

1222·2022
800
ANNI



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI PADOVA

Scuola di Agraria e Medicina Veterinaria
Dipartimento Territorio e Sistemi Agro-Forestali

Corso di Laurea Magistrale in
Scienze Forestali e Ambientali

**Valutazione della lombricofauna in aree forestali
utilizzate a ceduo dell'Appennino Ligure**

Relatore:

Prof. *Giuseppe Concheri*

Correlatori:

Prof. *Stefano Grigolato*

Dott. *Federico Gavinelli*

Tesi di Laurea di:

Daniele Alborghetti

Matricola n. 2006611

Anno Accademico 2021-2022

INDICE

1	INTRODUZIONE.....	3
1.1	Cenni sulla pedofauna	3
1.2	I lombrichi.....	5
1.2.1	Morfologia e fisiologia.....	5
1.2.2	Ecologia	8
1.2.3	Ruolo dei lombrichi nel suolo	13
1.2.4	La bioindicazione basata sui lombrichi	15
1.3	Il ceduo.....	17
1.4	Sistemi di lavoro nelle utilizzazioni forestali.....	18
2	SCOPO DEL LAVORO	20
3	MATERIALI E METODI.....	21
3.1	Area di studio	21
3.1.1	Bosco di cerro	22
3.1.2	Bosco misto di carpino nero e cerro	24
3.1.3	Bosco di faggio	26
3.1.4	Sistema di utilizzazione.....	28
3.2	Analisi climatica e meteo-climatica	30
3.3	Analisi stazionale	31
3.3.1	Analisi della vegetazione	31
3.3.2	Analisi delle forme di humus	31
3.4	Analisi del suolo.....	32
3.5	Analisi della lombricofauna e calcolo dell'indice QBS-e	33
4	RISULTATI	35
4.1	Clima e meteo-clima	35
4.1.1	Clima.....	35
4.1.2	Meteo-clima e anomalie.....	36
4.2	Risultati dell'analisi stazionale.....	38
4.2.1	Vegetazione.....	38
4.2.2	Forme di humus.....	44
4.3	Risultati delle analisi dei suoli	47
4.4	Risultati dell'analisi della lombricofauna.....	53
4.4.1	Indice QBS-e.....	60
5	DISCUSSIONE	63
6	CONCLUSIONI.....	73
7	BIBLIOGRAFIA E ALTRE FONTI	75

RIASSUNTO

La lombricofauna (Clitellata: Oligochaeta) svolge un importante ruolo ecologico all'interno degli ecosistemi, favorendo innumerevoli processi per la funzionalità complessiva del sistema suolo. L'azione dei lombrichi, infatti, denominati a tal proposito ingegneri del suolo, migliora l'incorporazione della sostanza organica negli orizzonti pedologici, il ciclo dei nutrienti, oltre a favorire molteplici funzioni fisiche, chimiche e biologiche. L'attività di ricerca condotta ha avuto come obiettivo la valutazione della lombricofauna in tre boschi gestiti a ceduo dell'Appennino Ligure, a seguito delle utilizzazioni forestali, tramite la possibile applicazione dell'indice di Qualità Biologica del Suolo basato sui lombrichi (QBS-e), al fine di valutare il disturbo arrecato al suolo. La caratterizzazione dei boschi oggetto di studio è stata effettuata tramite l'analisi di laboratorio dei suoli, la determinazione delle forme di humus e della vegetazione (tipo forestale). Nello studio si è inoltre caratterizzato il clima dell'area e l'andamento meteo-climatico dei due anni idrologici precedenti il campionamento, al fine di determinare eventuali fattori influenzanti la comunità dei lombrichi. Dalle analisi condotte si evince che la lombricofauna, dominata dalla specie *Octodrilus complanatus* Dugés, aumenta la sua consistenza secondo un gradiente di umidità e fertilità indicate dalle caratteristiche stazionali e vegetazionali dei boschi indisturbati, mentre risulta pressoché assente nelle superfici utilizzate. L'indice QBS-e è risultato quindi sensibile alle condizioni stazionali nei boschi non utilizzati, confermando la sua possibile applicazione in ambiente forestale al netto di alcuni accorgimenti, mentre la valutazione del disturbo causato dalle operazioni forestali attraverso questo metodo, dato anche il particolare andamento meteo-climatico precedente l'unico campionamento effettuato, necessiterà di ulteriori approfondimenti.

1 INTRODUZIONE

1.1 Cenni sulla pedofauna

Per pedofauna, o fauna edafica, si intende un insieme di organismi animali che svolgono per intero o parzialmente il ciclo vitale all'interno del suolo. A seconda del grado di interazione con il suolo, tali organismi vengono definiti *edafobi* (o geobionti) se non possono abbandonare tale ambiente e risultano fortemente adattati allo stesso, *edafofili* se, nonostante la possibilità di uscirne, prediligono questo habitat ed *edafoxeni* se la loro presenza nel suolo è occasionale. Un'ulteriore suddivisione degli organismi non geobionti distingue i geofili inattivi temporanei, ovvero quelli che affrontano la stagione avversa o la fase di pupa/crisalide nel suolo in stato inattivo, i geofili attivi temporanei, che passano nel terreno solo un periodo della vita ed i geofili periodici, corrispondenti, se si vuole, agli *edafofili* (Bertolani e Sabatini, 1993; Marcuzzi, 1970; Menta, 2008).

La fauna edafica viene distinta in modo arbitrario anche in base alla dimensione (Latella e Gobbi, 2015) (fig. 1):

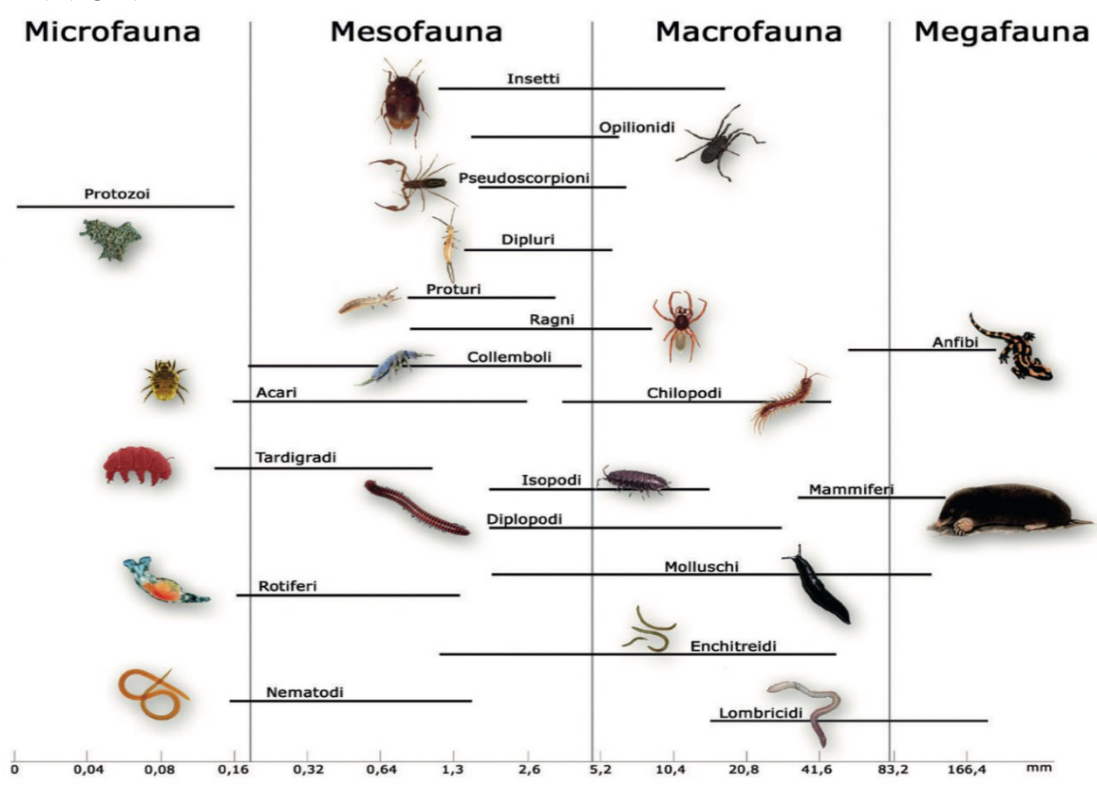


Figura 1 - suddivisione della pedofauna in base alle dimensioni corporee (Latella e Gobbi, 2015)

Tale suddivisione basata sulle dimensioni degli organismi, e dipendente anche dal trofismo, permette di identificare la funzionalità di questi nella formazione di differenti strutture del suolo (Galvan et al., 2005; Gavinelli et al., 2018; Menta, 2008; Zanella et al., 2018e).



Figura 2 – esemplare di enchytraide in lettiera di faggio

Un'ulteriore differenziazione degli animali abitanti il suolo si basa sulla modalità di assorbimento dell'ossigeno, direttamente oppure disciolto in acqua: rispettivamente *atmobios* e *hydrobios*. All'*hydrobios* appartengono molte specie di Oligochaeti come gli enchytraidi (fig. 2) e i lombrichi, questi ultimi in verità maggiormente svincolati dall'acqua rispetto gli altri (Bertolani e Sabatini, 1993).

La pedofauna, infine, può essere classificata sulla base della propria ecologia all'interno del suolo, distinguendo animali epiedafici (*epièdaphon*), che svolgono la loro attività nella lettiera, emiedafici (*emièdaphon*), che hanno una certa tendenza a discendere negli orizzonti del suolo, ed euedafici (*euèdaphon*), i quali abitano in profondità nel suolo minerale. Tale distinzione è accompagnata da caratteristiche e adattamenti strutturali diversi per ogni categoria e, all'interno di queste, da fenomeni di convergenza evolutiva (Bertolani e Sabatini, 1993; Marcuzzi, 1970; Menta, 2008). Questa classificazione, tuttavia, non deve essere interpretata in modo rigido, in quanto gli organismi edafici compiono periodicamente migrazioni verticali, giornaliere o stagionali, in base alle esigenze ecofisiologiche proprie di ogni specie (Menta, 2008). In base al sistema di locomozione, all'interno della pedofauna, si possono distinguere alcune forme biologiche: nuotatori (*natantes edaphon*), capaci di muoversi nell'acqua capillare o gravitazionale, reptanti (*serpentes edaphon*), i quali approfittano delle porosità naturali e delle cavità prodotte dagli altri organismi, e scavatori (*fodentes edaphon*). Questi ultimi, spesso appartenenti alla macrofauna, sono i responsabili del cambiamento di struttura del suolo, favorendone la porosità; i metodi di scavo sono diversi a seconda dei differenti organismi coinvolti. Appartengono a questo gruppo alcuni lombrichi, le larve di Elateridi, ecc. I reptanti appartengono solitamente alla meso e microfauna e sono rappresentati da acari, collemboli ed enchytraidi (Marcuzzi, 1970; Menta, 2008).

Come evidenziato da Dell'Agnola e Nardi (1993), Hartmann (1970) e Ponge et al. (2002), la pedofauna promuove la fertilità dei suoli, agendo, a seconda delle caratteristiche stazionali, sul ciclo della sostanza organica e, conseguentemente, dei nutrienti in essa contenuti, attraverso l'interazione attiva con le altre componenti biotiche del suolo (fig. 3): i diversi tipi di pedofauna influiscono sulla formazione e caratterizzazione delle forme di humus presenti e, da queste, vengono influenzati nella loro diversa composizione.



Figura 3 - foglia di cerro attaccata nelle parti più palatabili dalla fauna della lettiera che assume un aspetto "scheletrizzato"

Hartmann (1970), e successivamente Ponge et al. (2002), sottolineano come la qualità e la funzionalità degli humus sia maggiore laddove la formazione di questi sia dominata dalla fauna edafica: il primo autore definisce una linea di demarcazione tra gli humus naturali, in cui l'attività è dominata dalla pedofauna localmente coerente e ottimale, e gli humus patologici, in cui l'attività zoogenica è limitata da uno o più fattori perturbativi e progressivamente sostituita da altri agenti.

1.2 I lombrichi

Per lombrichi (fig. 4) si intendono solitamente circa 3700 specie di invertebrati afferenti al subordine Lumbricina (Anellida; Clitellata; Oligochaeta; Haplotaxida); le specie maggiormente presenti in Italia e in Europa appartengono alle famiglie Lumbricidae, di cui fanno parte i diffusi generi *Lumbricus*, *Aporrectodea* e *Octodrilus*, Megascolecidae, Hormogastridae ed Enchytraeidae. (Edwards e Arancon, 2022; Sommaggio e Paoletti, 2018).

I lombrichi sono diffusi in tutto il mondo, tranne nei deserti, dove vi è la persistenza di neve o ghiaccio e, in definitiva, nei luoghi in cui la vegetazione è assente. La presenza dei lombrichi è quindi ubiquitaria in tutti i suoli caratterizzati da un'umidità sufficiente a supportare le loro attività vitali; all'interno degli habitat la densità può essere estremamente variabile (Edwards e Arancon, 2022; Menta, 2008).



Figura 4 – lombrico anecico
adulto

1.2.1 Morfologia e fisiologia

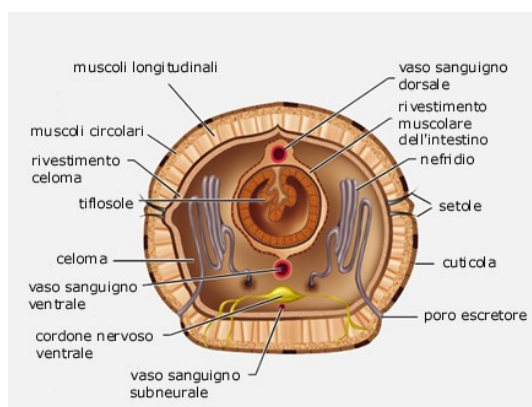


Figura 5 - sezione di un setto di *Oligochaeta*
(lucio pesce.net)

I lombrichi sono caratterizzati da un corpo allungato simmetrico bilaterale diviso in segmenti (fig. 5) (metamerico), il cui numero è generalmente costante per tutta la vita del lombrico, distinto in peristomio, anteriore, nel tronco e nel pigidio, posteriore e portante l'ano (Edwards e Arancon, 2022; Menta, 2008).

Intorno ad ogni segmento, tranne i primi due, sono presenti delle setole (nei Lumbricidae nel numero di otto) portate dall'epidermide, la cui funzione principale è il movimento, disposte intorno al corpo appaiate; queste, a seconda della distanza tra le coppie, possono essere accoppiate o distali. La distanza tra ogni coppia e tra le coppie di setole

è costante per ogni specie e ne costituisce una caratteristica sistematica, esplicitata attraverso uno specifico rapporto.

Al di sotto dell'epidermide sono presenti due strati di muscoli circolari verso l'esterno e longitudinali all'interno. Questi, attraverso la loro contrazione e il conseguente irrigidimento dei setti all'interno del corpo, promuovono il movimento.

Tra il peritoneo esterno e il canale digerente è presente il celoma e il fluido celomatico. Quest'ultimo contiene vari tipi di particelle in sospensione: i cristalli di carbonato di calcio sono le inclusioni inorganiche principali, ma esso contiene anche fagociti, linfociti, ecc. Il fluido celomatico può essere estruso attraverso i pori dorsali, in seguito a sollecitazioni meccaniche o chimiche oppure per stress.

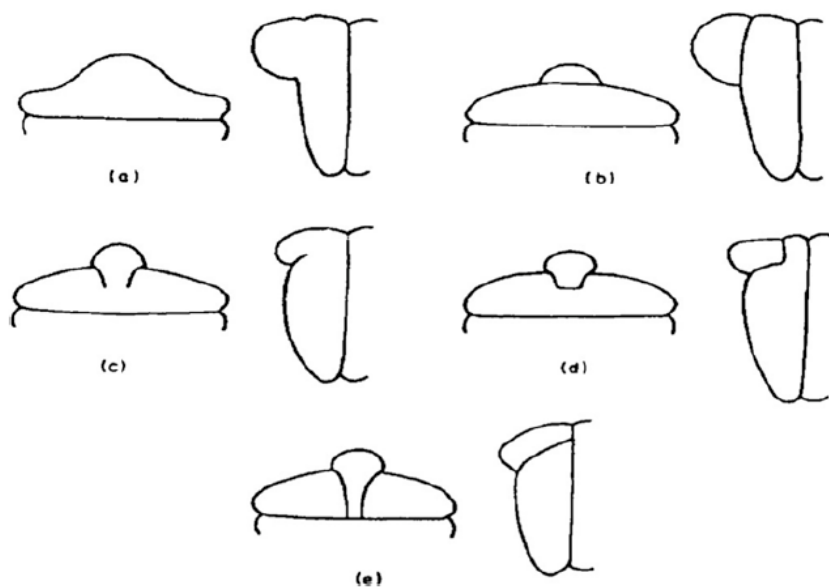


Figura 6 - forme del prostomio: a) zigolobo, b) prolobo, c,d) epilobo, e) tanilobo (Edwards e Arancon, 2022)

L'apparato digerente dei lombrichi consiste sostanzialmente in un canale che dall'apparato boccale porta all'ano. Esso viene distinto nella cavità orale, faringe, esofago, gozzo, ventriglio e intestino, più o meno espressi a seconda della specie. L'apparato boccale è costituito dal primo segmento, o peristomio, il quale porta dorsalmente il prostomio, un lobo che ne consente la chiusura. La differente connessione tra queste due parti costituisce un'importante caratteristica diagnostica tra i *taxa*: essa può essere zigoloba, proloba, epiloba o taniloba (fig. 6). I lombrichi, tranne rare eccezioni, si cibano della sostanza organica presente nel suolo a vari stadi di decomposizione, risultando quindi detritivori. Alcune specie ingeriscono anche il suolo minerale insieme alla sostanza organica. Tuttavia, essi risultano dipendenti anche dai microrganismi (batteri e funghi) associati alla materia organica in decomposizione per la loro nutrizione, i quali facilitano e favoriscono la digestione di alcuni composti, oltre a fornire essi stessi una fonte

nutritiva. Data la scarsa produzione enzimatica, buona parte del processo digestivo è demandato a dei batteri simbiotici assunti attraverso il detrito (Edwards e Arancon, 2022; Menta, 2008).

I lombrichi non sono provvisti di organi specializzati per la respirazione, la quale avviene per diffusione attraverso tutta la superficie del corpo, grazie all'estesa rete di capillari sanguigni che si diramano nella parete dermica. L'ossigeno viene assunto disciolto in acqua, fenomeno possibile grazie allo strato umido presente sulla superficie dell'epidermide: questa viene mantenuta bagnata attraverso le secrezioni prodotte da alcune ghiandole presenti nella parete del corpo (pori dorsali, secernenti fluido celomatico, e nefridiopori, estrudenti urina in forma di muco). Per questo motivo questi invertebrati possono sopravvivere immersi in acqua per più o meno lunghi periodi e il loro tasso di respirazione dipende dalla quantità di ossigeno disciolto nel liquido. Il tasso di respirazione è positivamente correlato anche alla temperatura del suolo e, solitamente, decresce solo a livelli molto bassi di ossigeno nel suolo, associati ad una maggiore concentrazione di anidride carbonica. Il tasso di respirazione dei lombrichi dipende, infine, dalla categoria ecologica e quindi dall'ambiente in cui si svolge il ciclo vitale, presentandosi maggiore negli epigei e, invece, minore nei profondi scavatori.

Il sistema nervoso è costituito da un nervo ventrale che, anteriormente, passa attraverso il ganglio subesofageo e si biforca nelle connessioni circumfaringee, per poi unirsi nuovamente nel ganglio cerebrale bilobato, presente nel terzo segmento. I lombrichi non possiedono veri e propri organi deputati alla vista, ma sono provvisti di cellule sensibili alla luce, in particolare nel prostomio; essi sono reattivi alla luce, la quale a seconda della specie promuove un differente comportamento. Sul prostomio sono presenti anche dei chemiorecettori che li rendono sensibili a stimoli chimici.

Il sistema escretore è composto principalmente dai nefridi, organi presenti appaiati in ogni segmento, tranne i primi tre e l'ultimo, deputati all'escrezione azotata attraverso i nefridiopori. Essi estraggono i composti metabolici di rifiuto dal fluido celomatico e lo estrudono all'esterno, sottoforma di muco. Questi organi possono anche eliminare eventuali microrganismi invasivi (Edwards e Arancon, 2022).

La maggior parte dei lombrichi è ermafrodita a fecondazione incrociata (fig. 7) e possiede sia le gonadi maschili che femminili, consistenti in pori accoppiati posti nella porzione ventrale o latero-ventrale del corpo; la posizione e il numero di questi pori assume particolare importanza tassonomica. L'ermafroditismo di questi animali è associato all'adattamento evolutivo dovuto alle basse densità di popolazione e quindi alla maggiore probabilità di trovare un partner (Dominguez e Velando, 2013). Alcune specie sono invece partenogenetiche facoltative (gen. *Dendrobaena*) o obbligate (gen. *Octolasion* ed *Eiseniella*). Un importante organo deputato alla riproduzione e presente solo negli esemplari adulti è il clitello: esso si presenta come un



Figura 7 - copulazione (wikipedia.it)

rigonfiamento ghiandolare, specialmente dorsale, di alcuni segmenti. La sua posizione e lunghezza, più o meno costanti per ogni specie, hanno particolare significato tassonomico: per questo l'identificazione negli individui immaturi risulta difficoltosa. Nei Lumbricidae al clitello sono solitamente associati i *tubercula pubertatis*, piccoli rigonfiamenti ghiandolari che si possono estendere anche a qualche

segmento in più; in altre famiglie, pur potendo esserci, questi non sono strettamente associati al clitello.

In seguito all'accoppiamento, il clitello secerne un muco chitinoso che forma il bozzolo, o ooteca: questo si muove anteriormente verso i pori femminili, che depongono al suo interno le uova, e quelli maschili, in cui gli oociti vengono fecondati. Successivamente il bozzolo viene espulso dal peristomio e deposto nel terreno. Il numero di uova all'interno del bozzolo e il numero di ooteche deposte annualmente varia da specie a specie, dall'autoecologia specifica e dall'ambiente. Solitamente la produzione di

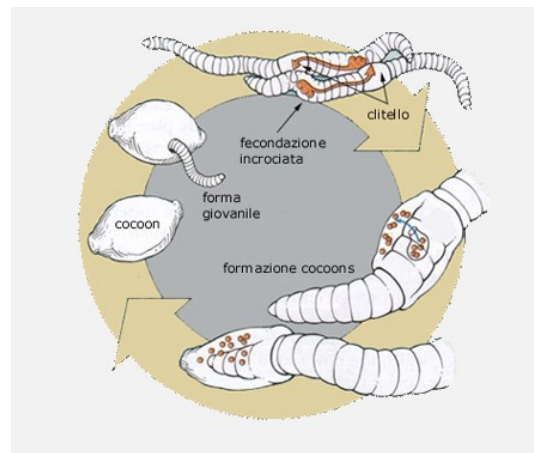


Figura 8 - riproduzione dei lombrichi (luciopesce.net)

bozzoli si verifica durante la primavera e la prima estate, mentre vi sono condizioni ottimali di umidità e temperature crescenti, mentre decresce rapidamente al diminuire delle temperature e dell'umidità edafica. Il tempo necessario alla schiusura dei bozzoli e allo sviluppo delle forme adulte varia da specie a specie ed è influenzata dalla temperatura del suolo e dalle condizioni ambientali; esso si accorcia nei periodi propizi (autunno e primavera) (fig. 8) (Edwards e Arancon, 2022; Menta, 2008; Sommaggio e Paoletti, 2018).

1.2.2 Ecologia

Durante l'anno vi possono essere condizioni del suolo inadatte alla vita dei lombrichi come periodi di aridità, freddo o eccessiva umidità. Questi oligoceti presentano varie soluzioni per sopravvivere ai periodi avversi. Un primo metodo, che prevede però la morte della generazione precedente, è il superamento del periodo sfavorevole grazie ai bozzoli, più resistenti al disseccamento e alle elevate temperature rispetto agli esemplari adulti, che si schiudono quando ritornano condizioni favorevoli al ciclo vitale. In alternativa essi possono migrare verso orizzonti

più profondi del suolo, in cui gli estremi pedoclimatici sono calmierati, e rimanere inattivi secondo tre modalità (fig. 9):

- *Quiescenza*: in cui i lombrichi reagiscono direttamente a condizioni avverse, specie aridità e alte temperature, ma anche gelo, e si riattivano al sopraggiungere di una situazione migliore. Si distinguono una quiescenza per anidrobiosi e per ibernazione.
- *Diapausa facoltativa*: causata da condizioni ambientali sfavorevoli, ma non interrotta dal termine di queste.
- *Diapausa obbligatoria*: si verifica in periodi definiti all'interno del ciclo annuale, indipendentemente dalle condizioni ambientali; tuttavia, spesso questa si verifica in risposta ad una sequenza di cambiamenti ambientali o a meccanismi interni agli organismi.



Figura 9 - lombrico in "estivazione" (Zanella et al., 2018e)

Il termine estivazione, comunemente utilizzato per identificare queste condizioni, andrebbe utilizzato solamente per la dormienza causata dall'estate o comunque dall'aridità del suolo. Ovviamente la sensibilità alle condizioni che causano la dormienza varia per ogni specie; si può però affermare che la maggior parte dei lombrichi, in funzione ovviamente dell'ambiente, risultano maggiormente suscettibili alle condizioni di aridità e temperature elevate rispetto a quelle di umidità e freddo (Edwards e Arancon, 2022).

I lombrichi sono sensibili a varie condizioni ambientali come pH, umidità, tipo di suolo, temperatura, porosità e contenuto di sostanza organica del suolo, che ne influenzano lo sviluppo e il comportamento. Ovviamente ogni specie è caratterizzata da una diversa sensibilità e tolleranza al variare di tali parametri.

L'umidità è uno dei fattori chiave della vita dei lombrichi: la loro attività è infatti sottoposta ad un'adeguata disponibilità di acqua nel suolo, necessaria per il mantenimento del contenuto d'acqua all'interno del corpo e per alcune funzioni vitali come la respirazione. L'umidità del suolo è significativamente correlata con la biomassa e la densità di lombrichi presenti in un suolo.

Anche la temperatura risulta un importante fattore per l'attività della lombricofauna. Essa influenza il metabolismo, la riproduzione, la crescita e l'assunzione del cibo (Edwards e Arancon, 2022).

Il pH è un parametro particolarmente influente sulla presenza e la distribuzione dei lombrichi. La tolleranza ai diversi valori di pH è diversa a seconda delle specie: la maggior parte dei lombrichi

predilige suoli neutri, ma non mancano specie che si adattano a terreni alcalini o acidi. Il range di tolleranza è anch'esso dipendente dalla specie (Edwards e Arancon, 2022; Menta, 2008).

Un ulteriore fattore che influenza la lombricofauna è l'ossigenazione, per cui generalmente questi rifuggono terreni sommersi e asfittici o porzioni di suolo con queste caratteristiche (Edwards e Arancon, 2022; Menta, 2008).

Il tipo di suolo, specialmente nelle sue caratteristiche fisiche, gioca anch'esso un ruolo fondamentale per questi organismi. Essi prediligono situazioni con tessitura intermedia, né troppo sabbiosa né troppo argillosa (anche se questa garantisce condizioni migliori rispetto ai suoli sabbiosi, spesso incapaci di assumere una struttura), in quanto tale caratteristica influisce sulle proprietà del suolo come l'umidità e la capacità di ritenzione idrica, i nutrienti disponibili, la formazione della struttura, ecc. Si può affermare che le proprietà del suolo che favoriscono la formazione di una buona struttura quali la sostanza organica, i cationi flocculanti (Ca e Mg) e dei colloidi in generale, qualora presenti in quantità equilibrate, favoriscono la lombricofauna. I lombrichi inoltre mal sopportano lo scheletro, soprattutto se questo è con forme spigolose (Edwards e Arancon, 2022; Marcuzzi, 1970; Menta, 2008).

La distribuzione della sostanza organica nel suolo, e la sua qualità, influenzano fortemente la presenza dei lombrichi, essendone la fonte nutritiva e favorendo condizioni del suolo più adatte a questi invertebrati. La densità e la biomassa della lombricofauna è fortemente correlata con il contenuto di sostanza organica (Edwards e Arancon, 2022).

