcolata in rapporto alla massa organica più questa subisce degradazione più diminuisce e di conseguenza la concentrazione metallica nel terreno sale.

Gli studiosi sostengono che le ragioni sono legate a questi tre fenomeni in proporzioni sicuramente differenti ma che saranno necessari futuri studi per stabilirle.

3.1.2 *Differenze e similitudini con i technosols:*

Un dilemma che si sono posti gli studiosi è quello della possibilità che questi humus atipici possano rientrare nella categoria dei technosuoli data la loro natura antropica.

Partiamo con il definire i technosuoli: Questi sono tipi di humipedon altamente condizionati dall'attività umana; infatti, fanno parte dei suoli antropogenici ovvero un raggruppamento di tutti quei terreni che vengono considerati frutto della nuova era geologica che secondo alcuni scienziati stiamo vivendo, ovvero l'Antropocene.

Per Antropocene si intende il periodo di tempo che va da oggi fino a quando l'attività umana sugli ecosistemi globali ha iniziato a risultare impattante, per alcuni questo periodo si colloca in date ben precise come il test Trinity nel 16 luglio 1945 mentre per altri è più associabile a periodi storici più ampi come le rivoluzioni industriali.

Secondo la classificazione WRB del 2006 i techno suoli sono quei terreni che incorporano almeno il 20% di artefatti tecnologici al loro interno, per artefatti antropici si intende rifiuti da discarica, rifiuti tossici, scarti dell'industria edile.

Ho trovato interessante uno studio del 2018 svolto nel nord-est della Francia a Homécourt, piccolo paese poco distante dalla città di Metz.

Dove hanno analizzato le caratteristiche morfo-funzionali di 3 ha di suolo che fino al 1985 ospitava una raffineria di carbone, mentre oggi vi è presente una copertura forestale principalmente composta da pioppo tremulo (*Populus tremula*), robinia (*Robinia pseudoacacia*) e betulla bianca (*Betula pendula*).

Hanno riportato la stratigrafia degli orizzonti di due parcelle prese dall'area di studio e hanno riportato una successione di orizzonti diagnostici di questo tipo:

- OL → 1 cm
- OFzo → 2-5 cm
- OH → 2-5 cm

- A → scarsamente zoogenico, la sostanza umica fatica ad integrarsi con la componente minerale formatasi nelle fasi di attività della raffineria, questa difficoltà è associata all'assenza di lombrichi a causa dell'elevato contenuto di sabbia che rende il terreno troppo premiabile e quindi poco umido.

L'elevata presenza di sabbia è a sua volta associata all'elevata presenza di artefatti antropici in questo strato, stimata tra il 55 e l'89%.

Gli studiosi hanno proposto di rinominare tale humus con il nome di Tecno-Moder ma se andiamo a consultare la figura 3-3 utilizzando i dati riportati dallo studio possiamo vedere come quest'ultimi sembrano riconducibili ad un orizzonte Eumoder Reg Term; infatti, anche questo presenta una successione di orizzonti diagnostici quasi identica, dovuta anche in questo caso dall'assenza di lombrichi endogeni.

Ma la differenza sta nella causa di tale assenza; infatti, nel primo caso è una condizione di bassa ritenzione idrica del suolo mentre nel caso di un Eumoder Reg Term come ho riportato in precedenza il problema è l'elevata concentrazione metallica negli strati inferiori che compromette il ph, abbassandolo, e in generale le condizioni di sopravvivenza per i lombrichi.

Quindi quello che osserviamo in questo confronto sono due humus, entrambi in fase rigenerativa, molto simili in termini di successione degli orizzonti ma che presentano un percorso di genesi completamente diverso, unicamente interconnesso dalla condizione per cui la presenza o assenza del lombrico comporta la divergenza dal loro humipedon attrattore, ovvero d'origine.

Infatti, in entrambi i casi l'assenza del lombrico comporta la mancata assimilazione della sostanza umica, prodotta da altri microdetrittori, nell'orizzonte orgno-minerale che di conseguenza si accumula nell'orizzonte OH che è sempre maggiore di 1 cm nel primo caso di studio e addirittura sempre maggiore di 2 cm nel secondo caso di studio.

Ovviamente queste poche similitudini non sono abbastanza significative per poterli considerare lo stesso humus.

Le differenze di ph, infatti, sono elevatissime (circa tre punti nella scala di valore) e lo sono ancor di più la presenza di artefatti antropici, dove nel primo studio sono completamente assenti andando a smontare completamente l'ipotesi che le forme di humus atipiche ritrova in Russia possano essere considerate technosol.

Dunque, sono da considerare come due realtà separate ma entrambe figlie dell'antropizzazione.