I lombrichi sono in grado di utilizzare come fonte alimentare una grande varietà di materiali organici e, oltretutto, di sfruttare anche la sostanza organica presente nel suolo e i microrganismi ad essa associati, a seconda delle condizioni di approvvigionamento e/o habitat. Questi animali hanno dimostrato di possedere preferenze alimentari per cui risultano maggiormente appetiti substrati caratterizzati da un rapporto C/N basso e dalla "maturazione" di questi, che allontana o degrada composti non graditi come polifenoli (es: tannini) e la "liberazione" di carboidrati solubili da parte dei microrganismi o di altri animali. Anche la disponibilità di basi scambiabili all'interno del substrato influenza la sua degradazione e la palatabilità da parte dei lombrichi; le caratteristiche differenti delle lettiere forestali spiega perché le foglie di alcune specie (aceri, olmi, frassini, ecc.) scompaiano più rapidamente rispetto alle foglie di altre specie (faggio, querce e soprattutto conifere), le quali, prima di entrare nell'alimentazione dei lombrichi, devono iniziare a degradarsi lungo altre catene alimentari. È stato dimostrato che anche lettiere non appetite, con l'aggiunta di batteri, aumentano la loro palatabilità. Ovviamente la diversa palatabilità dei substrati dipende dalla specie e dalla categoria ecologica di afferenza (Ammer et al., 2006; Edwards e Arancon, 2022; Menta, 2008).

Come già accennato, tutti questi fattori influenzano la distribuzione orizzontale e verticale dei lombrichi, e la struttura della popolazione, ma anche la stagionalità di queste e la relativa attività: tutti questi fattori si possono sintetizzare in caratteristiche fisico-chimiche (temperatura, umidità, pH, ecc.), disponibilità e qualità dei substrati nutritivi e le modalità di riproduzione e dispersione (Edwards e Arancon, 2022).

Solitamente le popolazioni di specie di lombrichi tendono ad avere una distribuzione delle età piramidale, con più esemplari giovani rispetto a quelli adulti. Si intuisce che una maggiore presenza di esemplari adulti è tipica di stazioni favorevoli allo sviluppo dei lombrichi, mentre l'assenza o la scarsità di questi a favore di individui giovanili denota condizioni di sviluppo più difficili. I giovani risultano generalmente più mobili e con minori esigenze ambientali, per cui risentono meno di eventuali fattori di stress (Edwards e Arancon, 2022; Paoletti et al., 2013; Sommaggio e Paoletti, 2018).

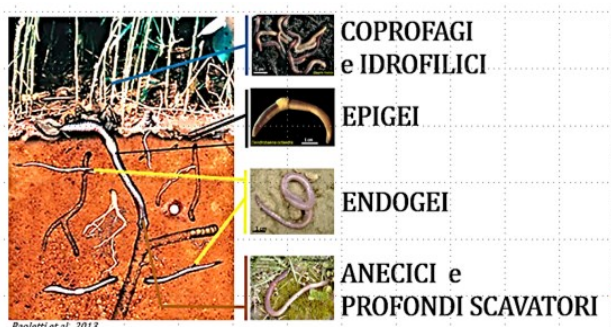


Figura 10 - categorie ecologiche dei lombrichi (Paoletti et al., 2013)

I lombrichi sono stati classificati in categorie ecologiche (fig. 10), basate prevalentemente sul tipo di alimentazione, la capacità di scavo e la stratificazione verticale all'interno del suolo e della lettiera, oltre che dalle relative dimensioni. La classificazione maggiormente utilizzata è quella di Bouché (1977) che distingue tre categorie:

epigei, endogei e anecici. Ulteriori aggiornamenti del triangolo di Bouché, che ovviamente contempla categorie intermedie, sono contenuti in Bottinelli et al. (2020), i cui autori sostanzialmente confermano e affinano tale classificazione alla luce di moderne tecniche statistiche e l'avanzamento delle conoscenze nei quarant'anni intercorrenti tra questi due studi. A queste tre categorie si possono aggiungere le categorie degli idrofili, presenti in ambienti molto umidi (*Eiseniella tetraedra*), e dei coprofagi, lombrichi che come *Eisenia foetida* prediligono gli ammassi di sostanza organica (letame, compost, ma anche legno morto e degradato in ambiente forestale (Aswood et al., 2019)) (Paoletti et al., 2013; Sommaggio e Paoletti, 2018). Perel (1977) suddivide ulteriormente la lombricofauna in produttori di humus e consumatori di humus, contraddistinti da caratteristiche morfoecologiche: i primi si alimentano nella lettiera (epigei ed anecici), mentre i secondi consumano più materia umificata e fine, oltre a ingerire maggiori quantità di suolo (endogei). Le diverse categorie possiedono caratteristiche morfoecologiche

comuni di seguito descritte (Bouché, 1977; Edwards e Arancon, 2022; Menta, 2008; Paoletti et al., 2013; Perel, 1977; Sommaggio e Paoletti, 2018):

- *Epigei*: organismi di dimensioni medio-piccole e che vivono negli strati organici superficiali del suolo, nutrendosi della lettiera (mesofagi) e non ingerendo suolo minerale. Risultano solitamente pigmentati, specie nella parte dorsale. Essi sono particolarmente soggetti alle condizioni avverse e alla predazione e pertanto sono caratterizzati da un'elevata mobilità e tasso riproduttivo, un ciclo vitale piuttosto breve associato ad una grande produzione di cocconi annuale: questi sono il mezzo di superamento dei periodi avversi. Tollerano bene valori bassi di pH, tipici dell'ambiente di lettiera in cui vivono.
- *Endogei*: di dimensioni medie, vivono negli orizzonti organo-minerali nutrendosi della sostanza organica presente nel suolo minerale e assumendo elevate quantità di questo (microfagi). Sono spesso depigmentati o comunque scarsamente pigmentati. Essi presentano generalmente una scarsa mobilità e una longevità intermedia; il tasso riproduttivo è anch'esso moderato. Superano i periodi avversi entrando in quiescenza. Essi si muovono scavando gallerie prevalentemente orizzontali, spostandosi raramente sulla superficie e sono relativamente poco soggetti alla predazione. Da un punto di vista trofico, la categoria degli endogei viene ulteriormente suddivisa, a seconda della profondità in cui si svolge l'alimentazione e dal tipo e qualità di sostanza organica presente, in poliumici (più superficiali), mesoumici e oligoumici.
- *Anecici*: di grandi dimensioni solitamente pigmentati; questi si muovono verticalmente attraverso gallerie permanenti verticali che dalla superficie penetrano profondamente nel suolo minerale. Essi si cibano della lettiera (macrofagi) che viene parzialmente portata all'interno del suolo nelle gallerie; ingeriscono relativamente meno suolo rispetto agli endogei. Presentano un'elevata mobilità verticale, ma orizzontalmente sulla lettiera risultano più lenti degli epigei e sono in questo caso soggetti a predazione. Gli anecici sono caratterizzati da un ciclo vitale lungo e tassi di riproduzione bassi, con la deposizione di pochi bozzoli annuali. Le condizioni avverse vengono superate attraverso la diapausa. Da un punto di vista trofico gli anecici vengono invece suddivisi in anecici veri e propri, epi-anecici che si nutrono di lettiera ed endo-anecici che si nutrono dello strato di suolo minerale superficiale in cui si alimentano anche gli endogei mesoumici.

La distribuzione e la presenza delle diverse categorie ecologiche dipendono dalle condizioni ambientali e stagionali precedentemente esplicate, quali il pedoclima e la vegetazione presenti, come ben descritto da Zanella et al. (2018e, 2018f).

1.2.3 Ruolo dei lombrichi nel suolo

I lombrichi svolgono un ruolo fondamentale nella formazione del suolo, modificandone sia la componente organica che quella inorganica. Questa funzione si svolge nella cosiddetta drilosfera, ovvero lo spazio di interazione fra la lombricofauna, le proprietà fisiche, le caratteristiche chimiche e biochimiche e la comunità biotica del suolo (Liu et al., 2019), le quali permettono la digestione della sostanza organica e la creazione della struttura del terreno (Fusaro et al., 2018; Menta, 2008; Sommaggio e Paoletti, 2018). Per questo ruolo chiave all'interno del suolo essi sono denominati "ingegneri del suolo" (Gavinelli et al., 2018). Lo studioso che per primo evidenziò la fondamentale funzione che svolgono i lombrichi nel ciclo della sostanza organica e della fertilità dei suoli, grazie anche alla notevole biomassa, fu Charles Darwin nella sua ultima opera del 1881.



Figura 12 - foglia di faggio in cui sono evidenti delle zone di alimentazione probabilmente di

I lombrichi rimuovono la lettiera parzialmente decomposta dalla superficie del suolo (fig. 11), ingerendola e trasportandola negli strati inferiori del suolo. Le deiezioni, in forma di ammassi denominati *casts*, sono spesso depositate in luoghi diversi da quelli di alimentazione, favorendo il rimescolamento del terreno minerale con la sostanza organica e la formazione di aggregati stabili (fig. 12). Essi, disgregando e umidificando questa fonte alimentare, favoriscono l'azione dei microrganismi e quindi la formazione dell'humus, specie nelle deiezioni: queste risultano maggiormente ricche di nutrienti in forma prontamente utilizzabile dalle piante e possiedono un ampio corredo microbico che promuove la successiva umificazione enzimatica della sostanza organica (Angst et al., 2019). Inoltre, i lombrichi contribuiscono all'aumento dell'azoto presente con l'escrezione di muco ricco di ammoniaca e urea, sia rivestente le deiezioni che durante lo scavo, il quale, oltre a favorire il loro movimento, contribuisce alla formazione degli aggregati e una struttura più stabile. Non è da dimenticare anche l'apporto di azoto dovuto alla biomassa morta di questi organismi, i quali sono costituiti dal 60-80% da proteine. Grazie a questi processi i lombrichi promuovono l'abbassamento del rapporto C/N del suolo, favorendo la vita dei microrganismi e la loro attività (Liu et al., 2019; Lubbers et al., 2020), fattori che ovviamente influiscono su una maggiore fertilità del suolo e della produttività primaria della vegetazione (va Groenigen et al., 2014).

I lombrichi rimuovono la lettiera parzialmente decomposta dalla superficie del suolo (fig. 11), ingerendola e trasportandola negli strati inferiori del suolo. Le deiezioni, in forma di ammassi denominati *casts*, sono spesso depositate in luoghi diversi da quelli di alimentazione, favorendo il rimescolamento del terreno minerale con la sostanza organica e la formazione di aggregati stabili (fig. 12). Essi, disgregando e umidificando questa fonte alimentare, favoriscono l'azione dei microrganismi e quindi la formazione dell'humus, specie nelle



Figura 11 - cast in lettiera di cerro

Similmente questi organismi hanno un impatto anche sul contenuto di fosforo assimilabile, spesso fattore trofico limitante nei suoli, calcio, magnesio e potassio, che vengono concentrati nelle deiezioni; ovviamente l'alimentazione delle diverse categorie ecologiche influisce notevolmente; tale fenomeno è maggiore in quelle che si cibano di lettiera rispetto a quelle sostanzialmente geofaghe (Edwards e Arancon, 2022; Menta, 2008; Sommaggio e Paoletti, 2018; Van Groenigen et al., 2019).



Figura 13 - galleria di anecico

Oltre a concentrare e favorire l'attività dei microrganismi i lombrichi ne favoriscono la dispersione all'interno del suolo e della lettiera. Anche i funghi, che fanno parte della catena trofica dei lombrichi, trovandosi nei substrati di alimentazione, vengono dispersi principalmente attraverso le relative spore contenute nelle deiezioni; allo stesso modo vengono disperse le micorrize. Esistono casi in cui il passaggio nell'intestino inattiva le spore di determinate specie fungine, spesso patogene (Brown, 1995; Edwards & Arancon, 2022).

Come già parzialmente spiegato, i lombrichi hanno una grande influenza sulla struttura del suolo e nella formazione di aggregati stabili, sia attraverso l'attività alimentare, grazie alla quale sono miscelati suolo e sostanza organica, che attraverso l'attività di scavo, formando dei canali (fig. 13) e delle macroporosità che incrementano la capacità di ritenzione idrica, il drenaggio e l'aerazione del suolo (Edwards e Arancon, 2022; Frazão et al., 2019; Menta, 2008; Schon et al., 2017; Sommaggio e Paoletti, 2018). Come spiegato in Zanella et al. (2018b, 2018c e 2018e), i macro- e meso-aggregati prodotti dai lombrichi anecici ed endogei sono tra le caratteristiche diagnostiche degli humus più attivi e fertili (fig. 14).



Figura 14 - suolo biomacrostrutturato per azione dei lombrichi anecici ed endogei in una faggeta a MULL

In sintesi, l'attività della lombricofauna promuove una maggiore funzionalità del suolo e conseguente produttività primaria attraverso:

- frammentazione e incorporazione nel suolo della lettiera favorendone la successiva umificazione e stabilizzazione
- rimescolamento del suolo con conseguenti effetti sul mantenimento della fertilità e i processi della pedogenesi

- concentrazione dei nutrienti in forma disponibile nelle deiezioni
- dispersione della microflora e facilitazione del processo di umificazione
- formazione della porosità e incremento dell'aerazione e del drenaggio, formazione di una struttura stabile

In ultimo è bene precisare, riprendendo quanto detto nel cap. 1.1, che le forme di humus maggiormente fertili e funzionali sono quelle in cui è dominante l'attività dei lombrichi (Hartmann, 1970; Ponge, 2002).

1.2.4 La bioindicazione basata sui lombrichi

I bioindicatori sono organismi o comunità di specie che rispondono a uno o più fattori ambientali ed ecologici e reagiscono al cambiamento di questi (Pignatti et al., 2001; Sommaggio e Paoletti, 2018). L'utilizzo della bioindicazione prevede la valutazione delle caratteristiche di un ecosistema in modo indiretto, basandosi, per l'appunto, sulla valutazione di determinati organismi e della loro risposta alle pressioni ambientali (Sommaggio e Paoletti, 2018).

I bioindicatori vengono suddivisi in ambientali, ecologici e di biodiversità, a seconda degli aspetti dell'ecosistema considerati; ovviamente sono possibili sovrapposizioni ed eccezioni a tale schematizzazione. I bioindicatori ambientali sono organismi che reagiscono in modo prevedibile a specifici cambiamenti dell'ecosistema, pertanto, dopo aver definito la correlazione esistente, possono misurare i fattori di stress agenti sull'ambiente di indagine. Fanno parte di questa categoria le specie sentinella e i bioaccumulatori, i quali accumulano determinate sostanze nei loro tessuti, consentendone la misurazione in contesti altrimenti difficilmente valutabili. I bioindicatori ecologici sono gli organismi la cui risposta a determinati stress ambientali è rappresentativa della reazione di almeno parte della comunità biotica di un ecosistema. Infine, gli indicatori di biodiversità sono le comunità di organismi la cui diversità è rappresentativa della biodiversità complessiva di un ecosistema (Sommaggio e Paoletti, 2018).

I lombrichi, data la loro importanza ecologica e ambientale (cap. 1.2), la loro stretta dipendenza dall'ecosistema suolo (geobionti) e la scarsa mobilità, la facilità di campionamento, forniscono importanti informazioni sulla condizione del suolo. Essi, essendo legati indissolubilmente a questo mezzo, reagiscono più o meno fortemente, in base soprattutto alla categoria ecologica di appartenenza, alle perturbazioni e ai disturbi di cui è soggetto il suolo ed alle sue caratteristiche. Interessante, da questo punto di vista, è la pratica di alcune popolazioni indigene dell'Amazzonia che, in base alla quantità di deiezioni di lombrichi, decidono i luoghi dove ubicare i loro orti (Fusaro et al., 2018; Menta, 2008; Paoletti et al., 2013; Sommaggio e Paoletti, 2018).

Da queste premesse Paoletti et al. (2013) hanno proposto un Indice di Qualità Biologica del Suolo basato sui lombrichi (QBS-e), la cui applicazione è stata particolarmente riferita alla sostenibilità delle pratiche colturali di cui sono soggetti i suoli degli agroecosistemi. Questo indice è basato sugli assunti proposti per l'indice QBS-ar (basato sugli artropodi) di Parisi (2001): la predominanza di un approccio di classificazione ecologico-funzionale degli organismi rispetto ad uno prettamente tassonomico, la facilità di applicazione anche a non specialisti e l'espressione dei risultati conseguenti in termini facilmente comprensibili. L'indice QBS-e aggiorna questi assunti considerando, oltre alla diversa indicazione dei gruppi ecologici e la loro assenza/presenza, anche la loro abbondanza e fornendo una stima della biomassa, parametri fondamentali data la valenza anche funzionale dei lombrichi (Fusaro et al., 2018; Paoletti et al., 2013; Sommaggio e Paoletti, 2018). I punteggi EMI (Indicatore Eco-Morfologico) (contenuti nel cap. 3.4) sono stati assegnati a seconda della categoria ecologica e dello stadio di sviluppo (Paoletti et al., 2013; Sommaggio e Paoletti, 2018). Alle specie idrofile e coprofaghe sono stati assegnati i punteggi più bassi in quanto le prime sono presenti in suoli periodicamente anossici, mentre le seconde sono solitamente introdotte negli agroecosistemi tramite ammendanti (letame, compost, ecc.) o intenzionalmente al fine di facilitare il riciclo della sostanza organica, senza tuttavia indicare la buona salute del suolo. Agli epigei e agli endogei sono stati assegnati punteggi simili, data la biomassa, la sensibilità a condizioni sfavorevoli e la funzionalità, per l'appunto, simili. La presenza degli epigei è assoggettata alla presenza di lettiera in buono stato, mentre quella degli endogei presuppone un profilo del suolo organo-minerale ben conservato. Agli anecici e, in generale, ai profondi scavatori sono stati assegnati i punteggi più elevati, in quanto la loro presenza presuppone condizioni particolarmente favorevoli del suolo, oltre, ovviamente, all'elevata funzionalità di questa categoria. Anche ai giovani anecici è stato assegnato un punteggio più alto rispetto agli stadi immaturi di endogei ed epigei, in relazione al tasso riproduttivo decisamente inferiore.

L'applicazione del QBS-e è soggetta ad alcuni limiti quali l'impossibilità dell'applicazione in contesti di per sé sfavorevoli alla lombricofauna (suoli sabbiosi, ecc.), che esulano dalle pratiche colturali e agronomiche, e la difficoltà di taratura dell'indice in ambienti caratterizzati da particolari condizioni influenzanti il risultato, il quale può risultare fuorviante sull'effettiva funzionalità e qualità di quel suolo. Mancano, infine, studi sull'applicazione di questo indice al di fuori degli agroecosistemi, in contesti naturali o semi-naturali come i boschi (Paoletti et al., 2013; Sommaggio e Paoletti, 2018).

1.3 Il ceduo

Il governo a ceduo è una tecnica selvicolturale che sfrutta la capacità di alcune specie, generalmente, almeno in Europa, latifoglie, di propagarsi agamicamente (o per via vegetativa) tramite i polloni (fig. 11). La ceduazione consiste quindi nell'asportazione della parte epigea della pianta, affidandosi al potere rigenerativo della ceppaia (capacità pollonifera): la capacità pollonifera



Figura 15 - rinnovazione agamica di ornello e cerro

tende ad esaurirsi con la maturità delle piante, per cui il turno del ceduo è relativamente breve e il periodo tra due tagli minimo e massimo è regolamentato a seconda delle Regioni (Bernetti, 2012; Piussi e Alberti, 2015; Regolamento 3/2018). In Italia, secondo l'INFC del 2015 (De Laurentis et al., 2021), la superficie governata a ceduo corrisponde al 42,3% del totale della superficie forestale nazionale, quest'ultima pari a circa 9 milioni di ettari. Il tipo maggiormente rappresentato è il ceduo matricinato, corrispondente al 69% dei boschi cedui.



Figura 16 - matricina di cerro

I diversi trattamenti applicabili ai boschi cedui si suddividono secondo la quantità e la durata del rilascio di matricine (fig. 12) in cedui semplici, matricinati e composti. Il primo, applicabile solo a determinate specie (salici, ontani, pioppi, robinia, ecc.) secondo la normativa regionale, non prevede il rilascio di matricine, il secondo invece prevede il rilascio di un numero variabile di matricine in base alla specie dominante (comunque inferiori a 160/ha), mentre l'ultimo presuppone la presenza di una componente a fustaia, con matricinatura, in Emilia-Romagna, superiore a 160 piante per ettaro (Regolamento 3/2018). Particolare menzione merita il ceduo a sterzo, pratica ormai piuttosto rara, che prevede una gestione disetanea sui polloni della medesima ceppaia (Bernetti, 2012). Alla matricinatura, che può essere uniforme o a gruppi, sono demandate le funzioni di riproduzione, per sostituire gamicamente le eventuali ceppaie deperite durante il turno, produzione (per assortimenti di maggiori dimensioni e/o ad esempio per la ghianda nelle querce), da biodiversità e di protezione. In base all'età, le matricine si distinguono in allievi, reclutati durante l'ultimo taglio, e di seconda, terza, ecc. classe, a seconda del numero dei turni in cui queste sono state promosse (Bernetti, 2012).

Il governo a ceduo è oggetto di molteplici controversie, sia di carattere tecnico-scientifico che di semplici, ma alquanto dannose, posizioni ideologiche (Mori, 2009). Tra le posizioni a favore si annoverano solitamente i fattori di natura economico-gestionale, quali la facilità di rinnovazione, la brevità del turno e la convenienza economica, la cantieristica più semplice e il posizionamento sul mercato più semplice degli assortimenti. A sfavore sono indicati i fattori di natura ecologico-funzionale, come la produzione di assortimenti non pregiati e, spesso, solo energetici, l'impatto paesaggistico e sulla biodiversità, la limitata presenza o assenza di figure tecniche e l'aumento del rischio idrogeologico (Urbinati, 2022). Tuttavia, una visione dicotomica di questa forma di governo, oltre che semplicistica, è anche fundamentalmente errata: oltre ai molteplici trattamenti che possono avvenire all'interno del governo a ceduo, a seconda della funzione richiesta e delle caratteristiche stesse del bosco e per cui si hanno differenti risposte del sistema (Mori, 2022), non risultano sempre vere neanche le accuse mosse nei confronti della risposta ecologica e di protezione idrogeologica di questo specifico governo del bosco (Mori, 2009; Motta, 2022). È opinione di buona parte del mondo scientifico e tecnico che il governo a ceduo debba essere considerato non come una gestione del bosco da rifuggire, ma da utilizzare consciamente a seconda delle condizioni gestionali, socioeconomiche ed ecologiche, del tipo forestale e delle funzioni demandate al bosco, caso per caso (Befani et al., 2022; Bruschini e Torreggiani (a cura di), 2012a, 2012b, 2012c e 2012d; Motta, 2022). In ultimo, la normativa e i vari finanziamenti, tranne alcune eccezioni, non difendono il ceduo, anzi spesso promuovono la conversione dei cedui in fustaie, sia sovvenzionando tali pratiche che attraverso una rigida legislazione, talora con evidenti distonie con la ricerca scientifica stessa e il mondo tecnico (Torreggiani, 2022).

1.4 Sistemi di lavoro nelle utilizzazioni forestali

Con il termine utilizzazioni forestali si indicano le attività connesse all'applicazione degli interventi selvicolturali, come il taglio, l'allestimento, la movimentazione del legname e i lavori ad essi associati, costituendone la fase operativa (Hippoliti e Piegai, 2000; Marchi, 2015).

Le utilizzazioni forestali si suddividono tipicamente nelle operazioni di abbattimento (o nel caso di boschi schiantati di distacco della ceppaia), allestimento (sramatura e sezionamento), concentramento ed esbosco fino all'imposto, luogo di chiusura delle utilizzazioni e di inizio del commercio del legname ritratto. Tranne l'abbattimento, le altre fasi non sempre si susseguono nel medesimo ordine e, talora, possono non essere presenti; dalla diversa organizzazione delle operazioni si distinguono tre sistemi di lavoro (Hippoliti e Piegai, 2000; Marchi e Piegai, 2001) (fig. 17):

- Sistema del legno corto (SWS – *Short Wood System*), nel quale l'allestimento del legname viene effettuato sul letto di caduta e si esboscano gli assortimenti più o meno definitivi

- Sistema del fusto intero (TLS – *Tree Length System*), che consiste dell’esbosco dei fusti sramati, ma non sezionati, lavoro che si rimanda all’imposto. Spesso viene applicato un ibrido tra questo metodo e il SWS, esboscando i fusti parzialmente sezionati
- Sistema dell’albero intero (FTS – *Full Tree System*), in cui si esboscano gli alberi interi, rimandando l’allestimento all’imposto.

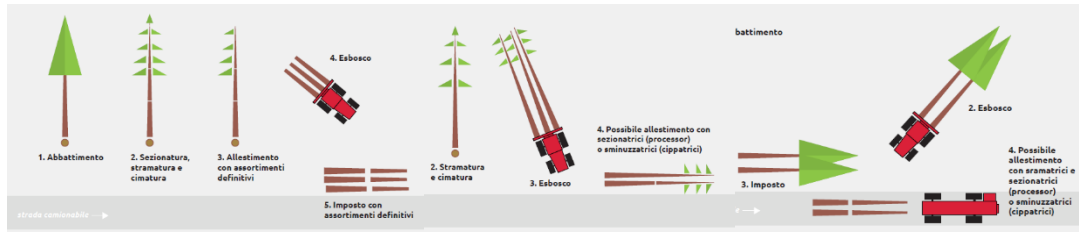


Figura 17 - sistemi di lavoro, da sinistra: SWS, TLS, FTS (Marra et al., 2022a)

La scelta tra i diversi sistemi di lavoro, specie nell’esbosco, si basa sull’analisi di alcuni fattori come la pendenza, l’accidentalità, l’accessibilità (disponibilità di viabilità e di che tipo), la formazione e preparazione degli operatori, la disponibilità di attrezzature e il tipo di intervento selvicolturale, nello specifico la difficoltà dell’intervento, il legname ritraibile e le sue dimensioni (Hippoliti e Piegai, 2000; Marchi, 2015; Marra et al., 2022a).

In base alla tecnologia e la meccanizzazione presenti, infine, si possono identificare sistemi semi-meccanizzati, in cui alcune fasi sono svolte manualmente (di solito l’abbattimento e l’allestimento) o completamente meccanizzati, in cui tutte le operazioni sono effettuate tramite l’uso di macchinari (ad esempio l’utilizzo di harvester e forwarder) (Marra et al., 2022a).

Le utilizzazioni forestali comportano un certo effetto sui sistemi forestali e sul territorio, almeno nel breve periodo. I principali effetti negativi si ritrovano a livello del suolo; nello specifico si verificano tre possibili processi di degradazione: la compattazione, la solcatura ed il rimescolamento degli strati superficiali, i quali si verificano per effetto del passaggio dei mezzi o dello strascico delle piante. La compattazione provoca una riduzione della macroporosità, del grado di struttura e l’aumento della densità apparente del suolo, rendendo meno permeabile tale suolo e, oltre a una minor penetrabilità da parte delle radici e degli organismi, favorendo condizioni di anossia e diminuendo il potenziale di ossidoriduzione. Il rimescolamento degli orizzonti del suolo e la rimozione dello strato organico espongono gli orizzonti minerali all’azione erosiva dell’acqua; in certi casi però, questo fenomeno favorisce la rinnovazione naturale (querce, larice, ecc.). Questi eventi possono modificare le caratteristiche e la funzionalità del suolo, in particolare il drenaggio e l’infiltrazione, con conseguenti fenomeni erosivi diffusi e localizzati (Cambi et al., 2015; Marchi e Piegai, 2001; Marchi e Certini, 2015, Marra et al., 2022a). Tali

perturbazioni hanno anche effetti indiretti, in particolare sulle condizioni chimiche, fisiche e biologiche, con una riduzione della funzionalità interdependente di tutte e tre queste componenti, in funzione dell'intervento selvicolturale e della meccanizzazione adottata e con tempi di recupero variabili a seconda delle condizioni stazionali e del sistema di lavoro (Bottinelli et al., 2014a e 2014b; Cambi et al., 2015 e 2016; Jourgholami et al., 2021; Marchi e Certini, 2015; Marchi et al., 2016; Marra et al., 2022a e 2022b; Sohrabi et al., 2020, 2021 e 2022; Venanzi et al., 2019, 2020a e 2020b).

2 SCOPO DEL LAVORO

Lo scopo del lavoro svolto è la valutazione della lombricofauna a seguito delle utilizzazioni forestali. L'indagine, condotta in tre categorie forestali gestite a ceduo dell'Appennino Ligure, mira ad analizzare la composizione ecologico-funzionale e tassonomica e a valutare il disturbo delle operazioni forestali sulla stessa in relazione alle differenti stazioni. In tale studio, inoltre, si vuole sperimentare l'applicabilità dell'indice di Qualità Biologica del Suolo basato sui lombrichi (QBS-e) in ambiente forestale. Un ulteriore scopo dello studio è l'ampliamento delle conoscenze sulla distribuzione geografica delle specie afferenti a questo *taxon*. Infine, attraverso la raccolta di informazioni stazionali, si vuole ampliare e approfondire la conoscenza dei boschi di quest'area marginale e lontana dal mondo scientifico e tecnico.



3 MATERIALI E METODI

3.1 Area di studio



Figura 18 - area di studio

L'area di studio (fig. 18 e 19) si trova in Emilia-Romagna, in alta val Trebbia, nel Comune di Ottone (PC), al confine amministrativo di Liguria, Piemonte e Lombardia.

Nello studio sono stati considerati complessivamente sei siti utilizzati, appartenenti a tre differenti boschi (di cerro, misto di carpino nero e cerro e di faggio), più quattro aree controllo situate nei pressi di questi e ritenute indicative della stazione e delle condizioni antecedenti il taglio (Allegati 1 e 2). I siti scelti per l'indagine corrispondono ad alcune delle superfici boschive utilizzate a ceduo dall'Azienda Agricola "Emiliano Zanardi", nell'arco temporale che va dal

2018 al 2021. I tagli, eseguiti durante la stagione invernale, sono stati effettuati in ottemperanza del Regolamento Forestale dell'Emilia-Romagna (Regolamento regionale 3/2018). L'anno dell'utilizzazione è riferito alla stagione vegetativa successiva al taglio.



Figura 19 - l'area di studio fotografata da Pietranera (Rovegno, GE): il monte Alfeo domina la visuale, si intravede sul fondovalle Gorreto (GE) e il bacino del Dòrbera alla sua sinistra, a destra, sul versante che scende più dolcemente, si intravede l'abitato di Campi di Ottone (PC)

Le informazioni riguardanti i suoli dell'area, Carta dei Suoli a scala 1:250.000 con le bozze per la carta a scala 1:50.000, rivista rispetto alla versione originale del 1994, e la descrizione delle Unità Cartografiche in scala 1:250.000 presenti nella zona, sono state gentilmente concesse da Paola Tarocco, referente per il settore suolo dell'Area Geologia, Suoli e Sismica – Settore Difesa del Territorio della Regione Emilia-Romagna.

3.1.1 Bosco di cerro

Nel bosco a dominanza di cerro (*Quercus cerris* L.) sono state individuate due superfici utilizzate nel 2019 e nel 2021. Ad esse sono state affiancate due aree controllo.

L'area in cui si colloca tale formazione forestale si trova lungo la strada comunale che collega la Strada Statale 45 all'abitato di Campi, ad una quota di circa 600 m s.l.m. sul versante di sinistra della valle del Trebbia, esposta prevalentemente a Sud in posizione di medio versante, presenta un'acclività moderatamente ripida.

Fino al secondo dopoguerra l'uso del suolo di tale zona era prevalentemente a coltivi, prati-pascoli e pascoli e solo secondariamente da limitate superfici a bosco, il quale, in seguito al progressivo abbandono della vita rurale e allo spopolamento delle aree montane, ha progressivamente colonizzato le zone ormai non più coltivate.

Secondo la Carta Geologica d'Italia Foglio 196 – Cabella Ligure (Allegato 3), la Cartografia Geologica Regionale e quella del dissesto dell'Emilia-Romagna, i siti di indagine poggiano sui substrati della Formazione delle Argille a Palombini e su depositi di versante. Questi ultimi presentano una genesi incerta, che non esclude l'origine franosa del deposito, ma non presentano i caratteri morfologici tipici delle frane stesse. Lungo il versante sono presenti anche depositi di frana quiescente per scivolamento, colamento di fango o di tipo complesso. Di seguito sono descritti la Formazione delle Argille a Palombini e le unità geologiche che possono aver alimentato il deposito e contribuito al substrato litologico da cui si sono sviluppati i suoli presenti. La Formazione delle Argille a Palombini, costituente il substrato su cui insiste parte dei siti d'indagine, appartiene alla Sottounità tettonica Loco, afferente alla Unità tettonica Gottero; essa è rappresentata da depositi torbiditici costituiti dall'alternanza di strati calcareo-marnosi ed emipelagiti prive di carbonati. Nello specifico si tratta di argilliti e argilliti siltose (peliti) in strati medi e spessi alternate a calcilutiti silicizzate in strati medi, talvolta a base arenitica, e più rari calcari marnosi in strati spessi e marne calcaree in strati medi e spessi; nella parte sommitale della formazione possono essere presenti marne e marne calcaree in strati medi e spessi e areniti fini in strati sottili.

In posizione sommitale al deposito di versante indagato si trova la Formazione di Roccavanna – litofacies a breccie –, che costituisce la base su cui poggia una porzione dello stesso. Essa appartiene all’Unità tettonica Due Ponti; tale formazione è costituita da corpi lenticolari di breccie matrice- (prevalentemente) o clasto-sostenuta a matrice argillitica con clasti di calcari/calcilutiti, riferibili alla Formazione delle Argille a Palombini, e in subordinate clasti di origine ofiolitica (basalti, gabbri e serpentiniti).

Infine, a ovest e sostenente una porzione del deposito, vi è la Formazione di Canale, anch’essa afferente all’Unità tettonica Due Ponti. Essa è costituita dall’alternanza di strati di torbiditi calcareo-marnose, composte da areniti fini e medio-fini di tipo misto associate a una porzione pelitica a composizione marnosa o calcareo-marnosa, e torbiditi a composizione mista di areniti da fini a medio-grossolane a composizione silicoclastica “litoarenitica” associate a peliti con composizione da argillitica a marnosa. La frazione arenitica è caratterizzata da un’importante presenza di frammenti carbonatici (Cartografia Geologica Regionale dell’Emilia-Romagna, 2022, Cartografia del dissesto della Regione Emilia-Romagna, 2022; Marroni et al, *; Servizio Geologico d’Italia, *).

I suoli (Allegato 4) presenti afferiscono all’Unità Cartografica 6Cd, caratterizzata da versanti irregolari coltivati, modellati da fenomeni franosi. I suoli di questa unità sono “ripidi, molto profondi, a tessitura media, ghiaiosi, a buona disponibilità di ossigeno, calcarei, debolmente alcalini negli orizzonti superficiali, moderatamente alcalini negli orizzonti profondi. Localmente sono rocciosi, pietrosi, moderatamente profondi, non calcarei negli orizzonti superficiali, da neutri a moderatamente alcalini. Questi suoli si sono formati in depositi di versante, subordinatamente detritici o franosi, ed in materiali derivati da argille e calcari, con frequenti inclusi ofiolitici. Sono diffusi suoli ad alterazione biochimica con decarbonatazione incipiente, a moderata differenziazione del profilo; la loro evoluzione è condizionata da fenomeni di ruscellamento, solifluzione, colate di terra”. Tale unità si differenzia nelle seguenti sotto-unità:

- Ravaiola – tipicamente presenti in versanti irregolari coltivati, in zone di deposito e corpi di frana. Essi sono scarsamente pietrosi, molto profondi, a tessitura franca-ghiaiosa, da non a scarsamente calcarei e debolmente alcalini in superficie, a tessitura franca o franco-argillosa ghiaiosa, moderatamente calcarei e moderatamente alcalini in profondità. I suoli Ravaiola rientrano negli *Eutric Cambisols (Loamic)* secondo la classificazione WRB (2014) e nei *fine loamy, mixed, superactive, mesic Typic Eutrudepts* secondo la classificazione USDA (2014).
- Monte Carmo – tipicamente presenti in versanti semplici boscati. Essi sono pietrosi, rocciosi, moderatamente profondi, non calcarei, a tessitura franco-limosa o franca,

ghiaiosi grossolani e debolmente acidi in superficie, a tessitura franca o franco-limoso, molto ghiaiosi grossolani e neutri in profondità. I suoli Monte Carmo rientrano negli *Skeletal Haplic Phaeozems* secondo la classificazione WRB (2014) e nei *loamy skeletal, mixed, mesic Entic Hapludolls* secondo la classificazione USDA (2014) (Regione Emilia-Romagna, 2021).

I suoli presenti nell'area di studio apparterebbero alla sotto-unità Ravaiola.

Si descrivono nello specifico le due aree utilizzate e le due aree controllo scelte:

- Area tagliata nel 2019 (da ora AT2019Cr) (44°61'29"N 9°31'19"E), superficie utilizzata nell'inverno 2018-2019 con estensione di circa 800 m². Il taglio decorre lungo la linea di massima pendenza e presenta una larghezza di circa 15-20 m. È esposto verso meridione, ad una quota media di 616 m s.l.m. e presenta una pendenza media del 30%. Insiste sulla formazione geologica delle Argille a Palombini.
- Area tagliata nel 2021 (da ora AT2021Cr) (44°61'27"N 9°31'11"E), superficie utilizzata nell'inverno 2020-2021 con estensione di circa 1100 m². Il taglio decorre perpendicolarmente alla strada, all'incirca lungo la linea di massima pendenza, lambendo un piccolo impluvio al confine ovest. È prevalentemente esposto verso sud-ovest, ad una quota media di 604 m s.l.m. e presenta una pendenza media del 22%. L'area poggia sul deposito di versante.
- Area controllo 1 (da ora ACbasCr) (44°61'32"N 9°31'06"E), area posta a valle della strada di Campi, in prossimità del sito AT2021Cr di cui condivide il substrato geo-litologico. L'area di campionamento, esposta a sud, è ad una quota di 613 m s.l.m. e presenta una pendenza media del 29%.
- Area controllo 2 (da ora ACmedCr) (44°61'36"N 9°31'26"E), area situata a monte del sito AT2019Cr e come questo poggia sulla Formazione delle Argille a Palombini. Il sito di indagine è posto ad una quota media di 629 m s.l.m. con esposizione verso sud e presenta una pendenza media del 29%.

3.1.2 Bosco misto di carpino nero e cerro

All'interno del bosco misto di carpino nero (*Ostrya carpinifolia* Scop.) e cerro (*Quercus cerris* L.) sono stati oggetto di studio due superfici utilizzate, rispettivamente nel 2019 e nel 2020, accompagnate da un'area controllo nei pressi di queste.

L'area si trova sul versante in destra orografica del bacino del rio Senga, piccolo affluente di sinistra del Fiume Trebbia, il quale si sviluppa dalle pendici del Monte Alfeo. La zona è servita da quella che ora è una pista forestale e che in passato veniva denominata "Via Piana", la quale



Figura 20 - il versante su cui è presente l'area di studio: la foto, scattata dalla Botraia, permette di intravedere la tagliata effettuata nel 2020 alla cui sinistra è stata posta l'area controllo

testimoniano le numerose sistemazioni (muretti a secco e terrazzamenti) presenti su parte del versante.

collegava il fondovalle con il mulino di Campi e l'omonima frazione. La stazione, esposta a est e a nord-est in posizione di medio versante, è sita ad una quota di circa 650 m s.l.m. e presenta una ripida giacitura (fig. 20). Al di sopra dei siti è presente una vasca dell'acquedotto pescante nell'area.

L'uso del suolo precedente a quello attuale era a prato-pascolo e a coltivi, secondariamente forestale, come

Secondo la Carta Geologica d'Italia Foglio 196 – Cabella Ligure (Allegato 3), la Cartografia Geologica Regionale e quella del dissesto dell'Emilia-Romagna, i siti di indagine insistono su un deposito di frana quiescente per colamento di fango, tranne la superficie utilizzata nel 2019, che poggia su un deposito di genesi incerta. Nei dintorni dell'area di studio sono presenti alcune frane attive, anch'esse per colamento di fango. Di seguito sono descritte le unità geologiche presenti nel settore indagato e che possono aver contribuito al substrato geo-litologico da cui si sono originati i suoli presenti nella stazione.

A monte del deposito di frana sono presenti le Arenarie di Gorreto, appartenenti all'Unità tettonica Antola e di cui ne costituiscono, insieme alle Argilliti di Montoggio, il "complesso di base". La formazione è costituita da torbiditi calcareo-pelitiche, rappresentate dall'alternanza di strati sottili e medi di areniti medio-fini a composizione mista, siltiti marnose e marne.

Al di sotto delle Arenarie di Gorreto vi è la Formazione di Canale, già descritta nel cap. 3.1.1, su cui poggia la porzione sommitale del deposito di frana quiescente.

L'unità geologica che sostiene la parte basale del deposito oggetto di studio è la Formazione di Ronco, afferente all'Unità tettonica Portello. Questa è costituita da torbiditi calcareo-marnose rappresentate da strati sottili e medi di areniti medio-fini a composizione mista, siltiti marnose e marne (Cartografia Geologica Regionale dell'Emilia-Romagna, 2022, Cartografia del dissesto della Regione Emilia-Romagna, 2022; Marroni et al, *; Servizio Geologico d'Italia, *).

I suoli presenti nell'area di studio appartenerebbero alla sotto-unità Ravaiola, già descritta nel cap. 3.1.1.

Si descrivono nello specifico le due aree utilizzate e l'area controllo, che si collocano a valle della pista forestale "Via Piana":

- Area tagliata nel 2019 (da ora AT2019OsCr) (44°61'62"N 9°30'34"E), superficie utilizzata nell'inverno 2018-2019 con estensione di circa 2000 m². L'area è esposta verso nord-est, ad una quota media di 647 m s.l.m. e presenta una pendenza media del 50%.
- Area tagliata nel 2020 (da ora AT2020OsCr) (44°61'59"N 9°30'35"E), superficie utilizzata nell'inverno 2019-2020 con estensione di circa 1600 m². È prevalentemente esposto verso est, ad una quota media di 654 m s.l.m. e presenta una pendenza media del 49%.
- Area controllo (da ora ACOsCr) (44°61'56"N 9°30'39"E), area controllo posta a sud delle aree di intervento. Il sito è esposto verso levante, ad una quota media di 644 m s.l.m. e presenta una pendenza media del 47%.

3.1.3 Bosco di faggio

Nel bosco a dominanza di faggio sono state individuate due superfici utilizzate nel 2018 e nel 2019, accompagnate anche in questo caso da un'area controllo.

L'area (fig. 21) è dislocata sulla destra orografica del bacino del Torrente Dòrbera, affluente di sinistra del Fiume Trebbia, sulla strada che collega l'abitato Barchi alla frazione Bertone. La stazione, esposta prevalentemente a nord, si colloca sul versante che scende dalla cresta che collega il Monte Busasca al Monte Zucchello, ad una quota di circa 1000-1050 m s.l.m. La porzione di versante su cui è localizzata l'area di studio si presenta molto ripida.

L'area scelta si presenta come bosco irregolare, in cui tratti a ceduo si alternano a porzioni a fustaia (transitoria o meno) e a ceduo invecchiato. Nella scelta dell'area controllo si è pertanto attribuito una maggiore considerazione all'indicatività complessiva del sito nei confronti dei siti utilizzati indagati, piuttosto che alla sola omogeneità culturale.

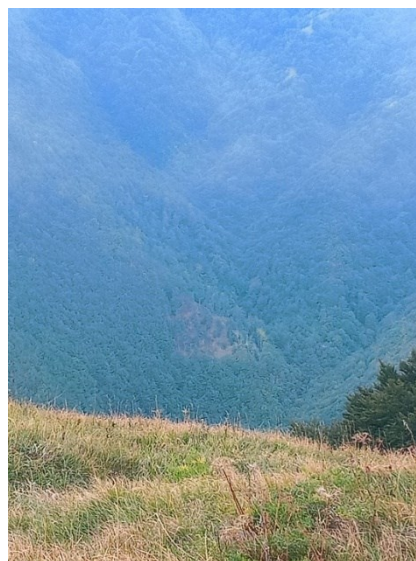


Figura 21 - l'area di studio vista dalla vetta di Monte Alfeo. Spicca la superficie utilizzata nel 2019 alla cui sinistra è stata posta l'area controllo

Secondo la Carta Geologica d'Italia Foglio 196 – Cabella Ligure (Allegato 3), le aree di studio insistono sulla Formazione di Monte Antola (Flysch di Monte Antola, Calcari di Monte Antola),

appartenente all'Unità tettonica Antola. Questa è costituita da torbiditi calcareo-marnose in strati spessi e molto spessi di calcareniti a forte componente silicoclastica, di marne, di marne calcaree e di argilliti marnose alternate a strati sottili e molto sottili di argilliti emipelagiche (Flysch ad Elmintoidi) (Marroni et al, *; Servizio Geologico d'Italia, *).

I suoli presenti afferiscono all'unità cartografica 7Aa (Allegato 4), caratterizzata da versanti prevalentemente rettilinei, molto lunghi ed incisi dalle acque incanalate lungo le linee di massima pendenza. I suoli di questa unità sono “molto ripidi, rocciosi, moderatamente profondi, a tessitura media, ciottolosi, a buona disponibilità di ossigeno, non calcarei, neutri. Localmente sono, di volta in volta, moderatamente ripidi, superficiali, profondi o molto profondi, calcarei. Sono diffusi suoli a forte differenziazione del profilo per alterazione biochimica, con decarbonatazione. Sono meno frequenti suoli poco differenziati dai materiali originari, come conseguenza di processi generalizzati e frequentemente ripetuti d'erosione per ruscellamento. Localmente l'evoluzione dei suoli è condizionata agli apporti dovuti a fenomeni franosi. L'uso del suolo è in prevalenza di tipo forestale”. Tale unità si differenzia nelle seguenti sotto-unità:

- Belnome – tipicamente presenti in versanti lunghi e rettilinei. Essi sono rocciosi, pietrosi, moderatamente profondi, non calcarei, neutri, a tessitura franco-limosa in superficie, a tessitura franco-argilloso-limosa o franco-argillosa in profondità. I suoli Belnome rientrano negli *Eutric Cambisols (Loamic)* secondo la Legenda FAO e nei *fine loamy, mixed, frigid Dystric Eutrochrepts* secondo la *Soil Taxonomy*.
- Monte Alfeo – tipicamente presente in versanti a franapoggio, associati ad affioramenti rocciosi. Essi sono rocciosi, superficiali, a tessitura franco-limosa ciottolosa, calcarei, neutri fino al substrato. I suoli Monte Alfeo rientrano nei *Calcaric Regosol* secondo la Legenda FAO e nei *loamy, mixed (calcareous), frigid, shallow Typic Udorthents* secondo la *Soil Taxonomy*.
- Zerba – tipicamente presente in medi versanti a minimo di pendenza a uso agricolo (spesso abbandonati), originatesi per antichi movimenti franosi e frequentemente rimodellate dall'uomo. Essi sono profondi o molto profondi, calcarei e neutri, a tessitura franco-limoso-ciottolosa in superficie e franco-limosa molto ciottolosa in profondità. Tali suoli rientrano nei *Calcaric Cambisols* secondo la Legenda FAO e nei *loamy-skeletal, mixed (calcareous), frigid Typic Eutrochrepts* secondo la *Soil Taxonomy*.

I suoli presenti nell'area di studio afferirebbero alla sotto-unità Belnome.

Si descrivono nello specifico le due aree utilizzate, situate su un displuvio la cui linea ne costituisce il margine, e l'area controllo, che si collocano a monte della strada per Bertone:

- Area tagliata nel 2018 (da ora AT2018Fa) (44°62'27"N 9°25'75"E), superficie utilizzata nell'inverno 2017-2018 con estensione di circa 2000 m². L'area è esposta verso nord-ovest, ad una quota media di 1029 m s.l.m. e presenta una pendenza media del 73%. Da notare la presenza limitrofa di una superficie utilizzata a ceduo circa 15 anni fa a sud-ovest del sito.
- Area tagliata nel 2019 (da ora AT2019Fa) (44°62'27"N 9°25'81"E), superficie utilizzata nell'inverno 2018-2019 con estensione di circa 2800 m². Il sito è esposto verso nord-est ad una quota media di 1027 m s.l.m. e presenta una pendenza media del 79%.
- Area controllo (da ora ACFa) (44°62'22"N 9°25'96"E), area controllo posta a sud-ovest delle superfici utilizzate. Il sito è esposto verso settentrione, ad una quota media di 1024 m s.l.m. e presenta una pendenza media del 88%. Il bosco si presenta come una fustaia, probabilmente transitoria in seguito a tagli di conversione.

3.1.4 Sistema di utilizzazione

Le operazioni di utilizzazione (fig. 22) effettuate nei siti oggetto di studio si sono svolte secondo un sistema di lavoro ibrido FTS (*Full Tree System*) – SWS (*Short Wood System*) semi-meccanizzato (Hippoliti e Piegai, 2000; Marra et al., 2022a). Si descrivono di seguito le fasi dell'utilizzazione:

- 1) Abbattimento manuale con motosega
- 2) Concentramento a strascico con verricello su pista o strada degli alberi interi (FTS); in caso di piante di dimensioni importanti queste sono state dapprima sezionate, ed eventualmente sramate a seconda dei casi, e poi concentrate (SWS-FTS)
- 3) Allestimento del materiale su pista o strada
- 4) Esbosco con trattore e rimorchio (SWS)

I macchinari impiegati nelle operazioni sono:

- Motoseghe Stihl MS 261 (cilindrata 50,2 cm³) e MS 462 (cilindrata 72,2 cm³)
- Verricello Bernardi E 550 EH (forza di tiro 55 kN, velocità di trazione 0,37-1 m/s) accoppiato a trattore agricolo Landini Technofarm 80 (potenza 54,5 kW)
- Escavatore Kubota KX121-3α (4 ton) con pinza forestale Frontoni FS 010
- Trattore agricolo John Deere 5720 (potenza 61 kW) e rimorchio Pradella allestito con gru forestale Kastle 35.56.



Figura 22 - a) trattore e verricello, b) legname concentrato e allestito in attesa dell'esbosco, c) l'area utilizzata nel 2019 della faggeta durante le operazioni, d) imposto dell'area a ostrieto, e) alberi interi concentrati in attesa di allestimento, f) carico del rimorchio durante l'utilizzazione della faggeta. Foto a, c, d, f di Emiliano Zanardi e Samuele Pisotti

3.2 Analisi climatica e meteo-climatica

L'analisi climatica e meteo-climatica è stata condotta a partire dai dati distribuiti dall'Osservatorio Clima di Arpae attraverso il dataset "ERG5 – Dataset meteo orario e giornaliero dal 2001", distribuito su celle GRIB 5 x 5 km derivanti da interpolazione (Antolini et al., 2016). I dati giornalieri concernono temperatura media, minima e massima, precipitazioni, umidità relativa, evapotraspirazione potenziale sia secondo Hargreaves – Samani (ETP_{HS}) che secondo Penman – Monteith (ETP_{PM}) (dati disponibili dal 2007) e la radiazione solare (anche in questo caso disponibile dal 2007). Le celle GRIB contenenti i dati meteorologici interessanti le aree di studio sono la 00098 (per il bosco di faggio) e la 00138 (per il bosco di cerro e il bosco misto di carpino nero e cerro).

L'analisi si è svolta attraverso l'estrapolazione dei valori medi mensili dell'arco temporale 2001-2020 di temperatura media, minima e massima, precipitazione cumulata ed evapotraspirazione potenziale cumulata. Si sono inoltre calcolati il numero medio di giorni piovosi (>1 mm) e il bilancio idroclimatico secondo la seguente formula:

$$\text{Bilancio idroclimatico} = \text{Precipitazioni} - \text{Evapotraspirazione potenziale}$$

Secondo Tomei et al. (2012), tale dato è indice della profondità della falda ipodermica e del contenuto idrico del suolo.

Successivamente, sulla base dei dati climatici ottenuti, si è determinato il tipo di clima in accordo con il Sistema di Classificazione Bioclimatica Mondiale di Rivas-Martinez et al. (2011).

L'analisi meteo-climatica è stata svolta sui due anni idrologici (da ottobre a settembre) precedenti il campionamento, su dati afferenti al medesimo dataset, al fine di determinare l'eventuale influenza dell'andamento meteo-climatico sulla comunità dei lombrichi campionata. Nello specifico i periodi indagati sono ottobre 2020 – maggio 2022, arco temporale ritenuto capace di influenzare il tasso di crescita e riproduzione dei lombrichi, e ottobre 2021 – maggio 2022, intervallo temporale ritenuto indicativo delle condizioni idriche del suolo, costituendo la "fase di ricarica" idrica annuale, e della condizione ecofisiologica di questi invertebrati al momento del campionamento. L'analisi si è particolarmente concentrata sull'informazione riassuntiva offerta dal bilancio idroclimatico cumulato di tale periodo, stimandone l'anomalia rispetto ai dati medi ventennali.

3.3 Analisi stazionale

3.3.1 Analisi della vegetazione

I dati riguardanti la vegetazione sono stati raccolti effettuando un rilievo speditivo sia nelle aree controllo che nelle superfici utilizzate. Il rilievo è stato condotto a giugno 2022 attraverso la stima della copertura dei differenti strati arboreo, arbustivo ed erbaceo e, all'interno di questi, delle principali specie presenti, secondo la scala mista di abbondanza-dominanza di Braun-Blanquet (1964).

Nelle aree controllo tale indagine è stata effettuata al fine di identificare il tipo forestale, oltre a raccogliere informazioni riguardanti le caratteristiche stazionali; non essendovi una tipologia forestale dell'Emilia-Romagna, si è fatto ricorso a quella ligure (Camerano et al., 2008), ritenuta egualmente indicativa per tale zona.

Nelle aree tagliate, oltre alla stima della copertura dei differenti strati e delle specie dominanti si è attribuito un giudizio sulla selvicoltura applicata, in particolare sul tipo e qualità di matricinatura, e la rinnovazione presente.

L'identificazione delle specie è stata effettuata tramite l'ausilio delle chiavi dicotomiche contenute in Dalla Fior (1969) e Pignatti (1982).

3.3.2 Analisi delle forme di humus

L'analisi delle forme di humus è stata condotta a settembre 2022 nelle sole aree controllo (fig. 23). Tale indagine è stata effettuata allo scopo di caratterizzare il "riciclo" della sostanza organica e quindi dei nutrienti, con i conseguenti effetti sulla fertilità, ed evidenziare gli agenti principali in questo processo. Le forme di humus sono infatti un parametro sintetico delle complesse interazioni tra i fattori della pedogenesi (clima, agenti biotici, geologia, morfologia, tempo) e l'ambiente suolo: tali fattori influenzano l'attività biologica e microbiologica del suolo e il tipo di organismi coinvolti nella degradazione della sostanza organica che, in relazione alle caratteristiche stazionali, si esplicano in una specifica forma di humus (Bonifacio et al., 2018; Galvan et al., 2005; Zanella et al., 2018a).



Figura 23 - rilevazione della forma di humus nell'area controllo della faggeta (Foto di Lisa Pagani)

La determinazione del sistema e delle forme di humus in campo è stata eseguita tramite l'apertura di due mini-profili per area (uno di diagnosi vera e propria e uno di conferma), in cui sono stati determinati gli orizzonti diagnostici secondo Zanella et al. (2018b). Successivamente, sulla base degli orizzonti osservati, si è determinato il sistema e la forma di humus tramite le chiavi di classificazione contenute in Zanella et al. (2018c). In campo, oltre alle sopracitate chiavi di identificazione, ci si è avvalsi dell'ausilio offerto dall'applicazione per cellulare "TerrHum 2.0" (Zanella et al., 2021).

3.4 Analisi del suolo

Le analisi del suolo sono state condotte sui campioni di suolo raccolti in ogni sito (fig. 24) dal Laboratorio di Chimica centralizzato (La-Chi) del Dipartimento di Agronomia, Animali, Alimenti, Risorse Naturali e Ambiente (DAFNAE) secondo i metodi approvati dal DM 185/1999. I campioni sono stati prelevati in 5 punti per sito, in prossimità delle prove di estrazione dei lombrichi, ad una profondità di circa 5-20 cm ed evitando lo strato superficiale organico.

Le analisi hanno riguardato i seguenti parametri chimico-fisici: pH, contenuto in azoto elementare (azoto totale), carbonio organico, carbonio inorganico, basi scambiabili (Ca, Mg, K, Na) e fosforo assimilabile, tessitura (contenuto percentuale di sabbia, limo e argilla) e conducibilità elettrica. In un secondo momento si è inoltre stimato il contenuto di scheletro, ovvero della classe dimensionale maggiore di 2 mm.

I risultati del contenuto di argilla, limo e sabbia sono stati analizzati e inseriti nel triangolo tessiturale attraverso il software *Soil Texture Calculator*, visitabile sul sito dell'USDA.