Sarebbe interessante far passare altro tempo così da poter effettuare dei nuovi campionamenti con lo scopo di monitorare il processo rigenerativo di questo humus negli anni e osservare che strada intraprenda al fine di ritornare al suo attrattore, quello che sappiamo è che sicuramente necessiterà di una ricolonizzazione da parte del lombrico, fondamentale per lo smaltimento dell'orizzonte OH e per poter quindi passare alle forme Mull più zoogeniche.

Questo confronto è volto a rafforzare ancor di più la tesi che gli humus atipici necessitano una classificazione al fine di fornire alla comunità scientifica uno strumento valido per continuare ad indagare le molteplici sfaccettature che l'impronta umana ha e sta lasciando sul nostro pianeta.

CONCLUSIONI

Lo scopo di questo elaborato è stato quello di comprendere come le attività antropiche altamente inquinanti hanno effetti sulla attività della pedofauna e dunque sulla struttura morfo-funzionale dell'humus.

Ho riportato come queste alterazioni comportano la formazione di humus atipici che affrontano un viaggio di andata e ritorno, rispettivamente degradazione e rigenerazione, alla ricerca dell'equilibrio che l'ecosistema gli sta imponendo in quello specifico momento storico.

Questo processo va avanti, nell'area limitrofa al MUCS, dal 1940 e probabilmente dovranno passare molti altri decenni prima che tutto l'humus avrà fatto ritorno alla sua forma attrattiva, ovvero quella ritrovata nella zona di fondo dell'area di studio a 30 chilometri dall'origine dell'inquinamento, sempre che ci riuscirà.

Inoltre, abbiamo visto come gli studiosi hanno proposto una loro classificazione e modello evolutivo compreso di corrispondenza con l'humus index, andando di fatto a proporre alla comunità scientifica internazionale la sua adozione sottolineando come questa non fosse mai stata presa in considerazione data la scarsità di studi inerenti al tema.

Infatti, come ripetono più volte gli scienziati, loro non sono a conoscenza di studi che mettono in relazione la tossicità di un suolo, la pedofauna presente e la classificazione morfo-funzionale dell'humus.

Mi sembra invece evidente come abbia portato a degli ottimi risultati in termini di monitoraggio dell'ecosistema in generale, non solamente del suolo.

A mio avviso sarebbe interessante applicare la stessa metodologia in ulteriori foreste altamente inquinate per effettuare un confronto dei risultati e capire se le dinamiche che trovano applicazione negli studi da me riportati si ritrovano anche in contesti ecologici diversi.

BIBLIOGRAFIA

Senn, T. L., and Alta R. Kingman. "A review of humus and humic acids." Research series 145 (1973): 1-5.

Vorobeichik, E.L., Kaigorodova, S.Y. Long-term dynamics of heavy metals in the upper horizons of soils in the region of a copper smelter impacts during the period of reduced emission. Eurasian Soil Sc. 50, 977–990 (2017).
<https://doi.org/10.1134/S1064229317080130>

“Irina N. Korkina, Evgenii L. Vorobeichik, Non-typical degraded and regraded humus forms in metal-contaminated areas, or there and back again, Geoderma, Volume 404, 2021, 115390, ISSN 0016-7061, <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2021.115390>.”

“The Humus Index: A Promising Tool for Environmental Monitoring”, pubblicato da “ISSN 1067-4136, Russian Journal of Ecology, 2016, Vol. 47, No. 6, pp. 526–531. © Pleiades Publishing, Ltd., 2016.

Original Russian Text © I.N. Korkina, E.L. Vorobeichik, 2016, published in Ekologiya, 2016, No. 6, pp. 434–440.”

Augusto Zanella, Bernard Jabiol, Jean-François Ponge, Giacomo Sartori, Rein de Waal, et al.. European Humus Forms Reference Base. 2011. fahal-00541496v2f

Evgenii L. Vorobeichik, Irina N. Korkina, A bizarre layer cake: Why soil animals recolonizing polluted areas shape atypical humus forms, Science of The Total Environment, Volume 904, 2023, 166810, ISSN 0048-9697,
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.166810>.

Gabin Colombini, Apolline Auclerc, Françoise Watteau, Techno-moder: A proposal for a new morpho-functional humus form developing on Technosols revealed by

micromorphology, *Geoderma*, Volume 375, 2020, 114526, ISSN 0016-7061,
<https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2020.114526>.

Augusto Zanella, Peter Schad, John Galbraith, Jean-François Ponge, *Humusica* 2, Article 14:
Anthropogenic soils and humus systems, comparing classification systems, *Applied Soil
Ecology*, Volume 122, Part 2, 2018, Pages 200-203, ISSN 0929-1393,
<https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2017.07.006>