Dai dati ottenuti, opportunamente inseriti in un foglio di calcolo, si è infine calcolato il rapporto carbonio organico/azoto totale (rapporto C/N), il contenuto totale in basi scambiabili e i rapporti tra basi scambiabili Ca/Mg e Mg/K.



Figura 24 - campione di suolo dell'area a cerreta

3.5 Analisi della lombricofauna e calcolo dell'indice QBS-e



Figura 25 - momenti del campionamento. Da sinistra: hand sorting, replica nella cerreta, campionamento nella tagliata del 2019 del bosco di faggio (Foto di Daniele Alborghetti e Lisa Pagani)

Il campionamento della lombricofauna è stato condotto a maggio 2022, utilizzando il metodo di campionamento proposto in Fusaro et al. (2018) e Paoletti et al. (2013) per l'indice QBS-e. Il procedimento consiste nell'irrorazione di una superficie 30 x 30 cm con 5 l di sospensione irritante, la quale promuove la fuoriuscita anche degli esemplari profondi scavatori. Dopo un'attesa di circa 15 minuti, in cui si raccolgono tutti gli esemplari nel frattempo sopraggiunti in superficie, si procede con il prelievo della zolla al fine di estrarre manualmente gli individui eventualmente ancora presenti in essa (fig. 25).

Nel caso specifico di questo studio, la sostanza irritante utilizzata nell'indagine è stata l'estratto di senape al 4%, in una concentrazione di circa 30 ml per 5 l d'acqua, il quale non presenta tossicità e non costituisce danno per l'ambiente (Chan & Munro, 2001; Fusaro et al., 2018; Pelosi et al., 2009).

Per ogni sito sono state effettuate cinque repliche, disposte secondo un criterio soggettivo, ponendo attenzione a considerare tutta la superficie e le varie condizioni interne alla stessa. Gli individui sono stati classificati secondo le differenti categorie ecologico-funzionali e lo stadio di sviluppo dell'esemplare (Bouchè 1977; Fusaro et al., 2018; Paoletti et al., 2013). Gli esemplari estratti, suddivisi per replica, sono stati conservati in alcol 96% in vista della successiva identificazione tassonomica e nell'eventualità confermarne l'appartenenza alle categorie ecologiche assegnate in campo. L'identificazione è stata effettuata presso il Dipartimento DAFNAE, con l'ausilio di stereoscopio, per l'osservazione delle caratteristiche morfo-anatomiche degli esemplari raccolti, e il software LOMBRI (Paoletti e Gradenigo, 1996) per la determinazione dei *taxa* (fig. 26).



Figura 26 - identificazione tassonomica presso il DAFNAE (Foto di Federico Gavinelli)

Durante il campionamento sono state annotate alcune osservazioni riguardanti sia il sito che il microambiente di ogni prova. I dati raccolti sono stati inseriti e analizzati in un foglio di calcolo.

Il calcolo dell'indice di Qualità Biologica del Suolo basato sui lombrichi si fonda sull'assegnazione di un determinato punteggio di qualità del suolo di un singolo ecosistema considerato, basato sulla biomassa specifica media delle forme giovanili e adulte delle specie di ogni categoria ecologica e definito Indicatore Ecomorfologico (EMI) (v. Parisi, 2001), agli esemplari di Lumbricidae. Di seguito (Tabella 1) sono esplicitati i punteggi attribuiti ad ogni categoria ecologica (Fusaro et al., 2018; Paoletti et al., 2013):

Tabella 1 - punteggio EMI di ogni categoria ecologica e classe di età per il calcolo del QBS-e

Categoria ecologica	Classe di età	Punteggio EMI
Idrofilo (IDR)	Giovanile (G)	1
Idrofilo (IDR)	Adulto (A)	1
Coprofago (COP)	Giovanile (G)	2
Coprofago (COP)	Adulto (A)	2
Epigeo (EPI)	Giovanile (G)	2,5
Endogeo (END)	Giovanile (G)	2,5
Epigeo (EPI)	Adulto (A)	3
Endogeo (END)	Adulto (A)	3,2
Anecico (ANE)	Giovanile (G)	10
Anecico (ANE)	Adulto (A)	14,4

L'indice è stato calcolato dalla somma dei punteggi EMI attribuiti alle differenti categorie ecologico-funzionali moltiplicata per il numero di esemplari/m² appartenenti a quella categoria (Paoletti et al., 2013):

$$QBS-e = \frac{1}{sup.rilevata [m^2]} \sum_{categoria\ g,a} (EMI_{categoria\ g,a} * n^{\circ} esemplari_{categoria\ g,a})$$

4 RISULTATI

4.1 Clima e meteo-clima

4.1.1 Clima

Nei siti d'indagine a cerreta e a ostrieto la temperatura media ventennale è di 10,8 °C, con precipitazioni cumulate medie annuali di 1297 mm distribuite su circa 104 giorni. Di seguito è rappresentato il diagramma ombrotermico (Grafico 1).

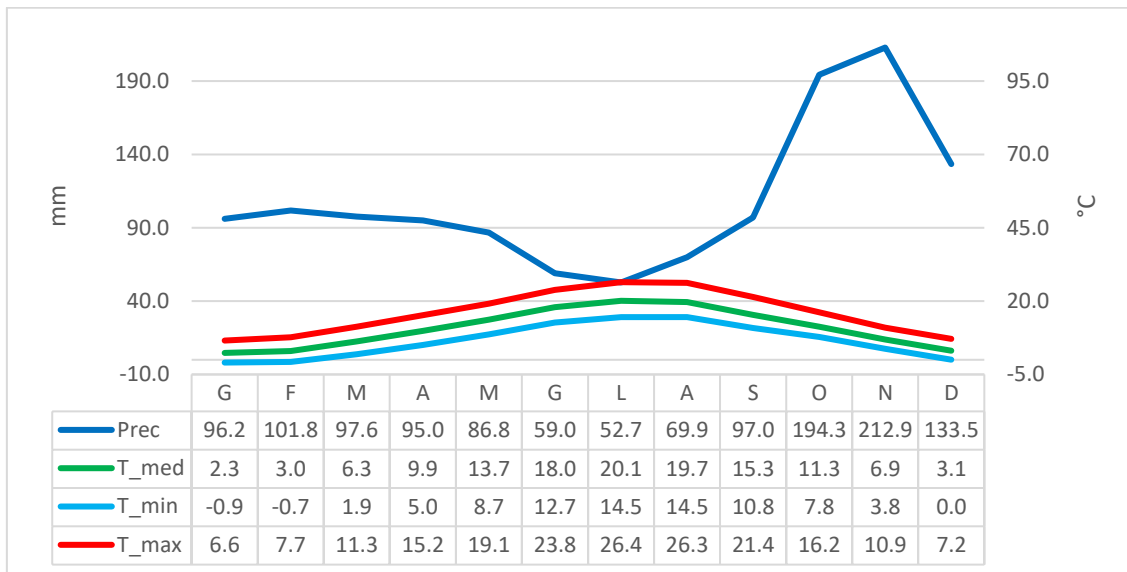


Grafico 1 - diagramma ombrotermico della cella GRIB 00138

Il regime pluviometrico presenta un minimo assoluto estivo ed un massimo assoluto in autunno; in questo caso si registra un debole massimo relativo nel tardo inverno, mentre non risulta un vero e proprio minimo, seppur relativo, invernale. Anche in questo caso si tratta di un regime submediterraneo appenninico, con debole subaridità nel mese di luglio ($P < 3T$).

Secondo la classificazione di Rivas-Martínez et al. (2011), il clima risulta temperato oceanico (semicontinentale debole), variante a estremamente debole submediterraneità (supratemperato inferiore; umido superiore), a carattere subgelido (2 mesi con temperatura minima media < 0 °C).

Il bilancio idroclimatico cumulato annuale presenta un surplus di 396 mm all'anno. Esso presenta un andamento crescente da settembre fino ai mesi di aprile-maggio (periodo di ricarica) per poi decrescere sensibilmente fino ad agosto. Da luglio fino a ottobre si evidenzia un periodo con un calo importante del suddetto bilancio.

Nell'area di studio a faggeta la temperatura media è di 9,6 °C, con precipitazioni cumulate medie annuali di 1534 mm distribuite su circa 114 giorni ed un'evapotraspirazione potenziale cumulata

media annuale secondo Hargreaves – Samani (ETP_{HS}) di 764 mm. Di seguito è rappresentato il diagramma ombrotermico (Grafico 2).

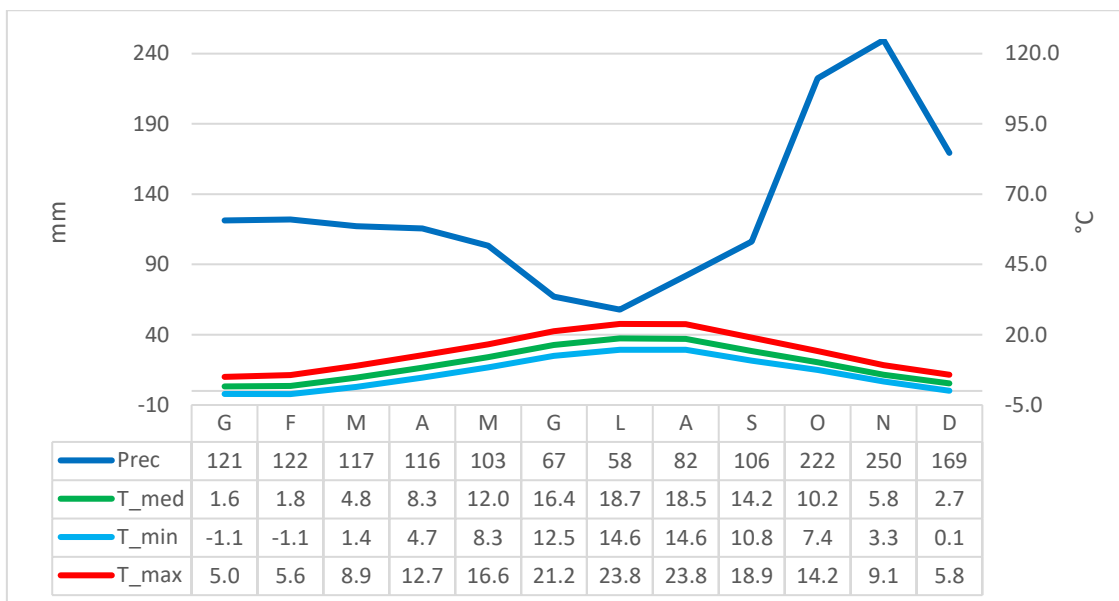


Grafico 2 - diagramma ombrotermico della cella GRIB 00098

Il regime pluviometrico presenta un minimo estivo ed un massimo in autunno; in tardo-inverno e primavera si evidenzia una certa omogeneità mensile delle precipitazioni, le quali vanno a scemare con l'arrivo del trimestre estivo. Il regime di precipitazioni è pertanto inquadrabile come submediterraneo appenninico senza subaridità estiva.

Secondo la classificazione di Rivas-Martínez et al. (2011), il clima risulta temperato oceanico (semicontinentale debole) (supratemperato inferiore; iperumido inferiore) a carattere subgelido (2 mesi con temperatura minima media < 0 °C).

Il bilancio idroclimatico cumulato medio annuale presenta un surplus di 770 mm. Esso presenta un andamento crescente da agosto-settembre fino ai mesi di aprile-maggio (periodo di ricarica) per poi decrescere fino ad agosto. Il periodo ad andamento negativo non è tuttavia così marcato.

4.1.2 Meteo-clima e anomalie

Nel Grafico 3 si espone l'andamento del bilancio idroclimatico cumulato da ottobre 2020 a maggio 2022. Dai grafici si nota un repentino aumento del bilancio idroclimatico nell'autunno – inizio inverno 2020-2021, andamento che scema nel tardo inverno 2021, che, nella cella 00138, addirittura evidenzia un lieve decremento. Nell'estate 2021 si evidenzia un decremento delle riserve idriche decisamente più consistente rispetto alla media, seguito da un autunno poco incisivo nel ristabilire le riserve idriche: il periodo di ricarica si tronca già durante l'inverno, in

cui il bilancio si mantiene più o meno stazionario fino a febbraio 2022, per poi iniziare a decrescere nuovamente.

L'anno idrologico 2020-2021 si è concluso con un bilancio idroclimatico delle celle 00138 e 00098 rispettivamente di 1006 mm (+236) e 483 mm (+87) (secondo Hargreaves – Samani) o 867 mm (+203) e 399 mm (+39) (secondo Penman – Monteith): il surplus dell'anno idrologico è da ascrivere elevate precipitazioni avvenute nell'autunno 2020 e nell'inverno 2020-2021 e alle temperature inferiori alla media (-0,2 °C e -0,3 °C complessivamente). Tuttavia, è bene precisare che nella cella 00138 da febbraio 2021 solo aprile e settembre 2021 hanno registrato precipitazioni cumulate superiori alla media, mentre nella cella 00098 si aggiunge alla corta lista anche maggio 2021.

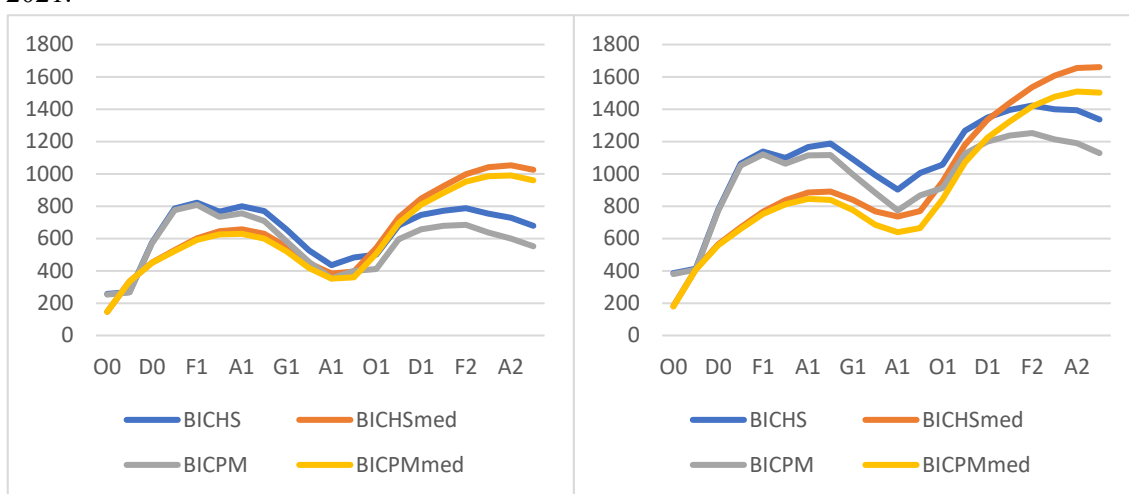


Grafico 3 - andamento del bilancio idroclimatico da ottobre 2020 a maggio 2022 in relazione a quello medio: a sinistra quello riferito alla cella 00138, a destra quello della cella 00098

Da ottobre 2021 a maggio 2022 si evidenzia una contrazione delle precipitazioni di addirittura 404 mm, nella cella 00138, e 533 mm, nella cella 00098. Ciò ha comportato che il bilancio idroclimatico del periodo sia di 196 mm (-432) e 331 mm (-559) secondo Hargreaves – Samani e di 153 mm (-446) e 260 mm (-578) secondo Penman – Monteith. Nell'area della cella 00098 si è accompagnato ad una temperatura maggiore di 0,5 °C rispetto alla media del medesimo periodo. Nel Grafico 4 sono esposti i grafici dell'anomalia del bilancio idroclimatico mensile del periodo ottobre 2020 – maggio 2022.

Tra il campionamento dei lombrichi nelle aree controllo e quello nelle superfici utilizzate, infine, nonostante la prossimità temporale dei rilievi (al massimo circa una settimana), si è registrata una diminuzione del bilancio idroclimatico di circa 20 mm in tutte e tre le aree di studio.

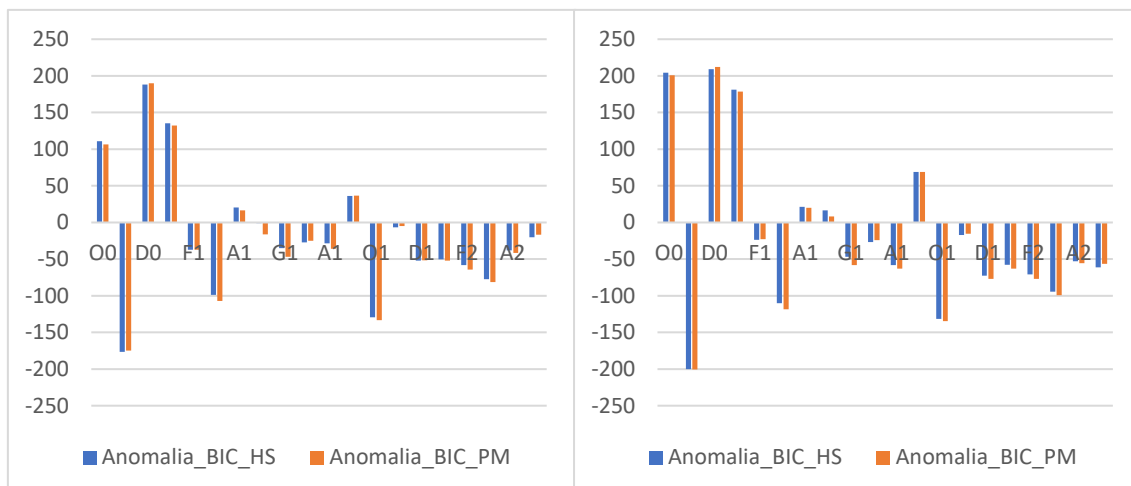


Grafico 4 - anomalia del bilancio idroclimatico mensile nel periodo ottobre 2020 - maggio 2022 della cella 00138, a destra, e 00098, a sinistra

4.2 Risultati dell'analisi stazionale

4.2.1 Vegetazione

In questo capitolo si descrive la vegetazione dei siti d'indagine e si determina il tipo forestale secondo Camerano et al. (2008).



Figura 27 - area controllo della cerreta

Nel bosco a dominanza di cerro (fig. 27) si è rilevata una copertura dello strato arboreo totale, con il cerro (*Quercus cerris* L.) a costituire un piano dominante (V) e l'orniello (*Fraxinus ornus* L.) nel piano dominato, con una copertura compresa tra l'1 e il 5%. Concorre allo strato arboreo la roverella (*Quercus pubescens* Willd.), rappresentata da sporadici individui codominanti (+); non si esclude la presenza di individui ibridi con la rovere (*Quercus petraea* (Matt.) Liebl.). Il carpino nero (*Ostrya carpinifolia* Scop.), invece, non partecipa diffusamente al consorzio, ma si presenta in gruppi, di cui spesso rappresenta l'elemento maggioritario, in limitate zone (impluvi, zone a maggiore pendenza, ecc.). Similmente si ritrovano, però con individui singoli, l'acero opalo (*Acer opalus* Mill.) e il carpino bianco (*Carpinus betulus* L.). Da tali informazioni è quindi possibile attribuire questo popolamento alla categoria delle cerrete (Camerano et al., 2008).

La copertura arbustiva è compresa tra il 5 e 25% e costituita prevalentemente da ginepro (*Juniperus communis* L.) (I) (xerofila ad ampia ripartizione), rosa (*Rosa arvensis* Huds.) (I)

(mesofila ad ampia ripartizione) e biancospino (*Crataegus* L. sp.) (+) (mesoxerofila ad ampia ripartizione).

Lo strato erbaceo si presenta con una copertura compresa tra il 25 e il 50% e caratterizzata da un'elevata variabilità della composizione in base alle caratteristiche microstazionali. Complessivamente il piano erbaceo risulta dominato da gramminoidi mesoxerofili ad ampia ripartizione, in particolare da *Brachypodium rupestre* (Host) Roem. & Schult. aggr. (dominante) e *Sesleria* Scop. spp. (cfr. *Sesleria argentea* Savi e/o *Sesleria autumnalis* (Scop.) F.W. Schultz), accompagnate a gruppi di *Carex flacca* Schreb. (che indica microstazioni con ristagno temporaneo). Ulteriori specie rilevate sono *Cruciata glabra* (L.) C. Bauhin ex Opiz. (mesoxerofila), *Genista tinctoria* L. (mesoxerofila acidofila) (fig. 28), *Galium* L. spp. (cfr. *Galium mollugo* L. e/o *Galium lucidum* All.), *Luzula* Lam. & DC. spp. (acidofila). In alcune delimitate zone sono stati rilevati gruppi di vegetazione dominati da *Pteridium aquilinum* (L.) Kuhn. Sono infine state ritrovate alcuni individui di specie non diffuse quali *Lathyrus linifolius* (Reichard) Bässler (mesoxerofila acidofila) (fig. 28), *Lathyrus niger* (L.) Bernh. (mesoxerofila ad ampia ripartizione), *Anthyllis vulneraria* L. (xerofila ad ampia ripartizione) e *Knautia drymeja* Heuff. (mesofila ad ampia ripartizione) (fig. 28).



Figura 28 - da sinistra: *Knautia drymeja*, *Genista tinctoria*, *Lathyrus linifolius*

Il popolamento oggetto di studio si rivela caratterizzato da un'elevata variabilità in base alle condizioni microstazionali; si può tuttavia affermare il carattere mesoxerofilo della vegetazione. Da un punto di vista strettamente trofico, si può affermare che questa cerreta si trova a cavallo tra quella acidofila e quella neutrofila, mancando infatti sia della presenza o distribuzione diffusa delle specie caratteristiche della prima (mirtillo, luzula) che di specie propriamente neutrofile o addirittura basifile/calcifile della prima (Camerano et al., 2008).

Nelle tagliate effettuate nella cerreta si è rilevato un riscoppio della vegetazione erbacea, ancora dominata da *Brachypodium rupestre* aggr. e *Sesleria* spp., la quale colonizza totalmente o quasi la superficie.

Nella superficie utilizzata nel 2019 (fig. 29) la copertura erbacea risulta compresa tra 75 e 100%; in questa specifica zona non si esclude la compartecipazione di *Molinia arundinacea* Schrank (mesofila acidofila), che però non è stata identificata in quanto non ancora provvista degli organi vegetativi necessari al riconoscimento. La



Figura 29 - tagliata del 2019

copertura arbustiva, compresa tra 1 e 5%, è costituita da *Rosa arvensis* (I) e *Rubus* L. spp. (+). Le matricine rilasciate, della sola specie del cerro, sono caratterizzate da un elevato rapporto ipsodiametrico e chioma poco profonda, che ne pregiudicano la stabilità. La rinnovazione, presente quasi solo al centro del taglio, si presenta scarsa, con qualche semenzale di cerro e il ricaccio prevalente dell'orniello.

Simile si presenta la tagliata del 2021, con la differenza di una minor copertura erbacea (IV), dovuta ad una porzione della superficie con evidente erosione laminare: ciò, per la posizione e l'andamento di tale fenomeno, risulterebbe causato dallo strascico preferenziale del legname lungo tale via di esbosco. Un'ulteriore differenza riscontrata è il rilascio sia di matricine singole che di gruppi: questi ultimi, disposti prevalentemente in prossimità di un piccolo impluvio, sono caratterizzati dalla compartecipazione del carpino nero.

Nel bosco misto di carpino nero e cerro si è rilevata una copertura dello strato arboreo totale, con il cerro a costituire un piano dominante (III) e il carpino nero (IV) e l'orniello (I) a comporre il piano dominato. Concorrono allo strato arboreo individui sporadici di castagno (*Castanea sativa* Mill.), maggiociondolo (*Laburnum anagyroides* Medik.) (+) (mesoxerofila ad ampia ripartizione), acero opalo (fig. 30), acero campestre (*Acer campestre* L.) (mesofila ad ampia ripartizione) e acero montano (*Acer pseudoplatanus* L.), ciliegio (*Prunus avium* (L.) L.) e carpino bianco. Da queste



Figura 30 - rinnovazione gamica di acero opalo

informazioni è quindi possibile attribuire questo popolamento alla categoria degli orno-ostrieti (Camerano et al., 2008): intorno all'area di studio vi è una variabilità della copertura tra le due specie dominanti, che mette in collegamento tale formazione con le cerrete.

La copertura arbustiva è compresa tra l'1 e il 5% ed è costituita prevalentemente da corniolo (*Cornus mas* L.) (+), *Clematis* L. spp., orniello, ginepro, *Rosa arvensis* e biancospino (*Crataegus* L. sp.) (+) (mesoxerofila ad ampia ripartizione).

Lo strato erbaceo si presenta con una copertura compresa tra il 5 e il 25%, composta da *Carex flacca*, *Cruciata glabra*, *Primula* L. spp., *Hepatica nobilis* Schreb. (mesoxerofila ad ampia ripartizione), *Anemonoides trifolia* (L.) Holub (mesofila acidofila), *Hieracium* L. spp., *Vicia* L. spp., *Pulmonaria* L. spp. (mesofila ad ampia ripartizione), *Cephalanthera damasonium* (Mill.) Druce (mesoxerofila ad ampia ripartizione) (fig. 31) e *Pteridium aquilinum*. Ai margini, dove la copertura arborea consente una maggior illuminazione degli strati inferiori, sono stati rilevati *Brachypodium* cfr. *rupestre* aggr. e/o *sylvaticum* (Huds.) P. Beauv. (mesofila ad ampia ripartizione), *Sesleria* cfr. *argentea* e/o *autumnalis* e *Buglossoides purpureocaerulea* (L.) I.M. Johnst. (mesoxerofila ad ampia ripartizione). Localmente sono stati rinvenuti le specie *Lathyrus venetus* (Mill.) Wohlf. (fig. 31), *Aegopodium podagraria* L., *Geranium nodosum* L. (fig. 31) e *Sanicula europaea* L., connotanti digressioni mesofile del suddetto bosco, ed *Eupatorium cannabinum* L. (mesoigrofila) ai margini della pista.



Figura 31 - da sinistra: *Cephalanthera damasonium*, *Lathyrus venetus*, *Geranium nodosum*

Il popolamento oggetto di studio si rivela caratterizzato prevalentemente da specie mesoxerofile, con la partecipazione locale di specie mesofile che, talora, risultano esclusive. Questo bosco si configura quindi come un ostrieto mesoxerofilo variante con cerro, in mosaico con la cerreta neutrofila e l'ostrieto mesofilo a seconda delle differenti condizioni idriche del suolo (Camerano et al., 2008).

Anche nelle tagliate effettuate nell'ostrieto si è rilevato un riscoppio della vegetazione erbacea e arbustiva, dominata prevalentemente da *Brachypodium rupestre* aggr., *Festuca* cfr. *rubra* L. aggr., *Sesleria* spp. e *Rubus* spp., le quali colonizzano totalmente o quasi la superficie. In entrambi i tagli la matricinatura è a gruppi nel caso del carpino nero e del cerro e singola per le altre specie arboree.

Nella superficie utilizzata nel 2019 la copertura erbacea risulta compresa tra 25 e 50%, come anche la copertura arbustiva costituita dai rovi; questi ultimi si dispongono prevalentemente

appena a valle della pista, in una zona di accumulo delle frasche. La rinnovazione si presenta scarsa, soprattutto quella agamica di carpino nero, ma presente.

La tagliata del 2020 (fig. 32) presenta una maggior copertura erbacea (IV) e l'assenza di copertura arbustiva; si evidenzia un'area con evidente erosione laminare, testimoniata dalla notevole ghiaiosità superficiale e dovuta all'elevata pendenza dello specifico tratto.



Figura 32 - particolare della tagliata del 2020, si nota la rinnovazione di orniello e acero opalo



Figura 33 - area controllo della faggeta

Nel bosco a dominanza di faggio (fig. 33) lo strato arboreo si presenta con copertura totale, costituito dal faggio (*Fagus sylvatica* L.) (V). Ai limiti inferiori dell'area di studio subentra nella consociazione il carpino nero, che man mano acquisisce importanza all'avvicinarsi del torrente Dorbera. Sporadicamente si ritrova qualche individuo di acero opalo e montano. Il popolamento afferisce quindi alla categoria delle faggete (Camerano et al., 2008).

Lo strato erbaceo, che presenta una copertura inferiore al 5%, è caratterizzato prevalentemente da specie laminifoglie mesofile quali *Geranium nodosum*, *Corydalis* DC. spp. (fig. 34), *Anemonoides trifolia*, *Cardamine bulbifera* (L.) Crantz (fig. 34). Altre specie riscontrate sono *Daphne laureola* L. (mesoxerofila ad ampia ripartizione), *Luzula nivea* (L.) DC. (acidofila, ma rinvenuta in limitati gruppi), *Senecio ovatus* (G. Gaertn., B. Mey. & Schreb.) Willd. (mesoigrofila). Laddove il sottobosco risulta maggiormente illuminato, si presentano estese coperture di graminoidi dominate da *Sesleria* cfr. *autumnalis* e/o *argentea*. Localmente sono stati rilevati *Saxifraga rotundifolia* L. (mesoigrofila) (fig. 34), *Adenostyles australis* (Ten.) Iamónico & Pignatti (mesoigrofila), *Moehringia* spp., *Aruncus dioicus* (Walter) Fernald (mesofila ad ampia ripartizione), *Trochiscanthes nodiflora* (All.) W.D.J. Koch (fig. 34), *Emerus major* Mill. (mesoxerofilo ad ampia ripartizione), *Cephalanthera longifolia* (L.) Fritsch (mesoxerofila ad ampia ripartizione), *Veronica urticifolia* Jacq. (mesofila ad ampia ripartizione), *Sanguisorba* spp. La faggeta è quindi caratterizzata dalla presenza prevalente e diffusa di specie mesofile ad ampia ripartizione, con digressioni locali verso condizioni acidofile/subacidofile o mesoxerofile. Si ritiene pertanto che tale formazione forestale afferisca alla faggeta eutrofica, a cavallo con il

sottotipo submontano variante con carpino nero, il cui limite si riscontra poco sotto l'area di studio, nonostante la presenza, peraltro non diffusa, di entità acidofile.



Figura 34 - da sinistra: *Corydalis* sp., *Saxifraga rotundifolia*, *Cardamine bulbifera*, *Trochiscanthes nodiflora*

Come nei precedenti casi, l'apertura del soprassuolo conseguente al taglio ha favorito la colonizzazione da parte della vegetazione erbacea.



Figura 35 - tagliata del 2018

Nella tagliata del 2018 (fig. 35) la copertura erbacea risulta totale, dominata dalla sesleria e in minor parte dalla luzula, con presenza di *Cardamine bulbifera*, *Helleborus* Tourn. sp. e senecio. La rinnovazione riscontrata è complessivamente scarsa, specialmente quella del faggio, mentre le ceppaie del carpino nero, più

frequente rispetto al taglio del 2019, risultano maggiormente vitali. La matricinatura è a singole piante, di buona stabilità.

La superficie utilizzata nel 2019 (fig. 36) presenta due settori che sono stati distinti per quanto riguarda la vegetazione e le condizioni del suolo. Nella porzione a est, che confina con l'area controllo, vi è buona parte del suolo (circa il 50%) che risulta scoperto dalla vegetazione e si suppone che avvenga erosione laminare; lo strato erbaceo coprente la restante superficie è caratterizzata dalla presenza prevalente di specie laminifoglie quali *Senecio ovatus*, *Helleborus* sp., *Digitalis lutea* L., *Cardamine bulbifera*, con la compartecipazione della luzula. In questa zona sono stati



Figura 36 - tagliata del 2019 (Foto di Lisa Pagani)

rilevati alcuni semenzali di faggio e maggiociondolo, mentre la rinnovazione agamica risulta scarsa. Nel settore ovest non si riscontra alcun fenomeno diffuso di erosione e la copertura erbacea è totale: in questa parte si perdono parzialmente le specie laminifoglie, sostituite da un esteso tappeto di sesleria.



Figura 37 - rinnovazione agamica di faggio predata dagli ungulati

In ultimo vi è da segnalare la cospicua presenza, in tutte le aree utilizzate, di rinnovazione predata da ungulati che, nel caso di quella agamica, già scarsa, assume il caratteristico aspetto a “pulvino” (fig. 37).

4.2.2 Forme di humus

In questo capitolo sono riportati i risultati ottenuti dallo studio delle forme di humus presenti nelle aree controllo.

Nella cerreta sono presenti gli orizzonti diagnostici OL, zoOF (OF zoogenico) (fig. 38d) e OH (fig. 38e), quest’ultimo, a seconda delle condizioni, più o meno spesso e continuo o in tasche. Il riconoscimento e la diagnosi dell’orizzonte A sono stati di difficile applicazione, in quanto questo non è risultato particolarmente evidente, per la sua scarsa potenza e talvolta la sua quasi assenza (fig. 38a, 38b e 38c). Già a pochi cm dalla superficie della lettiera, infatti, si è rilevato un orizzonte caratterizzato da un colore giallo aranciato, con struttura prevalentemente poliedrica subangolare e scarsa evidenza di umificazione, caratteri tipici dell’orizzonte B (fig. 38a e 38c); quest’ultimo si ritiene abbia caratteristiche cambiche. Si sono inoltre osservati e raccolti alcuni elementi che testimoniano la possibilità di erosioni passate e la “decapitazione” dell’orizzonte A (fig. 38a e 38c) (ceppaie particolarmente rialzate e in passato si hanno testimonianze di utilizzo del fuoco per la pulizia del sottobosco, oltre al possibile sovrasfruttamento dell’area fino al secondo dopoguerra, ecc.). Non si è riusciti pertanto a diagnosticare con certezza il tipo di orizzonte organo-minerale presente, tuttavia, dopo un’attenta analisi, si ritiene che questo, in incipiente formazione, sia zoogenico, nello specifico biomacrostrutturato o biomesostrutturato. La transizione stessa tra OH e A, proprio per il carattere evanescente di quest’ultimo, non è stata univocamente interpretata, ma si ritiene che sia chiara o netta (fig. 38a, 38b e 38c). Infine, si riporta la difficoltà riscontrata nello scavo del mini-profilo con la vanga, per la compattezza del terreno e le sue condizioni particolarmente secche. Dalle informazioni raccolte, pertanto, si ritiene che il sistema di humus presente nella cerreta sia l’*AMPHI*, seppure con caratteri atipici (Zanella, *in verbis*; Zanella et al., 2018c). Non risulta possibile definire univocamente la forma di humus

specifica presente in questa formazione forestale per la mancanza di sufficienti caratteristiche diagnostiche e l'atipicità riscontrata. Si può altresì affermare che, data la diffusa copertura erbacea a prevalenza di graminoidi, localmente vi possono essere sistemi *RHIZO* (Zanella et al., 2018d).

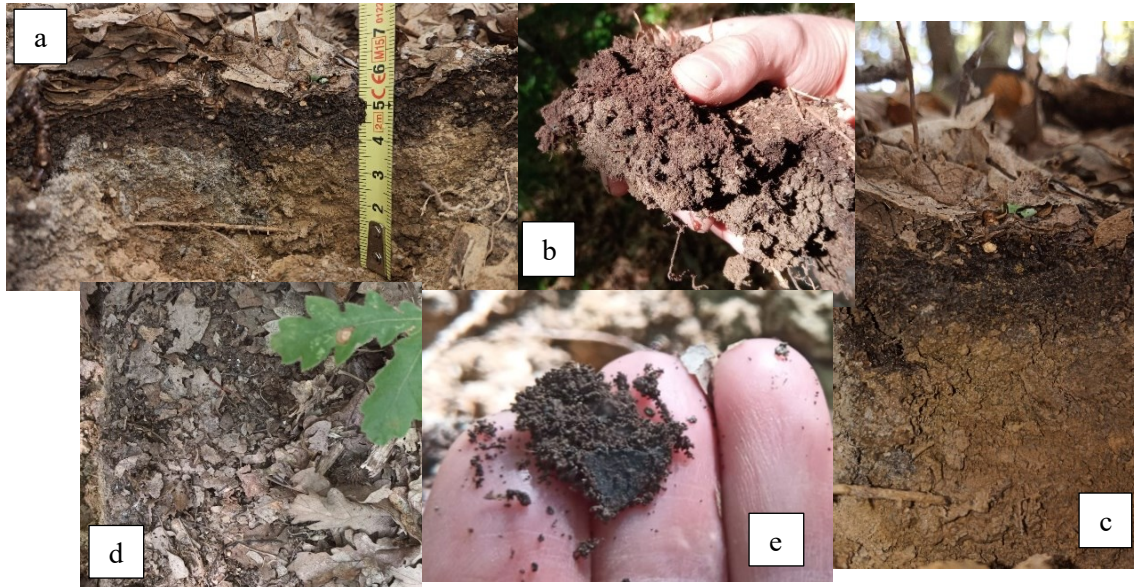


Figura 38 - a) profilo dell'humus: si nota la scarsa evidenza/assenza dell'orizzonte A; b) porzione di suolo in cui è evidente l'orizzonte OH e maA con transizione chiara/netta; c) profilo in cui sono evidenziate le caratteristiche dell'orizzonte minerale, che fanno pensare ad un B; d) orizzonte zoOF visto dall'alto; e) particolare dell'orizzonte OH

Nell'ostrieto si è rilevata la presenza degli orizzonti OLn, OLv, zoOF a tasche e l'alternanza spaziale tra A biomacrostrutturati e biomesostrutturati (fig. 39); l'orizzonte A si presenta di colore grigio scuro, sciolto, e risulta parzialmente colonizzato da miceli derivanti dall'orizzonte OLv. Il suolo ha presentato scarsa resistenza all'affondamento della vanga durante lo scavo del mini-profilo. In alcune zone l'orizzonte OL è caratterizzato dalla presenza di legno morto di piccole dimensioni (piccoli rami probabilmente spezzatisi durante i gelicidi, fenomeni piuttosto diffusi nella zona), che localmente potrebbe dare origine a sistemi *LIGNO* (Zanella et al., 2018d). Data la pendenza si sono riscontrati fenomeni di erosione e accumulo della lettiera, da cui si immagina la presenza di erosione laminare in determinate zone. La forma di humus presente è stata classificata quindi come *Oligomull*, afferente al sistema *MULL* (Zanella et al., 2018c).



Figura 39 – ostrieto; da sinistra: profilo dell'humus, orizzonte A giudicato come biomesostrutturato, profilo di conferma

Nella faggeta gli orizzonti diagnostici riscontrati sono OLn, OLv a tasche o continuo (ricco di micelio) e un maA dal colore umifero con presenza sporadica di blocchi subangolari (fig. 40). Il suolo è risultato morbido allo scavo. Anche in questo caso si è rilevata la presenza di zone con legno morto di piccole dimensioni a terra e fenomeni di erosione e accumulo della lettiera, per cui valgono le medesime considerazioni riportate per l'ostrieto. Tale forma di humus è stata quindi classificata come *Mesomull*, con digressioni locali verso l'*Oligomull*, appartenente al sistema *MULL* (Zanella et al., 2018c).



Figura 40 - profili dell'humus riscontrati nella faggeta: si nota l'orizzonte A biomacrostrutturato

4.3 Risultati delle analisi dei suoli

In questo capitolo sono riportati i risultati ottenuti dalle analisi dei suoli dei siti d'indagine.

Nella Tabella 2 sono riportati il contenuto percentuale delle diverse classi dimensionali sulla terra fine (<2 mm) dei siti di studio e la classe tessiturale secondo la classificazione USDA; il contenuto percentuale di scheletro è riportato sul totale.

Tabella 2 - contenuto in classi dimensionali e tessitura

Sito	Scheletro (% su totale)	Sabbia (% su terra fine)	Limo (% su terra fine)	Argilla (% su terra fine)	Tessitura
ACbasCr	18	64,6	16,7	18,7	FS
ACmedCr	14	58,6	16,7	24,7	FSA
AT2019Cr	8	64,6	16,7	18,7	FS
AT2021Cr	8	52,6	20,7	26,7	FSA
ACOsCr	9	54,6	20,7	24,7	FSA
AT2019OsCr	11	54,6	20,7	24,7	FSA
AT2020OsCr	30	60,6	16,7	22,7	FSA
ACFa	9	46,6	28,7	24,7	F
AT2018Fa	8	40,6	34,7	24,7	F
AT2019Fa	9	46,6	26,7	26,7	FSA

Secondo la classificazione USDA delle classi tessiturali, i suoli dei siti di campionamento sono prevalentemente franco-sabbioso-argillosi (*sandy clay loam*), con l'eccezione di un'area controllo e la superficie utilizzata nel 2019 del bosco di cerro, che risultano franco-sabbiosi (*sandy loam*), e l'area controllo e la superficie utilizzata nel 2019 del bosco di faggio, che risultano a tessitura franca (*loam*). Tuttavia, come evidenziato dalla figura 41, i due suoli classificati come franco-sabbiosi sono prossimi al limite di contenuto di argilla (20%) per definirsi franco-sabbioso-argillosi; stesso discorso vale per i suoli della faggeta, in particolare quello della superficie utilizzata nel 2019, che seppur classificato come franco-sabbioso-argilloso, risulta comunque molto vicino al limite per essere franco.

In generale risulta che nella cerreta e nell'ostrieto i suoli sono franco-sabbioso-argillosi (tessitura moderatamente fine), mentre nella faggeta, grazie al maggior contenuto in limo, risultano franchi (tessitura media) (AA.VV., 2006). Il contenuto percentuale di scheletro risulta comune nella maggior parte dei casi; si distinguono un'area controllo della cerreta e la superficie utilizzata nel 2020 afferente all'ostrieto, la quale raggiunge un valore elevato di questo parametro, in cui questo è giudicato frequente (AA.VV., 2006).

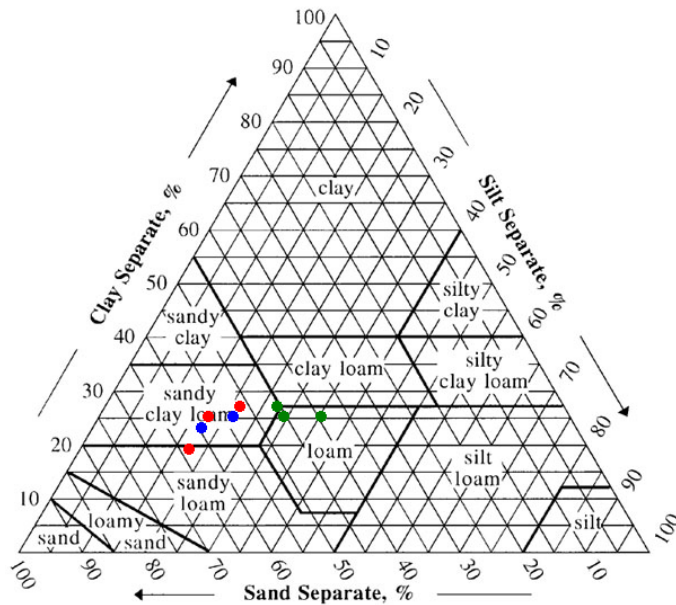


Figura 41 - collocazione dei suoli dei siti di indagine nel triangolo tessiturale USDA: cerreta (in rosso), ostrieto (in blu), faggeta (in verde)

Il pH dei suoli è riportato nel Grafico 5. La valutazione in base alla reazione del terreno riportata è tratta da AA.VV. (2006). I suoli della cerreta risultano moderatamente acidi nelle aree controllo e nell'area utilizzata nel 2019, mentre nella superficie tagliata nel 2021 il suolo risulta debolmente acido (subacido). Nell'ostrieto essi si trovano a cavallo tra il neutro e il debolmente alcalino (subalcalino), mentre nella faggeta questi sono neutri, tranne nel caso della superficie utilizzata nel 2019, la quale risulta neutro-subalcalina (AA.VV., 2006; Giandon e Bortolami, 2007). Dal Grafico 5 si nota che nei suoli delle superfici utilizzate si verifica un incremento del pH rispetto alle rispettive aree controllo, specie nella cerreta.

Nel Grafico 6 sono esposti i valori di conducibilità elettrica dei suoli, parametro che valuta la concentrazione di elettroliti e quindi il contenuto in sali solubili. Secondo l'interpretazione delle analisi del terreno di Giandon e Bortolami (2007), la salinità di tutti i suoli risulta normale, non costituendo infatti alcun pericolo di depressione sulla vegetazione, e trascurabile (AA.VV., 2006). Si evidenziano valori maggiori, seppur comunque bassi, nei suoli afferenti all'ostrieto, seguiti da quelli della faggeta; valori d'eccezione sono quelli riferiti ad una delle aree controllo della cerreta e nella superficie della faggeta tagliata nel 2019, che risultano relativamente elevati rispetto ai suoli delle medesime formazioni forestali.

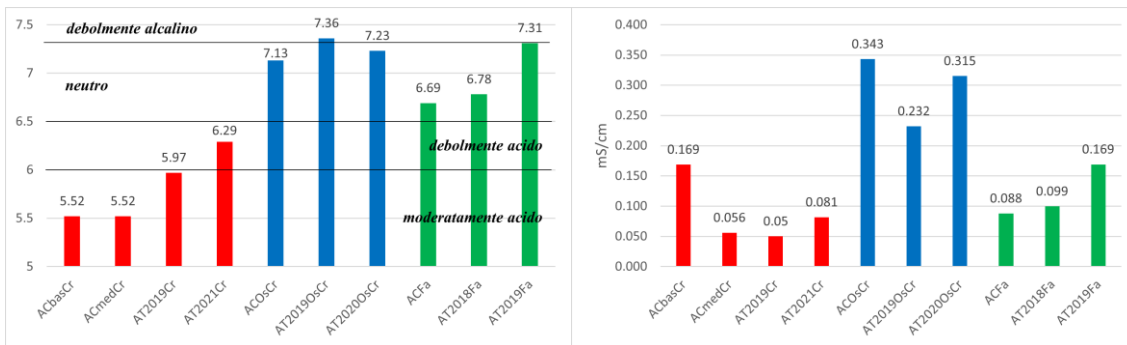


Grafico 5 - pH

Grafico 6 - conducibilità elettrica

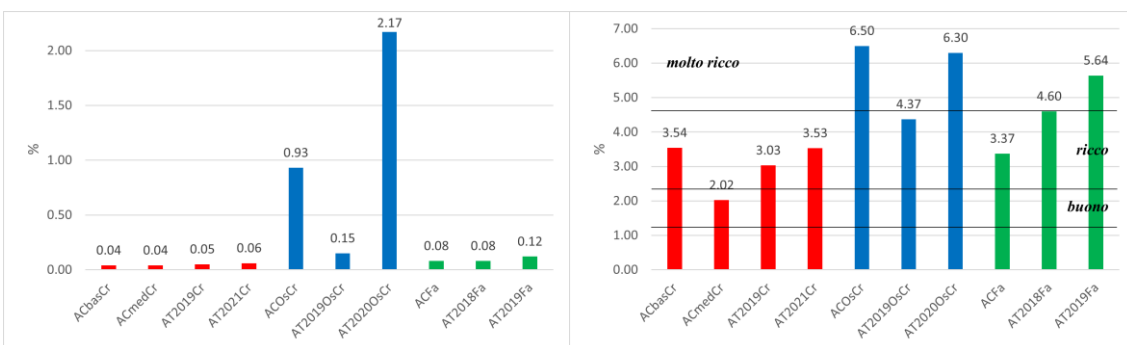


Grafico 7 - carbonio inorganico

Grafico 8 - carbonio organico

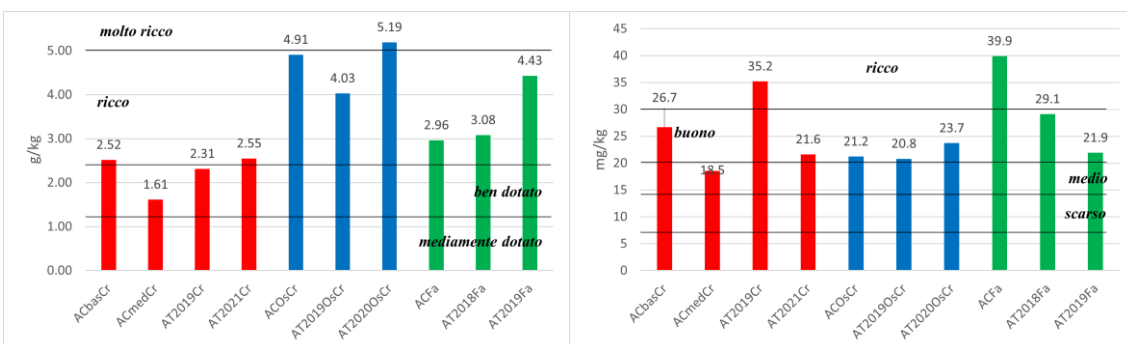


Grafico 9 - azoto totale

Grafico 10 - fosforo assimilabile

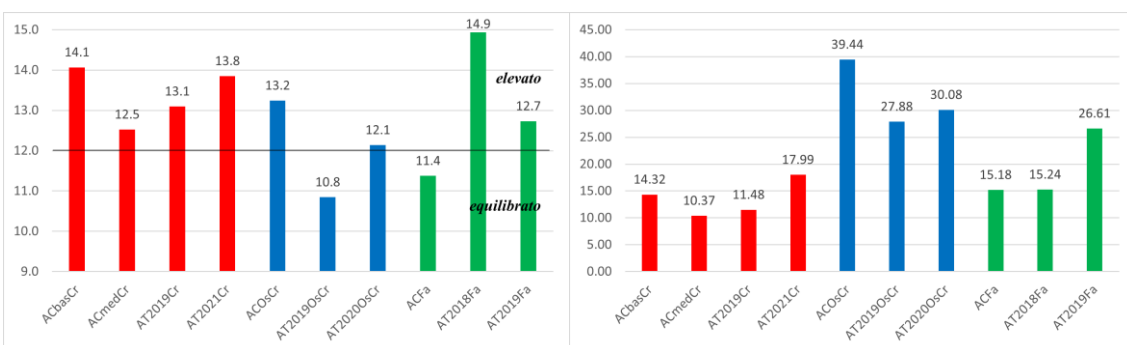


Grafico 11 - rapporto C/N

Grafico 12 - basi scambiabili

Il contenuto di carbonio inorganico, che valuta la concentrazione dei carbonati, è riportato nel Grafico 7. I suoli della cerreta sono caratterizzati dai valori minori di questo parametro, mentre quelli afferenti all'ostrieto presentano i valori maggiori. In quest'ultimo caso, tranne l'area

tagliata nel 2019 si presentano valori relativamente elevati, in particolare nella superficie utilizzata nel 2020, che raggiunge concentrazioni superiori al 2%. Da queste informazioni si può ipotizzare che tutti i suoli siano più o meno decarbonatati, con l'eccezione di quelli dell'area controllo e la tagliata 2020 dell'ostrieto.

Il contenuto di carbonio organico è riportato nel Grafico 8; la valutazione del suolo sulla base di questo parametro è tratta da Giandon e Bortolami (2007). Tutti i suoli risultano ricchi o molto ricchi di carbonio organico, tranne nel caso dell'area controllo *ACmedCr* della cerreta, caratterizzato da un minor contenuto, seppur buono, della frazione organica. Valori relativamente elevati si riscontrano nell'ostrieto e nelle superfici utilizzate della faggeta. Sia nella faggeta che nella cerreta si nota un incremento del contenuto di carbonio organico nelle superfici utilizzate.

Il contenuto di azoto totale è riportato nel Grafico 9; la valutazione del terreno sulla base di questo parametro è tratta da Giandon e Bortolami (2007). Il contenuto di azoto risulta positivamente correlato col contenuto di carbonio organico, da cui ne consegue una ricca dotazione di questo elemento per quasi tutti i suoli. Eccessivamente dotato di azoto è il suolo della superficie utilizzata nel 2020 afferente all'ostrieto (AA.VV., 2006; Giandon e Bortolami, 2007). I valori più bassi si riscontrano nei suoli della cerreta, mentre i valori più elevati si rilevano nei suoli dell'ostrieto. Nella faggeta e nella cerreta si nota un incremento del valore di azoto totale nelle superfici utilizzate.

Il contenuto di fosforo assimilabile è riportato nel Grafico 10; la valutazione si basa sulla classificazione dello schema interpretativo ARPAV (Giandon e Bortolami, 2007). Per quanto riguarda il contenuto di questo elemento, tali suoli ne risultano ben dotati o ricchi, specialmente quelli su cui insiste la faggeta. Mediamente dotato di questo elemento risulta invece l'area controllo *ACmedCr* della cerreta (Giandon e Bortolami, 2007). I valori complessivamente inferiori si riscontrano nell'ostrieto, mentre sia nella faggeta che nell'ostrieto si rileva una maggiore variabilità di tale parametro. Nella faggeta si nota il decremento del contenuto di fosforo assimilabile a seguito delle utilizzazioni.

Dal Grafico 11 si nota che in tali suoli, in generale, l'azoto è un fattore limitante ($C/N > 12$) e pertanto si accompagna ad un relativamente basso tasso di mineralizzazione, ma anche di umificazione: si suppone quindi la presenza di composti organici indecomposti e non degradati. Eccezioni particolari si riscontrano nella superficie utilizzata nel 2019 dell'ostrieto e nell'area controllo della faggeta, contraddistinti da un relativamente basso rapporto C/N (tra 8 e 12), il

quale indica un buon tasso di umificazione della sostanza organica. Non si evidenziano cali importanti del rapporto C/N tra le aree controllo e le aree tagliate.

Il contenuto dei cationi scambiabili (calcio, magnesio, potassio e sodio) è riportato nei seguenti grafici (Grafico 13, 14, 15 e 16); la valutazione del suolo sulla base di questi parametri è tratta da AA.VV. (2006) e Giandon e Bortolami (2007) per il calcio.

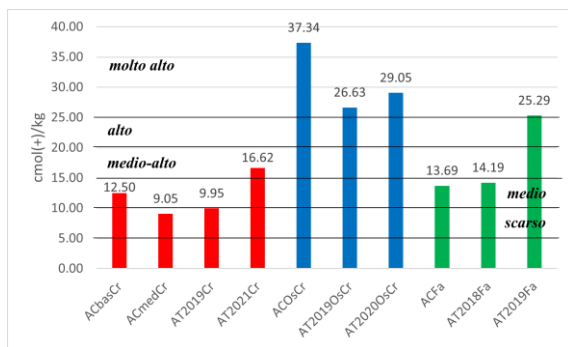


Grafico 13 - calcio scambiabile

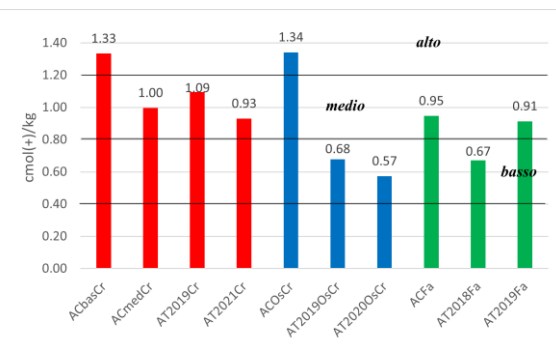


Grafico 14 - magnesio scambiabile

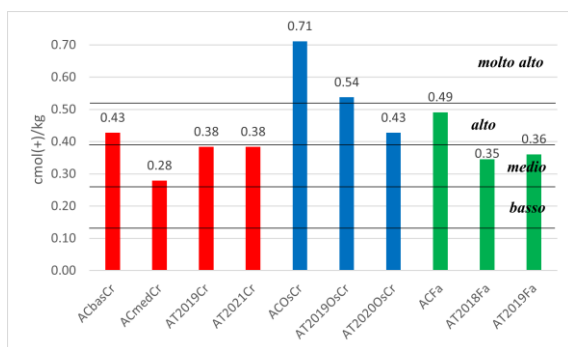


Grafico 15 - potassio scambiabile

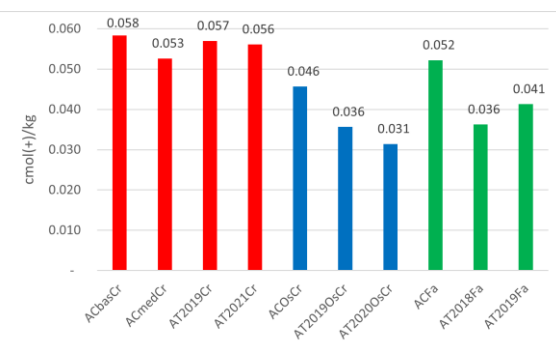


Grafico 16 - sodio scambiabile

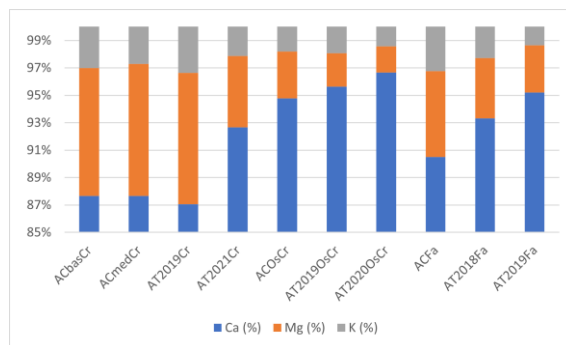


Grafico 17 – ripartizione percentuale delle basi di scambio

Il contenuto di calcio scambiabile è relativamente basso nelle aree di studio afferenti alla cerreta, mentre nei suoli a ostrieto esso raggiunge i valori più elevati. Costituiscono un'eccezione le superfici utilizzate nel 2021 della cerreta e nel 2019 nella faggeta, in cui si riscontrano quantità nettamente maggiori in relazione alle rispettive formazioni forestali.

Per quanto riguarda il contenuto di magnesio scambiabile, si riscontrano i valori più elevati nei suoli della cerreta, mentre nella faggeta e nell’ostrieto si registrano contenuti medi o bassi, con l’eccezione dell’area controllo di quest’ultima. In generale si riscontra un contenuto maggiore di questo elemento nelle aree controllo.

Nella faggeta e nell’ostrieto si nota un andamento decrescente del contenuto di potassio scambiabile dai suoli delle aree controllo a quelli delle aree utilizzate. I valori maggiori di questo parametro si rilevano nell’ostrieto e in generale nelle aree controllo.

Il contenuto di sodio scambiabile risulta maggiore nei suoli appartenenti alla cerreta e in generale nelle aree controllo di ogni formazione. Nella faggeta e nell’ostrieto si evidenzia il decremento del contenuto di questo elemento sui siti di scambio in seguito all’utilizzazione.

Il contenuto più elevato di basi di scambio si riscontra nei suoli appartenenti all’ostrieto, mentre nella cerreta se ne rilevano le quantità minori, come riportato nel Grafico 12.

Dal Grafico 17 si nota la maggior partecipazione di magnesio e potassio al complesso di scambio dei suoli su cui insiste la cerreta rispetto a quelli appartenenti all’ostrieto e alla faggeta. In questi ultimi si osserva un andamento decrescente, dall’area controllo alle tagliate, del magnesio e del potassio scambiabili ed un conseguente aumento percentuale del calcio sulle basi di scambio.

È bene precisare che la disponibilità di magnesio e potassio dipendono dai rapporti tra le basi di scambio Ca/Mg e Mg/K, in quanto tra questi elementi si instaurano fenomeni di antagonismo sia sui siti di scambio che, soprattutto, sulla loro disponibilità (Giandon & Bortolami, 2007) (Grafico 18 e 19).

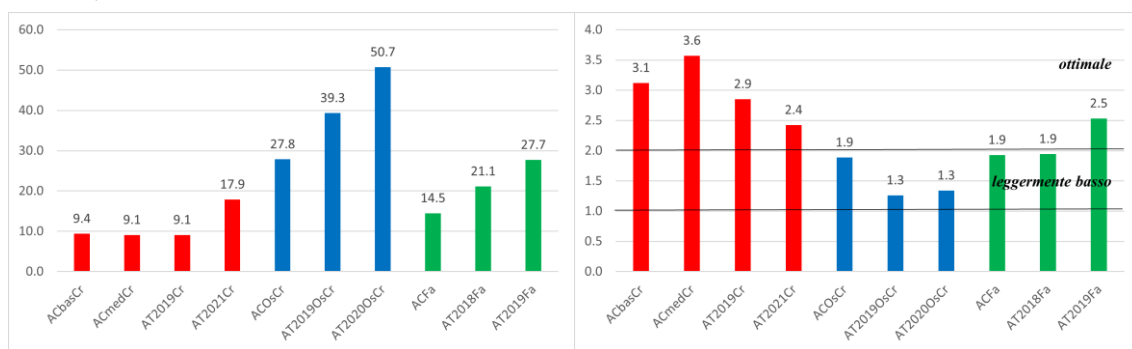


Grafico 18 - rapporto Ca/Mg

Grafico 19 - rapporto Mg/K

Dal Grafico 18 si nota che i valori minori del rapporto Ca/Mg si riscontrano nei suoli della cerreta, seguiti da quelli della faggeta; nell’ostrieto tale rapporto risulta piuttosto elevato. Tranne che nella cerreta, inoltre, questo parametro risulta crescente a seguito degli interventi selvicolturali. Secondo il MiPAAF (2000), risulta medio nei primi tre siti della cerreta e alto nei suoli delle altre aree d’indagine.

Nelle diverse formazioni forestali si nota che il rapporto Mg/K è inversamente proporzionale al rapporto Ca/Mg, considerazione però non totalmente valida all'aumentare della scala di osservazione. Secondo AA.VV. (2006), nella cerreta vi è un rapporto Mg/K ottimale, mentre leggermente basso risulta nei suoli dell'ostrieto e della faggeta, con l'eccezione, in quest'ultima formazione, della superficie utilizzata nel 2019.

4.4 Risultati dell'analisi della lombricofauna

In questo capitolo sono riportati i risultati ottenuti dall'analisi della lombricofauna nei differenti siti d'indagine.

Nelle aree di studio sono stati campionati complessivamente 31 esemplari da 6 dei 10 siti d'indagine, riportati nella Tabella 3; la nomenclatura si riferisce a Blakemore (2008), mentre la categoria ecologica è tratta da Paoletti et al. (2013):

Tabella 3 - numero totale degli esemplari campionati durante lo studio per specie, categoria ecologica e stadio di sviluppo. EPI=epigeo, END=endogeo, ANE=anecico

Specie	Categoria ecologica	
<i>Dendrobaena</i> Eisen sp.	EPI	END, COP
<i>Lumbricus rubellus</i> Hoffmeister	EPI	
<i>Octodrilus complanatus</i> Dugès	ANE	
<i>Octodrilus</i> cfr. <i>complanatus</i>	END	ANE
cfr. <i>Octodrilus complanatus</i>	END	ANE
<i>Octodrilus transpadanus</i> Rosa	END	
<i>Octodrilus</i> Omodeo spp.	END	ANE

Tutte le specie campionate afferiscono alla famiglia Lumbricidae. Sei esemplari sono risultati non identificabili per la loro forma estremamente giovanile, ma sono stati comunque considerati nell'analisi dei dati.

Nella cerreta sono stati campionati complessivamente 8 esemplari (fig. 42), distribuiti nelle due aree controllo e nella tagliata del 2021; nella superficie utilizzata nel 2019 non è stato raccolto alcun individuo (fig. 43).

Nell'area controllo *ACbasCr* sono stati raccolti due esemplari di *Octodrilus* cfr. *complanatus* immaturi in una zona micro-morfologicamente concava ai piedi di un masso (22 es./m²); sempre in una zona caratterizzata da micro-concavità è stato rinvenuto un esemplare giovanile di *Dendrobaena* sp. (11 es./m²). Infine, in una replica caratterizzata dalla presenza di copertura erbacea, si è campionato un esemplare adulto dell'endogeo *Octodrilus transpadanus* (11 es./m²).



Figura 42 - da sinistra: esemplare giovanile di *Octodrilus* cfr. *complanatus* e *Octodrilus complanatus* adulto mentre fuoriesce dal suolo

Tabella 4 - *ACbasCr*: specie e densità rilevate

Specie	Categoria ecologica		Stadio di sviluppo	Densità (es/m ²)
<i>Dendrobaena</i> Eisen sp.	EPI	END, COP	Giovanile	2,2
<i>Octodrilus</i> cfr. <i>complanatus</i>	END	ANE	Giovanile	4,5
<i>Octodrilus transpadanus</i> Rosa	END		Adulto	2,2
			TOTALE	8,9

Nell'area controllo *ACmedCr* sono stati campionati un adulto di *Octodrilus complanatus* (11 es./m²) (fig. 37) e, in una seconda replica, due esemplari di *Octodrilus* cfr. *complanatus* allo stadio di sviluppo giovanile (22 es./m²). Nella prima replica si sono osservati due Carabidi, identificati come *Calosoma sycophanta* L.

Tabella 5 – *AcmedCr*: specie e densità rilevate

Specie	Categoria ecologica		Stadio di sviluppo	Densità (es/m ²)
<i>Octodrilus complanatus</i> Dugès	ANE		Adulto	2,2
<i>Octodrilus</i> cfr. <i>complanatus</i>	END	ANE	Giovanile	4,5
			TOTALE	6,7

Tutte e cinque le repliche in cui sono stati estratti i lombrichi sono caratterizzate dalla presenza della lettiera e dell'orizzonte OH, oltre, ovviamente, ad una copertura totale arborea.

Nell'area utilizzata nel 2021 si è rilevato un solo lombrico, classificato come cfr. *Octodrilus complanatus*, in una replica posta al di sotto di un gruppo di matricine di cerro e ostria, nei pressi dell'impiuvio costituente il confine della tagliata. In questa replica si è osservata l'assenza dell'orizzonte OH, la presenza di un orizzonte OL a tasche, gallerie di 2-3 mm nel suolo e una copertura inferiore al 50% di semenzali di cerro e vegetazione erbacea. Il suolo è risultato più umifero e meno "massivo" rispetto alle altre repliche effettuate nella specifica area.

Tabella 6 – AT2021Cr: specie e densità rilevate

Specie	Categoria ecologica		Stadio di sviluppo	Densità (es./m ²)
cfr. <i>Octodrilus complanatus</i>	END	ANE	Giovanile	2,2
			TOTALE	2,2

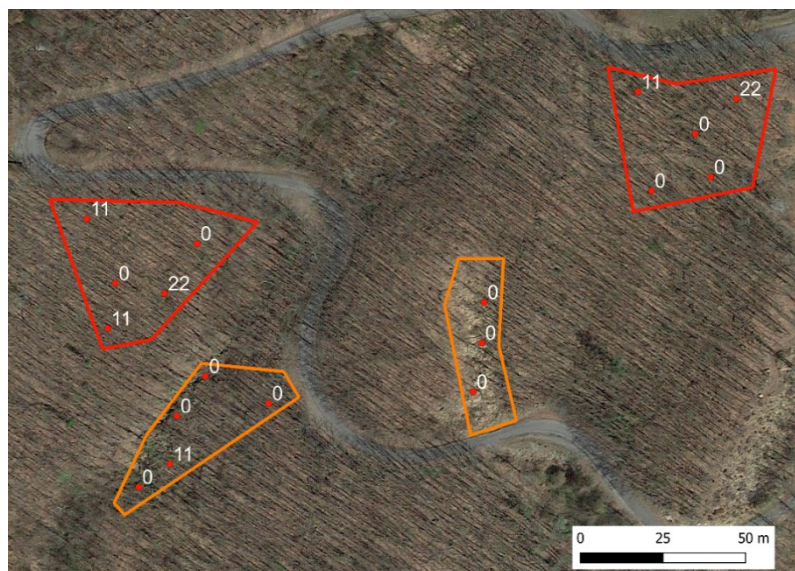


Figura 43 - posizione e densità delle repliche nella cerreta: in rosso le aree controllo, in arancione le aree utilizzate

Nell'ostrieto con cerro (fig. 44) sono stati campionati complessivamente 6 esemplari nella sola area controllo (13 esemplari/m²). In questo sito sono stati raccolti due esemplari giovani di cfr. *Octodrilus complanatus* (22 es./m²), in una zona contraddistinta da scarsa copertura erbacea e presenza di miceli. In una seconda replica, posta al di sopra di un sentieramento il quale forma una micro-concavità del suolo, si sono estratti un *Octodrilus complanatus* maturo (11 es./m²) e un cfr. *Octodrilus complanatus* in forma giovanile (11 es./m²); in una zona simile, infine, si sono campionati due esemplari, uno adulto (11 es./m²) e uno giovane (11 es./m²), di *Octodrilus*

complanatus. In tutte e tre le repliche in cui sono stati estratti gli esemplari si è osservata la copertura non totale della lettiera, con fenomeni di accumulo e di erosione di questa per l'elevata pendenza.

Tabella 7 - ACOsCr: specie e densità rilevate

Specie	Categoria ecologica		Stadio di sviluppo	Densità (es./m ²)
<i>Octodrilus complanatus</i> Dugès	ANE		Adulto	4,5
			Giovanile	2,2
cfr. <i>Octodrilus complanatus</i>	END	ANE	Giovanile	6,7
TOTALE				13,3

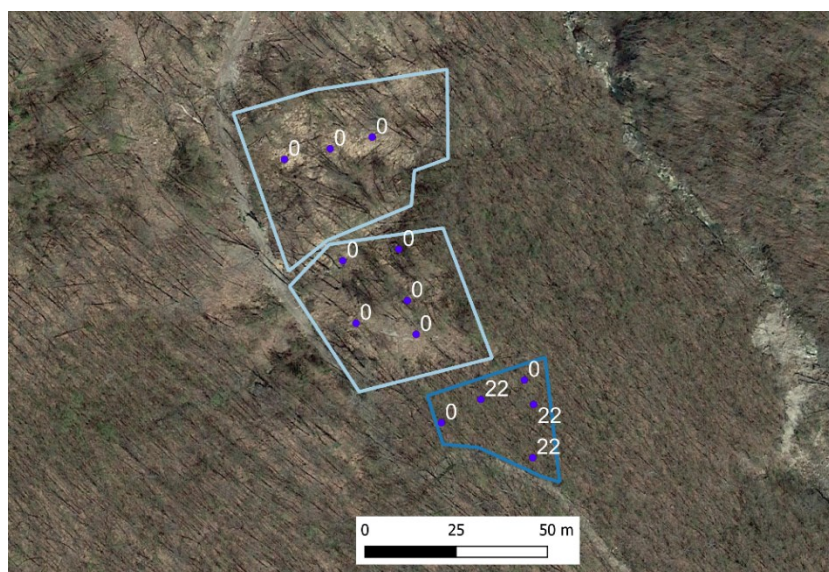


Figura 44 - posizione e densità delle repliche nell'ostrieto: in blu l'area controllo, in azzurro le aree utilizzate

Nella faggeta (fig. 45) sono stati campionati 17 esemplari, distribuiti nell'area controllo e nella tagliata del 2018, con rispettivamente 36 e 2 esemplari/m², mentre nella superficie utilizzata nel 2019 non si è riscontrato alcun individuo.

Nella seconda replica dell'area controllo sono stati raccolti tre giovani *Octodrilus* cfr. *complanatus* (33 es./m²), quattro forme estremamente giovani non identificabili (44 es./m²) (è possibile, tuttavia, che siano anch'essi *Octodrilus*, considerazione che vale per tutti gli esemplari non identificabili dei siti a faggeta) e un *Lumbricus rubellus* (11 es./m²), anch'esso immaturo; in tale zona si è osservato un accumulo abbondante di lettiera e legno morto di piccole dimensioni in decomposizione, oltre a cunicoli di megafauna (ghiri, ecc.). In una zona caratterizzata invece da presenza di erosione laminare, testimoniata dall'assenza della lettiera, dall'esposizione dello scheletro e delle radici, si sono estratti tre giovani di *Octodrilus* sp. (33 es./m²). Ulteriori esemplari

estratti sono un individuo giovane non identificabile (11 es./m²) e, nell'ultima replica, quattro *Octodrilus* spp. giovanili (44 es./m²), in una zona di accumulo della lettiera. In tutte e quattro queste repliche si rilevata una maggiore attività biologica all'interno del suolo rispetto a quanto riscontrato nelle altre formazioni forestali, suffragata dalla presenza di scolopendre, enchitreidi, ecc.

Tabella 8 - ACFa: specie e densità rilevate

Specie	Categoria ecologica		Stadio di sviluppo	Densità (es/m ²)
<i>Lumbricus rubellus</i> Hoffmeister	EPI		Giovanile	2,2
<i>Octodrilus</i> cfr. <i>complanatus</i>	END	ANE	Giovanile	6,7
<i>Octodrilus</i> Omodeo spp.	END	ANE	Giovanile	15,6
non identificabile	EPI	END, ANE	Giovanile	11,1
			TOTALE	35,6

Nella superficie utilizzata nel 2018 si è rilevato un solo individuo non identificabile giovane (11 es./m²), in una zona a micro-morfologia concava con copertura erbacea parziale e presenza di lettiera.

Tabella 9 – AT2018Fa: specie e densità rilevate

Specie	Categoria ecologica		Stadio di sviluppo	Densità (es/m ²)
non identificabile	EPI	END, ANE	Giovanile	2,2
			TOTALE	2,2



Figura 45 - posizione e densità delle repliche nella faggeta: in verde scuro l'area controllo, in verde chiaro le aree utilizzate

Nel complesso si sono campionate 4 forme adulte (13%) e 27 forme immature (87%); il Grafico 20 riporta la ripartizione assoluta e percentuale per classe di età dei lombrichi campionati in ogni sito d'indagine.

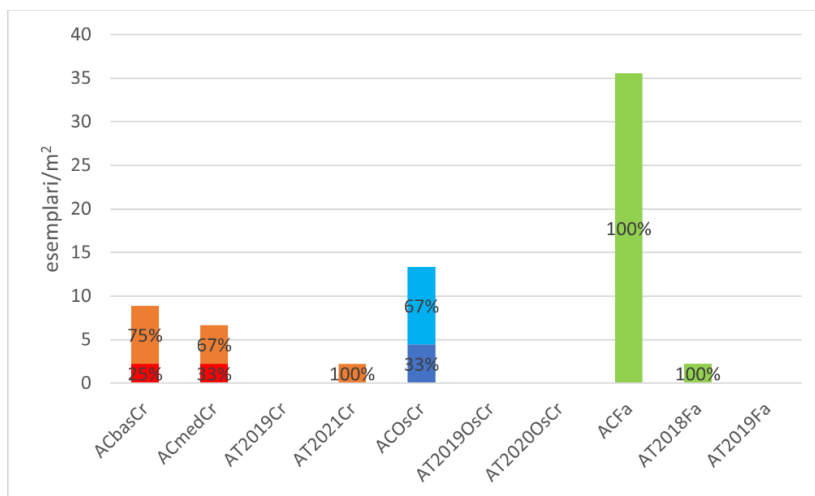


Grafico 20 - ripartizione dei lombrichi campionati per stadio di sviluppo: adulti (colori più scuri), giovani (colori più chiari)

Dal Grafico 20 si nota che gli individui maturi sono stati rilevati solo nelle aree controllo della cerreta e dell'ostrieto, peraltro presenti in quantità decisamente minore rispetto agli esemplari giovani. Nella faggeta si evidenzia la presenza di sole forme immature.

Le categorie ecologiche assegnate ai differenti *taxa* si riferiscono, qualora l'identificazione della specie non sia certa, a quelle meno impattanti sulla funzionalità complessiva del suolo, come riportato in Tab. 3. Complessivamente si sono riscontrati 8 individui assegnati agli epigei (26%), 19 agli endogei (61%) e 4 agli anecici o profondi scavatori (13%). Il Grafico 21 riporta la ripartizione per categoria ecologica assegnata nelle differenti aree di indagine. La ripartizione secondo le categorie ecologiche "inferiori" evidenzia che solo nelle aree controllo *ACmedCr* e *ACOsCr*, rispettivamente della cerreta e dell'ostrieto, vi è la compartecipazione di lombrichi anecici, mentre nelle restanti aree di studio, esclusa la superficie tagliata nel 2018 della faggeta, la categoria degli endogei è quella maggiormente rappresentata. Gli epigei sarebbero presenti invece in una delle aree controllo della cerreta e nella faggeta. Tale ripartizione è stata utilizzata per definire il limite inferiore dell'indice QBS-e, riportato nel cap. 4.3.1.

Nel caso che gli individui di *Octodrilus* cfr. *complanatus* afferiscano a questo *taxon* e gli esemplari non identificabili appartengano al genere *Octodrilus*, la ripartizione tra le diverse categorie ecologiche muterebbe, come riportato nel Grafico 22: nel complesso gli anecici

riscontrati sarebbero 12 (39%), gli endogei 17 (55%) e gli epigei 2 (6%). In questo caso gli anecici comparteciperebbero maggiormente alle cenosi, specie nella cerreta. Nella faggeta si evidenzerebbe anche una maggior rappresentanza degli endogei, a scapito degli epigei, quest'ultima categoria fortemente rappresentata nel Graf. 23 grazie agli individui giovanissimi non identificabili, ma potenzialmente ritenuti afferenti al genere *Octodrilus*.

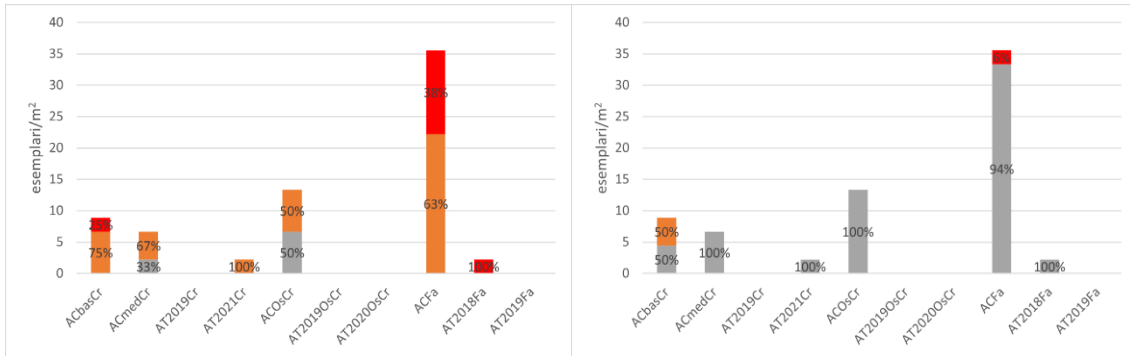


Grafico 21 - ripartizione nelle categorie ecologiche "inferiori" Grafico 23 - ripartizione nelle categorie ecologiche "superiori"

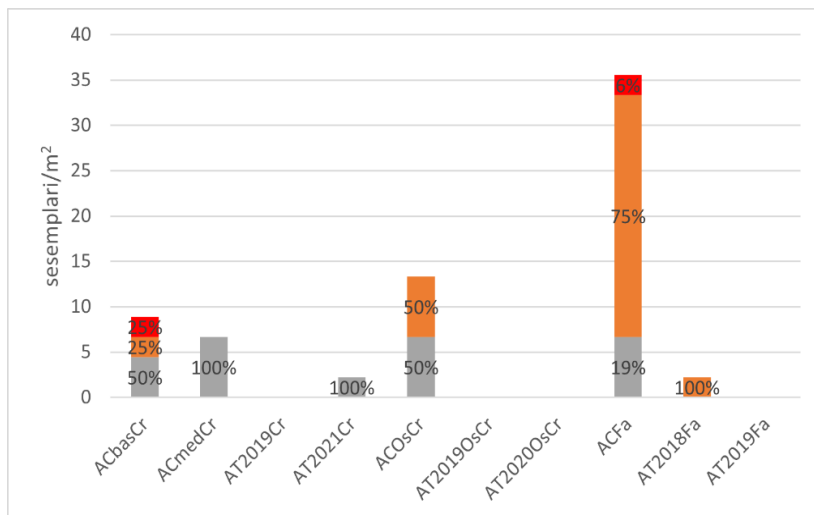


Grafico 22 - ripartizione delle categorie ecologiche nei siti d'indagine, considerando che gli individui *Oc. cfr. complanatus* afferiscano al taxon e gli individui non identificabili appartengano al genere *Octodrilus*: anecici in grigio, endogei in arancione ed epigei in rosso (anche nei grafici 21 e 23)

Se invece tutti gli esemplari non identificati o parzialmente identificati appartenessero alla categoria degli anecici, la ripartizione secondo la classificazione ecologico-funzionale assumerebbe la distribuzione presente nel grafico 23. Complessivamente gli anecici diverrebbero il 90% degli individui campionati, gli endogei il 6% e gli epigei il 3%. Tale distribuzione delle categorie ecologiche è stata utilizzata per la determinazione del limite superiore dell'indice QBS- e di ogni sito d'indagine, riportato nel cap. 4.3.1.

4.4.1 Indice QBS-e

In questo capitolo sono riportati i risultati ottenuti dal calcolo dell'indice QBS-e di ogni sito d'indagine. La Tab. 10 riporta i valori dell'indice QBS-e secondo le categorie ecologiche assegnate agli esemplari nei grafici 21, 22 e 23 del cap. 4.3.

Tabella 10 - indice QBS-e minimo, massimo e secondo la ripartizione delle categorie ecologiche contenuta nel Graf. 22 (cap. 4.3) dei siti d'indagine

	QBS-e min	QBS-e max	QBS-e da Graf. 22
ACbasCr	23 (± 24)	57 (± 94)	57 (± 94)
ACmedCr	43 (± 70)	76 (± 107)	76 (± 107)
AT2019Cr	0	0	0
AT2021Cr	6 (± 12)	22 (± 50)	6 (± 12)
ACOsCr	103 (± 121)	153 (± 141)	103 (± 121)
AT2019OsCr	0	0	0
AT2020OsCr	0	0	0
ACFa	89 (± 87)	339 (± 315)	139 (± 191)
AT2018Fa	6 (± 12)	22 (± 50)	6 (± 12)
AT2019Fa	0	0	0

Nel Grafico 24 è riportato il range di valori dell'indice QBS-e delle varie stazioni, secondo il valore minimo e massimo riportati in Tab. 10.

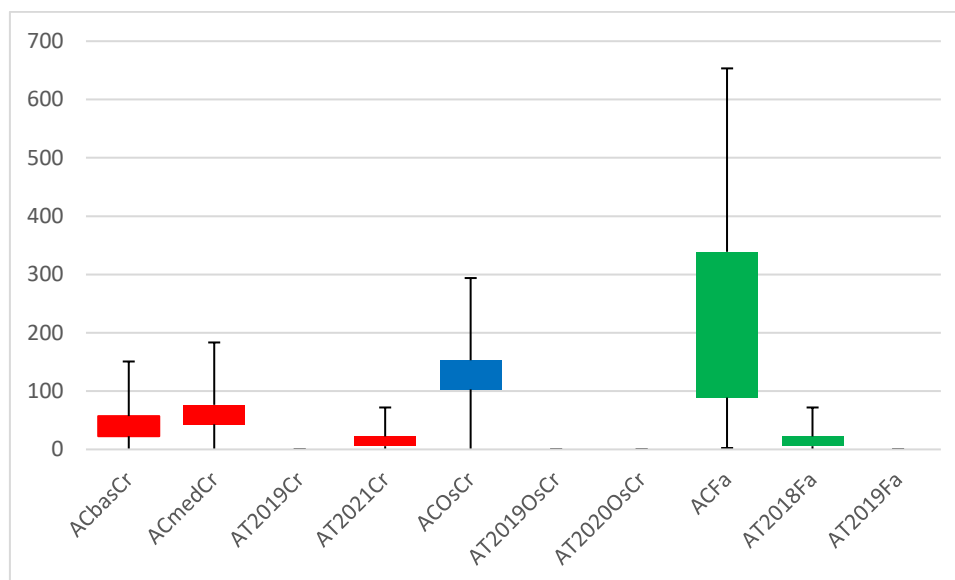


Grafico 24 – range dei valori dell'indice QBS-e per ogni sito d'indagine: cerreta (in rosso), ostrieto (in blu), faggeta (in verde)

Nelle aree controllo l'indice QBS-e aumenta dalle aree a cerreta a quelle a ostrieto e a faggeta. Simile andamento si riscontra anche nel range di valori possibili e nella variabilità interna ad ogni sito di campionamento: particolarmente ampio risulta il range di valori possibili per l'area di studio presente nella faggeta. L'indice, come già anticipato nel cap. 4.3, ha valore nullo o molto basso nelle superfici che sono state soggette ad utilizzazione.

Visti i valori dell'indice QBS-e corrispondenti alle classi di qualità del suolo (Paoletti et al., 2013) in tutte le tagliate e nella cerreta la classe di qualità è scadente (0-100), nell'ostrieto è sufficiente (100-300), mentre nella faggeta l'ampio range definisce una classe che va da sufficiente a discreta (300-600).

Nel grafico 25 sono esposti i valori assunti dall'indice QBS-e utilizzando la ripartizione per categorie ecologiche contenuta nel Graf. 22 del cap. 4.3.

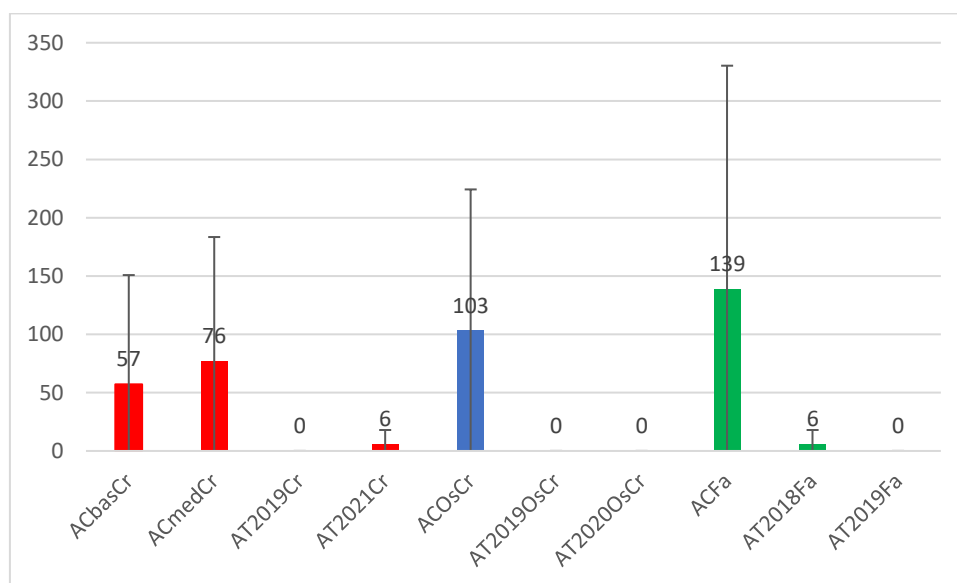


Grafico 25 - valore dell'indice QBS-e considerando la ripartizione delle categorie ecologiche contenute nel Graf. 24 del cap. 4.3 considerando che gli individui *O. cfr. complanatus* afferiscano al taxon e gli individui non identificabili appartengano al genere *Octodrilus*: cerreta (in rosso), ostrieto (in blu), faggeta (in verde)

Il grafico sottolinea quanto già esplicitato per il Graf. 24 e conferma le classi di qualità del suolo secondo l'indice QBS-e.

Si evidenzia, infine, la notevole variabilità dell'indice QBS-e interna ad ogni sito, la quale, in termini percentuali sul valore medio (rapporto tra deviazione standard e indice complessivo del sito), raggiunge valori superiori al 200% nelle superfici utilizzate in cui è stato raccolto almeno un esemplare; in ordine decrescente seguono le aree controllo della cerreta, con valori che si

aggirano tra il 100 e il 150%. In ultimo vi sono le aree controllo dell'ostrieto e della faggeta che presentano valori a cavallo del 100%.

In figura 46 è riportata la disposizione delle repliche di campionamento con il relativo valore dell'indice QBS-e.

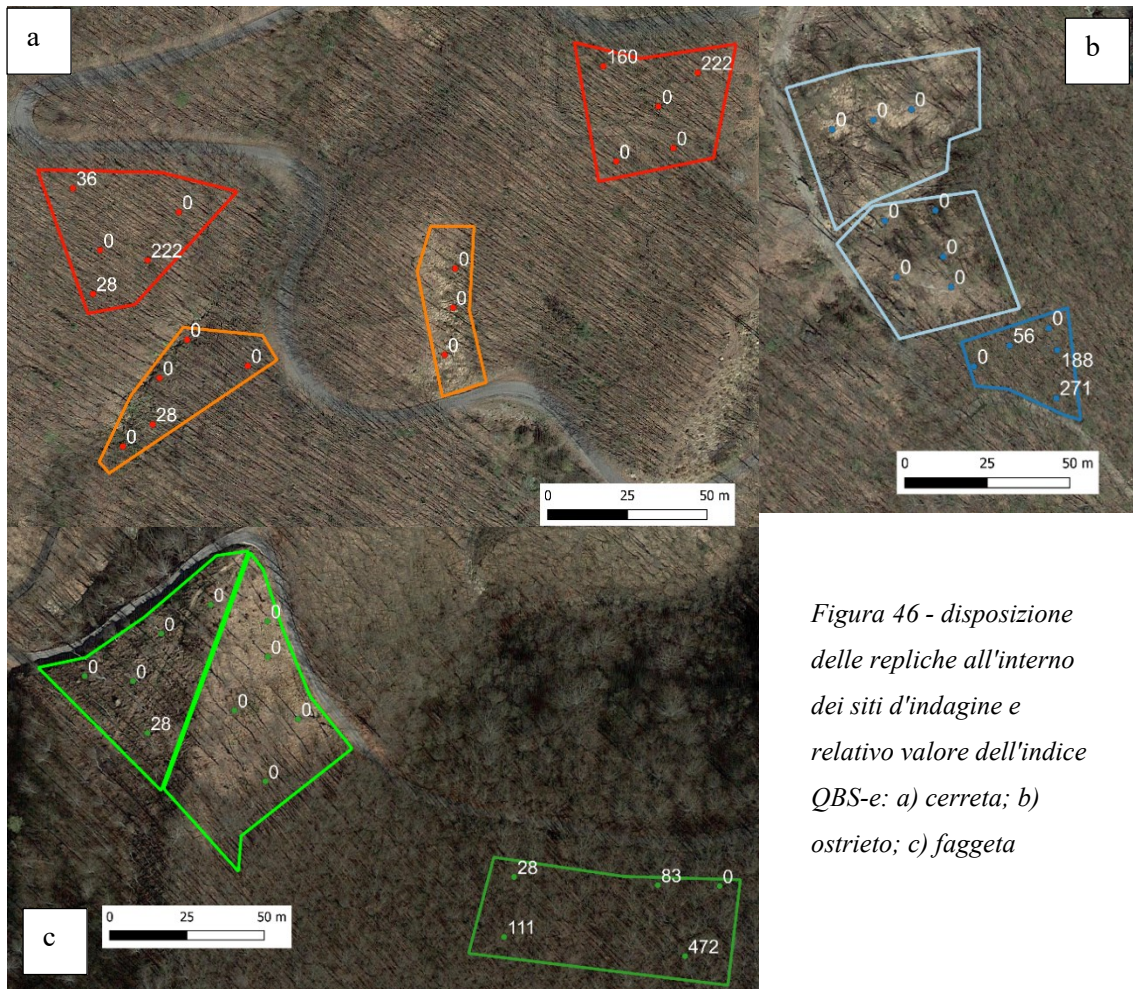


Figura 46 - disposizione delle repliche all'interno dei siti d'indagine e relativo valore dell'indice QBS-e: a) cerreta; b) ostrieto; c) faggeta

5 DISCUSSIONE

L'analisi svolta ha permesso di effettuare alcune valutazioni riguardanti la lombricofauna presente in diverse formazioni forestali di latifoglie dell'Appennino Ligure e la risposta della stessa comunità dei lombrichi alla selvicoltura, in senso lato. Data la scarsità delle informazioni scientifiche e tecnico-gestionali reperibili sull'area scelta, dovuta ad una posizione scomoda, marginale e oltretutto lontana (in qualsiasi senso) dal mondo della ricerca, questo studio ha permesso di caratterizzare, seppur limitatamente, alcuni boschi altrimenti scarsamente conosciuti.

Per quanto riguarda le caratteristiche stazionali delle tre aree di studio si è notata una differenza non solo vegetazionale, ma anche a livello del suolo, evidenziata dalle analisi di laboratorio e dalle forme di humus. Queste ultime sottolineano le diverse strategie attuate nel ciclo della sostanza organica e dei nutrienti nelle tre aree indagate.

La cerreta, poggiante su depositi di versante e sulla formazione delle Argille a Palombini, si è rivelata piuttosto difficile da caratterizzare. Il tipo forestale non è stato definito univocamente, in quanto, nonostante la presenza di specie erbacee indicanti un suolo acido, non si è ritenuto corretto assegnare questa formazione alle cerrete acidofile: tra i motivi principali vi è da riportare l'assenza diffusa di tali specie, spesso accompagnate da specie dallo scarso valore di indicazione, perlomeno trofico, e la compresenza a mosaico di alcune specie invece tipiche delle cerrete più fertili. Inoltre, seppur la stazione sia rivolta verso meridione, condizione che non favorisce la presenza del castagno, l'assenza di questa specie, in passato piantata e favorita ovunque fosse possibile, fa supporre un'acidità, se si vuole, "patologica". È pur vero che il substrato pedogenetico delle Argille a Palombini e, si suppone a partire dalle informazioni raccolte, dei detriti di versante presenti in quest'area, non siano particolarmente calcarei, ma neanche privi delle frazioni carbonatiche. Una spiegazione del mosaico acido-neutrofilo della vegetazione potrebbe essere l'alternanza, soprattutto riguardante le Argille a Palombini, tra zone decisamente calcaree e zone pelitiche prive di carbonati. Inoltre nel territorio emiliano non esistono unità fitosociologiche proprie per le cerrete (Pignatti, 1998), che si pongono a cavallo tra i *syntaxa Laburno-Ostryon* (ostrieti mesofili), *Cityso-Quercenion pubescenti* (querceti tendenzialmente xero-termofili) ed *Erythronio-Quercion petraeae* (querceti subacidofili) (Camerano et al., 2008; Ubaldi, 2008). Un'ulteriore spiegazione potrebbe essere data considerando il precedente uso del suolo dell'area: per quanto riguarda la superficie specifica dei siti non si hanno certezze, tuttavia, il sovrasfruttamento della zona, in particolare il sovrappascolo, potrebbe aver provocato o comunque accelerato l'acidificazione del suolo (Del Favero, 2010). Anche l'analisi delle forme di humus e le osservazioni condotte durante il campionamento dei lombrichi suffragano tale ipotesi integrandola con il possibile effetto del fuoco, utilizzato non solo in tempi lontani, ma

anche relativamente recenti. A sostegno di tali ipotesi vi sono alcune evidenze come il colore giallo-aranciato del suolo (che indica la presenza di forme ossidate del ferro), la sua compattezza, l'assenza o l'incipiente formazione di un orizzonte A strutturato e organico dovuto, si presume, all'erosione e la presenza in alcune zone di striature rossastre (ematite) parallele al terreno lasciano pensare agli effetti del fuoco sul suolo (Certini, 2005; Neary et al., 2005), come anche la stessa diffusione di *Brachypodium rupestre* (Bernetti, 2015). Queste affermazioni trovano riscontro anche nelle caratteristiche chimiche dei suoli, i quali risultano moderatamente acidi, relativamente poveri di azoto, sostanza organica (probabilmente dovuto anche ad un contenuto in scheletro relativamente elevato che favorisce l'aerazione e una più rapida mineralizzazione), carbonati e basi scambiabili, condizioni accompagnate da un rapporto C/N generalmente maggiore agli altri siti, che parrebbero indicare fenomeni di lisciviazione/asportazione e relativamente scarsa fertilità generale. I suoli della cerreta contengono altresì quantità di fosforo assimilabile confrontabile con quelli delle altre aree di studio e un rapporto Mg/K più elevato, il quale potrebbe limitare la disponibilità del potassio. Non vi è però da dimenticare anche il rapporto Ca/Mg inferiore, per cui il calcio compete in modo minore con magnesio, in particolare, e potassio. Queste affermazioni sono da correlare a condizioni che in qualche modo limitano la pedogenesi, quali l'esposizione meridionale e, evidentemente, da una relativa scarsa qualità del substrato pedogenetico stesso; ad addizionarsi a questi fattori vi è da riportare anche la mediocre qualità e velocità di degradazione della lettiera di cerro (Pavlović et al., 2020): lo stesso sistema *AMPHI* riscontrato nell'area indicherebbe inoltre una degradazione della lettiera da parte della lombricofauna interrotta da condizioni periodicamente sfavorevoli a questa, situazione imputabile, oltre ai già menzionati fattori, all'aridità pedoclimatica estiva. Tuttavia, se non interverranno ancora i disturbi citati, si può ipotizzare un'evoluzione di questi suoli, in particolare lo sviluppo di un orizzonte A, si ipotizza, umbrico e delle forme più attive di *AMPHI*, se non addirittura in quelle meno attive e desaturate di *MULL*, data la scarsa potenza dell'orizzonte OH. Infine, la maggior copertura erbacea riscontrata nella cerreta rispetto alle altre formazioni è probabilmente da imputare alla fogliazione tardiva del cerro (Del Favero, 2010), che quindi permette uno sviluppo maggiore della vegetazione presente nel sottobosco in primavera. Tutte queste condizioni hanno avuto come risultato la densità di lombrichi e l'indice QBS-e inferiori. L'ostrieto con cerro ha permesso una sua caratterizzazione decisamente più raffinata rispetto alla cerreta: esposto prevalentemente a est, esso presenta caratteristiche vegetazionali e fisionomiche più strutturate. In questo caso si ipotizza che la variabile maggiormente influente sulla distribuzione delle diverse vegetazioni siano le caratteristiche pedologiche, talora costituenti condizioni più drenanti e mesoxerofile, talora più mesofile e umide. Tali formazioni farebbero parte dell'associazione *Ostryo-Aceretum opulifolii*, inquadrabile nell'alleanza *Laburno-Ostryon*

(Pignatti, 1998; Ubaldi, 2008). L'analisi delle forme di humus ha evidenziato l'alternanza tra A biomacrostrutturati e biomesostrutturati e la presenza di micelio derivante dalla lettiera nello strato minerale: si ipotizza che ciò sia dovuto ad un'attività dei lombrichi altalenante, dovuta ad un'alternanza di periodi aridi e umidi del suolo, tipiche dei suoli di queste formazioni (Del Favero, 2010). Complessivamente i suoli dell'ostrieto, complice un substrato pedogenetico con frazione carbonatica piuttosto elevata e rimescolato dai fenomeni gravitativi, si presentano ricchi, con pH superiore a 7, elevata presenza di sostanza organica, azoto e basi scambiabili (che si presume, dato il pH, che saturino quasi completamente il complesso di scambio (Violante, 1996)). Queste caratteristiche sono da attribuire sostanzialmente al contenuto di carbonati, basso, ma che si ritiene capace dei processi descritti, che svolgono un'elevata azione tampone e, inoltre, influenzando anche sul contenuto di calcio scambiabile, proteggono la sostanza organica dalla mineralizzazione (Certini e Ugolini, 2021); anche la maggior presenza di sali rispetto alle altre aree può aver contribuito al fenomeno. A queste caratteristiche sono però associati una disponibilità di fosforo inferiore, dovuta probabilmente alla precipitazione di questo elemento come calcio-apatiti, e di potassio, fortemente contrastato, nonostante la presenza relativamente maggiore in quest'area, dal calcio. Lo stesso rapporto C/N dell'area controllo dimostra la presenza di un grado di degradazione incompleto, fenomeno probabilmente dovuto a quanto detto finora, ma anche alle condizioni altalenanti di umidità edafica e all'ultimo periodo piuttosto secco e non a favore dei processi di modificazione della sostanza organica che, si ritiene, non sia affatto dovuto alle caratteristiche della lettiera, dominata da foglie di specie facilmente degradabili (Bonanomi et al., 2021). La densità dei lombrichi e l'indice QBS-e risultano maggiori rispetto alla cerreta.

La faggeta, secondo la letteratura, è inquadrabile nelle faggete montane inferiori a sesleria (Pignatti, 1998), attribuibili all'alleanza *Geranio nodosi-fagion* (*Trochiscantho-Fagenion*, *Seslerio-fagetum*) (Ubaldi, 2008). Tutte le analisi condotte convergono nella mesofilia della stazione, che grazie anche all'esposizione settentrionale si presenta piuttosto fertile e con caratteristiche piuttosto equilibrate, condizioni che rendono relativamente elevata la fertilità dell'area di studio, nonostante l'elevata pendenza e, si suppone dalle osservazioni, la mediocre profondità del suolo. Si ipotizza che ciò sia dovuto ad un substrato pedogenetico ricco che permette la formazione di una tessitura intermedia, la quale favorisce l'aggregazione, e soprattutto di condizioni pedoclimatiche ottimali: il faggio, infatti, più che una fertilità chimica, indica una fertilità fisica del suolo, che deve mantenere condizioni di umidità mai agli estremi (Del Favero, 2010). I gruppi di *luzula* indicherebbero porzioni di suolo acidificato, fenomeno probabilmente attribuibile ad un maggiore accumulo locale di sostanza organica oppure, sempre legato a questa, al ciclo dell'azoto (di cui il faggio è particolarmente esigente (Del Favero, 2010)) ed al suo potere acidificante in forma di nitrati (Certini e Ugolini, 2021; Sequi et al., 2017). Queste condizioni

ottimali hanno consentito la densità di lombrichi e l'indice QBS-e maggiore tra tutte le aree di studio.

Nelle aree che sono state oggetto di utilizzazione si sono riscontrate varie modificazioni dell'ambiente e del suolo, le quali si ritengono dovute principalmente all'apertura del soprassuolo rispetto al sistema di utilizzazione: essendo che il concentramento su pista o strada è stato effettuato a strascico e non con l'entrata di mezzi pesanti, si è ritenuto che l'utilizzazione abbia solo rimescolato gli orizzonti del suolo, in particolare quelli organici, eventualmente innescando fenomeni di erosione. Tuttavia, a fronte del fatto che le operazioni si sono concluse tutte tra quattro e un anno prima dell'indagine, è risultato difficile e in taluni casi fuorviante identificare l'erosione causata dallo strascico del materiale da quella dovuta all'azione erosiva dell'acqua stessa, conseguente la rimozione della copertura arborea. Pertanto, se non in situazioni palesi, l'impatto dell'intervento selvicolturale in sé è associato strettamente a quello delle operazioni di concentramento.

In tutte le superfici utilizzate si è registrato un aumento della copertura erbacea, che ha colonizzato totalmente le superfici, parzialmente, invece, nelle localizzate porzioni con erosione. Parti in erosione attribuibili con buona certezza allo strascico del legname si ritrovano nella tagliata 2021 della cerreta e nell'area utilizzata nel 2019 della faggeta, la quale, peraltro, presenta una vegetazione erbacea prevalentemente a laminifoglie, in contrasto con quanto riscontrato negli altri tagli e probabilmente dovuto a condizioni più fresche, attribuite all'ombreggiamento del bosco verso est e del displuvio verso ovest. Nella tagliata del 2020 afferente all'ostrieto, l'erosione riscontrata si ascrive all'elevata pendenza del tratto, probabilmente unita ad un'intrinseca fragilità di questo suolo. In tutti questi casi però l'intensità dell'erosione non è mai risultata così intensa da formare rivoli di scorrimento preferenziale.

La scarsa rinnovazione presente in tutti i tagli è da imputare prevalentemente alla predazione dei cervidi: nell'ambito territoriale di caccia 10 della provincia di Piacenza, ambito in cui ricadono le aree di studio o ne sono vicine, la densità del capriolo nel 2014 è di 15-25 capi/km² e di 5-6 capi/km² per il daino, con tassi di prelievo rispettivi di 1-3 capi/km² e 1-2 capi/km² nella stagione 2014-2015, spesso però scarsamente efficaci (Regione Emilia-Romagna, 2018). A fronte del fatto che una densità sostenibile per la selvicoltura, secondo regole empiriche, è di circa 1-2 capi/km² per il cervo, anche considerando che sia il capriolo che il daino sono specie più piccole e quindi il valore può leggermente aumentare, si supera ampiamente tale valore. Inoltre, la scarsità di utilizzazioni e la chiusura di molti prati purtroppo ormai abbandonati concentra l'impatto di questi animali sulle poche superfici in rinnovazione. Altri fattori limitanti la rinnovazione potrebbero essere le condizioni di scarsa fertilità della cerreta, mentre nella faggeta l'invecchiamento del

popolamento, con una parziale perdita della facoltà pollonifera, oltretutto non così elevata nel faggio (Del Favero, 2010).

Per quanto riguarda le caratteristiche fisico-chimiche del suolo in seguito agli interventi si sono notati alcuni cambiamenti. Vi è altresì da segnalare che essendo in un ambiente montano e morfologicamente molto vario, talvolta alcuni cambiamenti, più che alla selvicoltura, sono dovuti all'elevata variabilità stazionale presente, fattore di cui si è cercato di tenere conto nell'interpretazione dei risultati. Innanzitutto, pare ovvio che le operazioni non possano aver modificato la tessitura e il contenuto di scheletro, tuttavia si evidenzia una possibile eccezione: l'elevata presenza di scheletro presente nell'area dell'ostrieto tagliata nel 2020 potrebbe essere dovuta all'erosione innescata in seguito al taglio, la quale potrebbe aver allontanato le particelle più fini, "pulendo" lo scheletro lasciato in loco.

Rispetto alle aree controllo, nelle aree utilizzate si nota un incremento decisivo del pH sia nella cerreta che della faggeta, il quale decresce man mano che ci si allontana temporalmente dal taglio. Questo fenomeno si ipotizza sia attribuibile ad una mineralizzazione della sostanza organica più veloce ed intensa rispetto alle aree non tagliate, fenomeno attribuibile sia al maggior riscaldamento del suolo che ad un minor accumulo di sostanza organica sottoforma di lettiera. Anche nell'ostrieto si evidenzia questo fenomeno, ma più limitatamente, si presume per l'effetto tampone offerto dai carbonati e dalla sostanza organica: l'incremento di pH maggiore si verifica infatti nella tagliata del 2019, la quale presenta il minor contenuto relativo di carbonati, caratteristica accompagnata da differenze dei valori di conducibilità elettrica, contenuto di sostanza organica e azoto e rapporto C/N. Ciò si ascrive ad un substrato pedogenetico più stabile e all'esposizione leggermente più fresca, i quali, al contrario che negli altri due siti, potrebbero aver consentito una decarbonatazione maggiore. Associato a questo, il contenuto di calcio scambiabile relativamente minore ha promosso una più veloce mineralizzazione della sostanza organica e quindi del contenuto di carbonio organico e azoto totale, considerazione sostenuta dal minor contenuto di questi elementi e dal rapporto C/N più basso, ma maggiormente equilibrato, riscontrato tra tutti i siti di studio. Alle stesse motivazioni si ascrive il comportamento degli altri suoli, condizionato altresì, seppur solo parzialmente, dal contenuto in argilla e, si ipotizza, dal contributo di questa classe dimensionale allo scambio cationico e nel trattenimento delle basi: caratteristica che potrebbe spiegare le particolarità riscontrate nel sito della cerreta utilizzato nel 2021 e della faggeta tagliata nel 2019 nei confronti delle rispettive aree di appartenenza.

I contenuti di sostanza organica e azoto, strettamente correlati, risultano piuttosto interdipendenti dal contenuto in calcio scambiabile e parzialmente dalla presenza di carbonati. Tale comportamento è dovuto alla protezione offerta dal calcio alla mineralizzazione della sostanza

organica, ma anche al contributo di questa al complesso di scambio, e quindi al trattenimento delle basi (Certini e Ugolini, 2021). È curioso notare come l'andamento nei vari siti di carbonio organico e azoto, ma anche del calcio scambiabile e dei carbonati, assomigli a quella della conducibilità elettrica: ciò potrebbe essere dovuto, per l'appunto, ai sali di questi elementi inorganici e/o alla restituzione, da parte della sostanza organica, di composti salificati, oppure ancora da elementi che raggiunto il suolo vanno incontro a salificazione (ad esempio i solfati).

Il rapporto C/N, il quale evidenzia un tasso di mineralizzazione e umificazione incompleta in quasi tutti i siti (tranne nella tagliata 2019 dell'ostrieto e nell'area controllo della faggeta), non presenta particolari andamenti tra il bosco indisturbato e le superfici utilizzate. Si presume quindi che questo dato sia prevalentemente correlato ad altri fattori interni ai siti, ma consente di affermare che a seguito degli interventi questo rapporto non cali drasticamente, presupponendo la buona stabilità della frazione organica anche in seguito agli interventi. Particolari situazioni si riscontrano, come già accennato, nelle superfici utilizzate nel 2019 dell'ostrieto e della faggeta: nel primo caso il basso rapporto va a confermare l'indicazione di maggior disponibilità di azoto offerta dalla presenza dei rovi (facenti parte delle cosiddette "specie medicina") (Del Favero, 2004), mentre nel secondo caso la differenza con la tagliata del precedente anno potrebbe essere dovuta alla diversa composizione erbacea, caratterizzata da una maggiore presenza di specie laminifoglie (che generalmente hanno un minor rapporto C/N rispetto alle graminoidi). Nelle diverse formazioni forestali si evidenzia anche l'interrelazione tra questo rapporto e il contenuto di carbonio organico, con l'eccezione della sola area utilizzata nel 2019 della faggeta.

In generale il contenuto di fosforo assimilabile non risulterebbe correlato a nessun altro fattore, fuorché dall'appartenenza alle differenti formazioni forestali. Nella faggeta, in cui questo elemento è piuttosto alto, si nota un decremento del contenuto di questo elemento dall'area controllo alle tagliate, in ordine di anno di intervento: ciò è molto probabilmente dovuto alla sua presenza in forma non ancora assimilabile nella maggior quota di sostanza organica oppure alla sottrazione da parte della vegetazione erbacea insediatasi, la quale non l'ha ancora restituito al suolo. Il primo fenomeno potrebbe essere causato da una minore attività di liberazione da parte dei processi biochimici ed enzimatici intermediati da tutti gli organismi (ad esempio le micorrize e i microrganismi della rizosfera) che partecipano al ciclo dei nutrienti, come effetto della rimozione della copertura arborea (causa di condizioni meno consone all'attività di questi) e degli alberi, con il loro complesso sistema ed ecosistema di liberazione e assorbimento dei nutrienti (Nannipieri, 1993; Sequi et al., 2017). Il fenomeno, infine, potrebbe anche essere dovuto a fenomeni di lisciviazione e dilavamento.

Del contenuto di calcio scambiabile e delle sue relazioni con sostanza organica, azoto totale, carbonati e rapporto C/N si è già ampiamente parlato, tuttavia, vi è ancora da riportare l'aumento

percentuale di questo elemento nelle superfici tagliate, in rapporto alle altre basi di scambio. La porzione del complesso di scambio percentualmente saturata dal calcio aumenta man mano ci si avvicina temporalmente al taglio, a scapito principalmente del magnesio, sottolineando un recupero degli equilibri precedente l'utilizzazione allontanandosene temporalmente. Le cause, oltre all'aumento di pH, potrebbero essere un maggiore assorbimento di magnesio e potassio da parte della vegetazione erbacea insediatasi e la progressiva restituzione al suolo successiva ai fenomeni di abbandono e degradazione degli organi senescenti, da fenomeni di lisciviazione e dilavamento selettivo coadiuvati anche da una maggior esposizione ai fenomeni piovosi e all'erosione, dalla minore restituzione al suolo di questi elementi da parte degli alberi con la lettiera, dalla loro maggiore asportazione, rispetto al calcio, tramite i prodotti dell'utilizzazione o da una sinergia tra tutte queste ragioni. Questo fenomeno risulta meno rappresentato nella cerreta, probabilmente per effetto della maggiore acidità. Inoltre vi è da ricordare che il calcio è la base scambiabile con la maggior affinità con i siti di scambio (Certini e Ugolini, 2021; Sequi et al., 2017) e pertanto è la base più "stabile". Queste considerazioni potrebbero spiegare l'andamento decrescente anche dei valori assoluti di magnesio e potassio dalle aree controllo alle tagliate più recenti, il cui contenuto, tra l'altro, sembrerebbe interdipendente, perlomeno all'interno dei suoli della stessa area. In modo simile parrebbe comportarsi il sodio scambiabile, del cui contenuto nelle diverse formazioni forestali stupisce l'inversa proporzionalità con il pH e la conducibilità elettrica: si potrebbe ipotizzare che ciò sia imputabile alle diverse matrici litologiche, che ad esempio nell'ostrieto darebbero origine a sali non di sodio, mentre nella cerreta specialmente, e nella faggeta, i sali presenti, seppur meno rappresentati, siano maggiormente di questo elemento. Il contenuto complessivo di basi di scambio nell'ostrieto ed i suoi minori valori nei tagli è molto probabilmente causato da diverse motivazioni di carattere pedogenetico di difficile individuazione, tuttavia, si ipotizza il coinvolgimento della capacità di scambio cationica della sostanza organica e della sua, seppur limitata, diminuzione in seguito ai tagli. Il contenuto minore di basi nella cerreta è ascritto all'acidità ed al minor tasso di saturazione basica (Violante, 1996), mentre nella faggeta, che ha valori confrontabili, ad una capacità di scambio cationico relativamente inferiore probabilmente dovuta ad argille di tipo meno attivo (Certini e Ugolini, 2021; Sequi et al., 2017).

La maggior parte dei lombrichi campionati afferisce al genere *Octodrilus* e la specie maggiormente rappresentata è *Octodrilus complanatus*, specie diffusa in tutte le aree circummediterranee, oltre che in Svizzera ed Austria. Si tratta di una specie anecica presente nei prati e nei pascoli, nei coltivi poco disturbati e/o ai margini (Stellin et al., 2018) e nei boschi (DriloBASE Taxo; Fusaro et al., 2018; Gavinelli et al., 2018; Stellin et al., 2018). Nella cerreta è

stato ritrovato anche un adulto di *Octodrilus transpadanus*, specie endogea con distribuzione prevalente nell'Europa mediterranea e orientale, presente in ambienti poco disturbati quali boschi, pascoli e prati (DriloBASE Taxo; Fusaro et al., 2018). Nell'esemplare del genere *Dendrobaena*, rinvenuto anch'esso nella cerreta, non è stata identificata la specie cosicché può afferire alle categorie ecologiche di endogeo ed epigeo, e anche, nel caso sia *D. veneta*, di coprofago (Paoletti et al., 2013): data la microstazione di ritrovamento, caratterizzata da una concavità con accumulo di lettiera, non si esclude che possa appartenere a quest'ultima categoria, ma si ritiene più probabile appartenga alla categoria degli epigei. *Lumbricus rubellus*, rappresentato da un solo esemplare giovanile ritrovato nella faggeta, è un epigeo con scarsa capacità di scavo, a seconda della sottospecie (Blakemore, 2008), presente nella lettiera di boschi e nei prati (Fusaro et al., 2018; Paoletti et al., 2013), dove sopporta pH piuttosto acidi (DriloBASE Taxo).

L'incertezza tassonomica, a cui conseguono i dubbi sul reale spettro ecologico nelle varie aree controllo, è dovuta alla bassa presenza di esemplari adulti, più facilmente identificabili. Questo problema si è particolarmente riscontrato nella faggeta, a causa dell'assenza totale di forme mature e, addirittura, alla presenza di esemplari talmente giovani da non poter essere classificati. Tuttavia, a fronte della presenza quasi esclusiva del genere *Octodrilus*, si ritiene che questi appartengano a questo *taxon*. Considerando la ripartizione più probabile delle categorie ecologiche e le specie coinvolte si può affermare che le condizioni mesoxerofile della cerreta e dell'ostrieto siano dominate dagli anecici, probabilmente più resistenti all'aridità grazie alla possibilità di raggiungere profondità maggiori e più umide del suolo, mentre le condizioni mesofile della faggeta sono dominate dagli endogei, questi ultimi evidentemente più sensibili all'aridità del suolo superficiale.

Il rapporto tra lombrichi adulti e giovani risulta piuttosto equilibrato nella cerreta e nell'ostrieto, mentre nella faggeta, come già accennato, sono presenti solo forme giovanili: il comportamento della comunità in quest'area potrebbe essere dovuto all'anomalia meteo-climatica e alle condizioni di particolare stress idrico, che seppur in termini assoluti risulterebbe minore rispetto alle altre aree di studio, la sua severità potrebbe essere stata maggiore, soprattutto se associata ad una comunità di lombrichi adattata alle condizioni stazionali mesiche e poco disturbate dalla siccità tipiche delle faggete. A questo motivo potrebbero essere associate anche le densità non elevate riscontrate in tutte le stazioni, da imputare alle condizioni di maggiore aridità, che potrebbero aver quindi limitato la riproduzione e aumentato la mortalità, oppure all'estivazione già parzialmente in atto durante il campionamento.

L'assenza sostanziale dei lombrichi nelle superfici utilizzate al momento del campionamento, oltre al meteo-clima anomalo, potrebbe essere dovuta a condizioni generalmente più aride del

suolo, sfavorevoli quindi al loro sviluppo, ma anche ad un improvviso disturbo, consistente nell'apertura del soprassuolo, a cui la comunità presente non è affatto adatta. L'ipotesi, da confermare, consisterebbe nel diverso adattamento agli stress e alle perturbazioni a seconda dell'habitat: un campo agrario, ad esempio, o anche un prato, sono ecosistemi costantemente perturbati a cui però si associa anche un adattamento funzionale a tali disturbi della comunità insediatasi (Stellin et al., 2018); viceversa in un bosco ceduo, quindi con turni comunque relativamente brevi, la perturbazione avviene una volta ogni 20-30 anni, e nel tempo intercorrente vi sono condizioni che esulano da questa e, alla lombricofauna, ma non solo, non consente un adattamento specifico al disturbo. Un'ulteriore ipotesi, anch'essa da confermare con un monitoraggio permanente, consisterebbe nello spostamento del ciclo vitale dei lombrichi in periodi dal pedoclima più favorevole, per cui si presume entrando precocemente in "estivazione" e riprendendo l'attività solo in autunno inoltrato rispetto al bosco indisturbato. Questa spiegazione potrebbe spiegare anche parte della diversità riscontrata nei vari tipi forestali.

Nonostante la scarsità di dati, ci si potrebbe sbilanciare ad affermare che i lombrichi rinvenuti sono stati campionati in microstazioni in qualche modo protette dalle condizioni estreme pedologiche e meteorologiche (da lettiera, massi, copertura arborea, ecc.) e con caratteristiche e condizioni calmieranti, mantenenti un'umidità del suolo ottimale al loro sviluppo. Questa considerazione trova conferma da dati di densità in siti utilizzati poi scartati dallo studio per la disomogeneità vegetazionale: appartenenti ad una diversa *facies* esposta ad est della cerreta, le due tagliate, effettuate nel 2018, con una ricostituzione della copertura da parte dei polloni, e pochi giorni prima del campionamento, hanno evidenziato una densità rispettiva di 33 e 15 esemplari al m², risultati inferiori solo ai valori della faggeta. Si ritiene che ciò sia rispettivamente imputabile al ricostituito ombreggiamento e "protezione" del suolo, mentre nel secondo caso alla presenza della copertura arborea fino a poco tempo prima, per cui il suolo non aveva ancora subito la maggior rigidità meteorologica conseguente l'intervento.

Nonostante la presenza di studi sulla densità e biomassa di lombrichi in ambiente forestale (Ammer et al., 2006; Bernier e Ponge, 1998; Campana et al., 2002; Grossi e Brun, 1997; Rapoport e Tsepkova, 2019; Simmons et al., 2015), si ritiene che per metodi di campionamento, scopi di ricerca, formazioni forestali e caratteristiche stazionali molto diversi non sia possibile confrontare i dati ottenuti con questo studio ad altre ricerche.

L'indice QBS-e, così come la densità, riflette piuttosto bene le caratteristiche stazionali dei boschi oggetto di studio: in particolare si evidenzia un'affinità con le diverse forme di humus e la loro attività, di cui i lombrichi stessi sono tra i maggiori attori (Ponge et al., 2002; Zanella et al., 2018c). Ciò conferma che l'attività dei lombrichi consolida le condizioni favorevoli al loro stesso

sviluppo (Desie et al., 2020; Simmons et al., 2015). Il rapporto C/N parrebbe diminuire al crescere della comunità dei lombrichi, mentre il pH sembrerebbe limitare la lombricofauna solo con i valori acidi della cerreta. Correlando i valori di densità e categoria ecologica evidenziata tramite l'indice QBS-e, questi risultano inversamente correlati al contenuto di sabbia e, il secondo, anche allo scheletro; si evidenzia anche una correlazione inversa della consistenza della lombricofauna con la copertura erbacea ed arbustiva, la quale potrebbe indicare un maggior irraggiamento al di sotto della volta delle chiome e presupporre fenomeni più intensi di evapotraspirazione nel sottobosco e quindi minor umidità edafica. Inoltre, i valori dell'indice e densità, come appena ipotizzato, risultano ben correlati alle condizioni di umidità del suolo indicate dalla vegetazione e dalle formazioni forestali stesse, anzi si presume, al netto delle altre considerazioni, che questo fattore sia l'elemento chiave della loro distribuzione.

Le scarse qualità del suolo indicate dai valori dell'indice QBS-e (Paoletti et al., 2013) riscontrate sono perlopiù da imputare al già menzionato andamento meteo-climatico e allo stress idrico dei suoli, ma anche al diverso campo di applicazione e taratura del metodo, nato per la valutazione della qualità biologico-funzionale offerta da questi organismi all'interno degli agroecosistemi e, tranne un bosco ceduo in provincia di Bolzano, mai applicato in ambiente boschivo collinare-montano. A ciò si aggiunge anche il periodo di campionamento, che in questo studio è primaverile, mentre i valori maggiori si riscontrano in autunno (Paoletti et al., 2013): il motivo per cui in questo studio non si è effettuato un campionamento autunnale è da ascrivere al perdurare delle condizioni siccitose estive e all'osservazione di condizioni di forte aridità edafica anche a ottobre inoltrato, momento in cui era stato pianificato il secondo campionamento.

Infine, la valutazione del disturbo causato dalle utilizzazioni attraverso questo metodo non ha prodotto i risultati sperati: l'applicazione di questo indice ha registrato sì gli interventi, ma in modo totale, non permettendo quindi un'analisi dell'impatto del taglio per i vari motivi precedentemente esplicitati.

6 CONCLUSIONI

In conclusione, lo studio effettuato, nonostante l'anno particolarmente sfavorevole per un'analisi di questo tipo, ha evidenziato una diversa risposta della lombricofauna in funzione delle caratteristiche stazionali e vegetazionali. Si può affermare che sia la densità dei lombrichi che l'indice QBS-e aumentano secondo un gradiente di umidità e fertilità/feracità del suolo e a tutti gli elementi che influenzano questi fattori, che la lombricofauna stessa contribuisce a mantenere. Lo studio ha inoltre evidenziato l'ampia valenza ecologica, perlomeno nei boschi di quest'area, del genere *Octodrilus* e della specie *Oc. complanatus*, confermando anche la sua distribuzione in ambienti forestali riportata in letteratura.

La ricerca ha inoltre confermato l'applicabilità del metodo di valutazione della qualità biologica del suolo basato sui lombrichi (QBS-e) in ambiente forestale, tuttavia, la sua applicazione nei boschi necessita di alcuni accorgimenti per rendere più significativo il dato, oltre ovviamente ad approfondimenti ulteriori necessari ad una sua taratura al di fuori degli agroecosistemi. L'applicazione del metodo allo scopo di valutare il disturbo delle operazioni forestali, invece, non ha concesso i risultati sperati. Tuttavia, in sede di questo elaborato non ci si sente di accantonare definitivamente l'applicazione dell'indice QBS-e nella valutazione degli impatti delle operazioni forestali, dati sia l'andamento meteo-climatico precedente il campionamento in particolare che il carattere decisamente esplorativo del presente studio. Sicuramente sarà necessario un approfondimento futuro, in relazione anche a diversi tipi di selvicoltura e sistemi di utilizzazione, non dimenticando di considerare condizioni stazionali differenti.

Per permettere una buona applicabilità dell'indice QBS-e in ambiente forestale, sono di seguito riportate alcune proposte per una maggior funzionalità dello stesso:

- la casualità nella disposizione delle repliche e la densità campionaria fissa adottate per questo campionamento possono aver influito sulla significatività dei rilievi e sull'effettiva situazione all'interno dei diversi siti. Potrebbe essere quindi necessario progettare il disegno di campionamento a priori, considerando preventivamente le varie condizioni all'interno della stazione scelta e aumentando la densità di campionamento laddove si sia osservata un'elevata variabilità microstazionale (rocce, massi, legno morto, vegetazione, ceppaie) e morfologica. Tutto ciò al fine di considerare tutte le possibili condizioni e aumentare la significatività statistica del dato;
- si potrebbero considerare e tarare alcuni limiti meteo-climatici entro cui scegliere il periodo di campionamento, al fine di normalizzare il più possibile i dati e renderli maggiormente confrontabili. In ausilio, oppure come alternativa, si potrebbe rilevare

- l'umidità del suolo ad una specifica profondità durante il campionamento, tarando la significatività del rilievo anche su questo parametro;
- le complesse interrelazioni e condizioni stazionali proprie dei boschi, rispetto ai maggiormente semplificati agroecosistemi, rendono l'indice QBS-e dipendente a fattori che esulano dall'effettiva qualità del suolo. Per questo motivo si propone un metodo per normalizzare questo valore sulla base delle forme di humus, in particolare sul cosiddetto "*humus index*" proposto da Ponge et al. (2002), che in tal senso potrebbero anche indicare e prevedere eventuali trasformazioni tra queste. Nell'allegato 5 è contenuto un esempio del metodo con i dati di questo studio;
 - in relazione al punto precedente potrebbero essere modificati i punteggi EMI delle categorie ecologiche a seconda delle forme di humus e del tipo di vegetazione presente, aggiustando i valori assegnati a seconda della coerenza ecologica con le caratteristiche stazionali (ad esempio in un alneto di ontano nero considerare gli idrofili con un punteggio più alto, poiché essi sono coerenti con l'ecologia della stazione e, soprattutto, importanti attori del ciclo della sostanza organica e dei nutrienti in queste condizioni);
 - l'applicazione per la valutazione dei disturbi causati dalle utilizzazioni forestali dovrà essere approfondita; tuttavia, si ritiene che tale metodo debba essere applicato subito dopo l'utilizzazione, per non imbattere in valutazioni errate dovute a fattori che esulano dalle operazioni in sé.

7 BIBLIOGRAFIA E ALTRE FONTI

AA.VV. (2006), Appendice: specifiche delle proprietà e qualità dei suoli, in Costantini E.A.C. (a cura di), *Metodi di valutazione dei suoli e delle terre*, Edizioni Cantagalli, Siena.

Ammer S., Weber K., Abs C., Ammer C., Prietzel J. (2006), *Factors influencing the distribution and abundance of earthworms communities in pure and converted Scots pine stands*, *Applied Soil Ecology* 33, 10-21.

Angst G., Mueller C.W., Prater I., Angst S., Frouz J., Jilková V., Peterse F., Nierop K.G.J. (2019), *Earthworms act as biochemical reactors to convert labile plant compounds into stabilized soil microbial necromass*, *Communications Biology* 2, 441.

Antolini G., Auteri L., Pavan V., Tomei F., Tomozeiu R., Marletto V. (2016), *A daily high resolution gridded climatic data set for Emilia-Romagna, Italy, during 1961-2010*, *International Journal of Climatology* 36, 1970-1986.

Ashwood F., Vanguelova E.I., Benham S., Butt K.R. (2019), *Developing a systematic sampling method for earthworms in and around deadwood*, *Forest Ecosystems* 6, 33.

Beary M., Wilding L.P. (1971), *The relationship between soil pH and base-saturation percentage for surface and subsoil horizons of selected Mollisols, Alfisols, and Ultisols in Ohio*, *The Ohio Journal of Science* 1, 43-55.

Befani D., Cadoni M., Cantiani G.P., Carnisio M., Fantoni I., Vinciguerra S. (2022), *Tavola rotonda: La gestione del ceduo: ricerca ed applicazione*, *Sherwood – Foreste ed Alberi Oggi* 261, 17-19.

Bernetti G. (2012), *La selvicoltura del bosco ceduo*, in Bernetti G., Del Favero R., Pividori M., *Selvicoltura produttiva. Manuale pratico*, Edagricole, Bologna.

Bernetti G. (2015), *Le piante del bosco. Forme, vita e gestione*, Compagnia delle Foreste, Arezzo.

Bernier N., Ponge J.F. (1998), *Lumbricus terrestris L. distribution within an experimental humus mosaic in a mountain spruce forest*, *Biology and Fertility of Soils* 28, 81-86.

Bertolani R., Sabatini M.A. (1993), *Ruolo della pedofauna nell'evoluzione della sostanza organica*, in Nannipieri P. (a cura di), *Ciclo della sostanza organica nel suolo: aspetti agronomici, chimici, ecologici, selvicolturali*, Pàtron Editore, Bologna.

Blakemore R.J. (2008), *An updated list of valid, invalid and synonymous names of Criodrilioidea (Criodrilidae) and Lumbricoidea (Annelida: Oligochaeta: Sparganophilidae, Ailoscolecidae, Hormogastridae, Lumbricidae and Lutodrilidae)*.

Bonanomi G., Idbella M., Zotti M., Santorufò L., Motti R., Maisto G., De Marco A. (2021), *Decomposition and temperature sensitivity of fine root and leaf litter of 43 mediterranean species*, *Plant Soil* 464, 453-465.

Bonifacio E., D'Amico M., Catoni M., Stanchi S. (2018), *Humus forms as a synthetic parameter for ecological investigations. Some examples in the Ligurian Alps (North-Western Italy)*, Applied Soil Ecology 123, 568-571.

Bottinelli N., Capowiez Y., Ranger J. (2014a), *Slow recovery of earthworm populations after heavy traffic in two forest soils in northern France*, Applied Soil Ecology 73, 130-133.

Bottinelli N., Hallaire V., Goutal N., Bonnaud P., Ranger J. (2014b), *Impact of heavy traffic on soil macroporosity of two silty forest soils: Initial effect and short-term recovery*, Geoderma 217-218, 10-17.

Bottinelli N., Hedde M., Jouquet P., Capowiez Y. (2020), *An explicit definition of earthworm ecological categories – Marcel Bouché's triangle revisited*, Geoderma 372, 114361.

Bouché M.B. (1977), *Strategies lombriciennes*, Ecological Bulletins 25 – Soil Organisms as Components of Ecosystems, 122-132.

Braun-Blanquet J. (1964), *Pflanzensoziologie*, Springer-Verlag, Wien.

Brown G.G. (1995), *How do earthworms affect microfloral and faunal community diversity?*, Plant and Soil 170, 209-231.

Bruschini S., Torreggiani L. (a cura di) (2012a), *Tavola Rotonda: La fustaia è sempre preferibile al ceduo?*, Sherwood – Foreste ed Alberi Oggi 180, 18-20.

Bruschini S., Torreggiani L. (a cura di) (2012b), *Tavola Rotonda: Ceduo o Fustaia? L'opinione dei professionisti*, Sherwood – Foreste ed Alberi Oggi 184, 36-39.

Bruschini S., Torreggiani L. (a cura di) (2012c), *Tavola Rotonda: Ceduo, Fustaia e funzioni del bosco*, Sherwood – Foreste ed Alberi Oggi 187, 36-39.

Bruschini S., Torreggiani L. (a cura di) (2012c), *Tavola Rotonda: Ceduo o Fustaia per la conservazione della biodiversità*, Sherwood – Foreste ed Alberi Oggi 188, 26-29.

Cambi M., Certini G., Neri F., Marchi E. (2015), *The impact of heavy traffic on forest soils: A review*, Forest Ecology and Management 338, 124-138.

Cambi M., Grigolato S., Neri F., Picchio R., Marchi E. (2016), *Effects of Forwarder Operation on Soil Physical Characteristics: a Case Study in the Italian Alps*, Croatian Journal of Forest Engineering 37, 233-239.

Campana C., Gauvin S., Ponge J.F. (2002), *Influence of ground cover on earthworms communities in an unmanaged beech forest: linear gradient studies*, European Journal of Soil Biology 38, 213-224.

Camerano P., Grieco C., Mensio F., Varese P. (2008), *I Tipi forestali della Liguria*, Erga Edizioni, Genova.

Certini G. (2005), *Effects of fire on properties of forest soils: a review*, Oecologia 143, 1-10.

Certini G., Ugolini F.C. (2021), *Basi di pedologia. Cos'è il suolo, come si forma, come va descritto e classificato*, Edagricole, Bologna.

Chan K.Y., Munro K. (2001), *Evaluating mustard extracts for earthworm sampling*, *Pedobiologia* 45, 272-278.

Dalla Fior G. (1969), *La nostra flora*, Monauni, Trento.

Darwin C. (1882), *La Formazione della Terra Vegetale per l'Azione dei Lombrici con Osservazioni intorno ai loro Costumi* (trad. di Michele Lessona), Unione Tipografico-Editrice, Torino.

Decreto Ministeriale 13 settembre 1999, n. 185 “*Approvazione dei Metodi ufficiali di analisi chimica del suolo*”, Supplemento ordinario alla Gazzetta Ufficiale Serie generale n. 248 del 21 ottobre 1999.

De Laurentis D., Papitto G., Gasparini P., Di Cosmo L., Floris A. (2021), *Le Foreste Italiane – Sintesi dei risultati del terzo Inventario Forestale Nazionale INFC2015*, Consiglio per la ricerca in agricoltura e l'analisi dell'economia agraria, Centro di ricerca Foreste e Legno (CREA-FL); Arma dei Carabinieri, Comando Unità Forestali, Ambientali e Agroalimentari, Ufficio Studi e Progetti.

Del Favero R. (2004), *I boschi delle regioni alpine italiane. Tipologia, funzionamento, selvicoltura*, CLEUP, Padova.

Del Favero R. (2010), *I boschi delle regioni dell'Italia centrale. Tipologia, funzionamento, selvicoltura*, CLUEP, Padova.

Dell'Agnola G., Nardi S. (1993), *Ruolo della sostanza organica nella regolazione della fertilità dei terreni*, in Nannipieri P. (a cura di), *Ciclo della sostanza organica nel suolo: aspetti agronomici, chimici, ecologici, selvicolturali*, Pàtron Editore, Bologna.

Desie E., Van Meerbeek K., De Wandeler H., Bruelheide H., Domisch T., Jaroszowicz B., Joly F.X., Vancampenhout K., Vesterdal L., Muys B. (2020), *Positive feedback loop between earthworms, humus form and soil pH reinforces earthworm abundance in European forests*, *Functional Ecology* 34, 2598-2610.

Dominguez J., Velando A. (2013), *Sexual selection in earthworms: mate choice, sperm competition, differential allocation and partner manipulation*, *Applied Soil Ecology* 69, 21-27.

Edwards C.A., Arancon N.Q. (2022), *Biology and Ecology of Earthworms*, Springer, New York.

Frazão J., de Goede R.G.M., Capowicz Y., Pulleman M.M. (2019), *Soil structure formation and organic matter distribution as affected by earthworm species interactions and crop residue placement*, *Geoderma* 338, 453-463.

Fusaro S., Gavinelli F., Lazzarini F., Paoletti M.G. (2018), *Soil Biological Quality Index based on earthworms (QBS-e). A new way to use earthworms as bioindicators in agroecosystems*, Ecological Indicators 93, 1276-1292.

Galvan P., Ponge J.F., Scattolin L., Viola F., Zanella A. (2005), *Le forme di humus e la pedofauna: interpretazione delle interrelazioni e chiavi di riconoscimento*, Sherwood 112, 33-39.

Gavinelli F., Barcaro T., Csuzdi C., Blakemore R.J., Fernandez Marchan D., De Sosa I., Dorigo L., Lazzarini F., Nicolussi G., Dreon A.L., Toniello V., Pamio A., Squartini A., Concheri G., Moretto E., Paoletti M.G. (2018), *Importance of large, deep-burrowing and anecic earthworms in forested and cultivated areas (vineyards) of northeastern Italy*, Applied Soil Ecology 123, 751-774.

Giandon P., Bortolami P. (2007), *L'interpretazione delle analisi del terreno. Strumento per la sostenibilità ambientale*, ARPAV.

Grossi J.L., Brun J.J. (1997), *Effect of climate and plant succession on lumbricid populations in the French Alps*, Soil Biology and Biogeochemistry 29, 329-333.

Hartmann F. (1970), *Diagnosi degli humus forestali su basi biomorfologiche*, CEDAM, Padova.

Hippoliti G., Piegai F. (2000), *Tecniche e sistemi di lavoro per la raccolta del legno*, Compagnia delle Foreste, Arezzo.

Jourgholami M., Fegghi J., Tavankar F., Latterini F., Venanzi R., Picchio R. (2021), *Short-term effects in canopy gap area on the recovery of compacted soil caused by forest harvesting in old-growth Oriental beech (Fagus orientalis Lipsky) stands*, iForest 14, 370-377.

Latella L., Gobbi M. (2015), *La fauna del suolo. Tassonomia, ecologia e metodi di studio dei principali gruppi di invertebrati terrestri italiani*, MUSE-Museo delle Scienze, Verona.

Liu T., Chen X., Gong X., Lubbers I.M., Jiang Y., Feng W., Li X., Whalen J.K., Bonkowski M., Griffiths B.S., Hu F., Liu M. (2019), *Earthworms coordinate soil biota to improve multiple ecosystem functions*, Current Biology 29, 3420-3429.

Lubbers I.M., Berg M.P., De Deyn G.B., van der Putten W.H., van Groenigen J.W. (2020), *Soil fauna diversity increases CO₂ but suppresses N₂O emissions from soil*, Global Change Biology 26, 1886-1898.

Marchi E. (2015), *Selvicoltura e utilizzazioni*, in Piussi P., Alberti G., *Selvicoltura generale. Boschi, società e tecniche culturali*, Compagnia delle Foreste, Arezzo.

Marchi E., Certini G. (2015), *Impatti ambientali delle utilizzazioni forestali e strategie di mitigazione*, Proceedins of the Second International Congress of Silviculture. Florence. November 26th-29th 2014. Vol. 1, 448-453.

Marchi E., Picchio R., Mederski P.S., Vusić D., Perugini M., Venanzi R. (2016), *Impact of silvicultural treatment and forest operation on soil and regeneration in Mediterranean Turkey oak (Quercus cerris L.) coppice with standards*, Ecological Engineering 95, 475-484.

Marchi E., Piegai F. (2001), *Sistemi di utilizzazione forestale a basso impatto ambientale*, L'Italia Forestale e Montana 6, 477-490.

Marcuzzi G. (1970), *Appendice: la fauna del suolo e il suo significato nel processo di unificazione della lettiera*, in Hartmann F., *Diagnosi degli humus forestali su basi biomorfologiche*, CEDAM, Padova.

Marra E., Mastrolonardo G., Laschi A., Neri F. (2022a), *Buone prassi per la riduzione degli impatti durante le operazioni di esbosco*, Compagnia delle Foreste, Arezzo.

Marra E., Laschi A., Fabiano F., Foderi C., Neri F., Mastrolonardo G., Nordfjell T., Marchi E. (2022b), *Impacts of wood extraction on soil: assessing rutting and soil compaction caused by skidding and forwarding by means of traditional and innovative methods*, European Journal of Forest Research 141, 71-86.

Marroni M., Ottria G., Pandolfi L. (in stampa), *Note illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000 Foglio 196 Cabella Ligure*.

Menta C. (2008), *Guida alla conoscenza della biologia e dell'ecologia del suolo. Funzionalità, diversità biologica, indicatori*, Oasi Alberto Perdisa, Bologna.

MiPAAF (2000), *Metodi d'analisi chimica del suolo*, Franco Angeli, Milano.

Mori P. (2009), *Ceduo, fustaia o... bosco?*, Sherwood – Foreste ed Alberi Oggi 153, 3.

Mori P. (2022), *Il ceduo: "trattiamolo" bene!*, Sherwood – Foreste ed Alberi Oggi 261, 20-25.

Motta R. (2022), *Che cosa è oggi il ceduo: problema o opportunità?*, Sherwood – Foreste ed Alberi Oggi 261, 26.

Nannipieri P. (a cura di) (1993), *Ciclo della sostanza organica nel suolo: aspetti agronomici, chimici, ecologici, selvicolturali*, Pàtron Editore, Bologna.

Nearly D.G., Ryan K.C., DeBano L.F. (a cura di) (2005), *Wildland fire in ecosystems: effects of fire on soils and water*, USDA – Forest Service, Rocky Mountain Research Station.

Paoletti M.G., Gradenigo C. (1996), *Lombri CD-ROM*, Lapis, Padova.

Paoletti M.G., Sommaggio D., Fusaro S. (2013), *Proposta di Indice di Qualità Biologica del Suolo (QBS-e) basato sui lombrichi e applicato agli Agroecosistemi*, Biologia Ambientale 27(2), 25-43.

Parisi V. (2001), *La qualità biologica del suolo. Un metodo basato sui microartropodi*, Acta Naturalia de "L'Ateneo Parmense" 37, 97-106.

Pavlović P., Kostić O., Jarić S., Gajić G., Pavlović D., Pavlović M., Mitrović M. (2020), *The effects of leaf litter chemistry and anatomical traits on the litter decomposition rate of Quercus frainetto Ten. And Quercus cerris L. in situ*, Archives of Biological Science 72, 543-553.

Pelosi C., Bertrand M., Capowiez Y., Boizard H., Roger-Estrade J. (2009), *Earthworm collection from agricultural fields: Comparisons of selected expellants in presence/absence of hand sorting*, European Journal of Soil Biology 45, 176-183.

Perel T.S. (1977), *Differences in lumbricid organization connected with ecological properties*, Ecological Bulletins 25 – Soil Organisms as Components of Ecosystems, 56-63.

Pignatti S. (1982), *Flora d'Italia*, Edagricole, Bologna.

Pignatti S. (1998), *I boschi d'Italia. Sinecologia e biodiversità*, UTET, Torino.

Pignatti S., Bianco P.M., Fanelli G., Paglia S., Pietrosanti S., Tescarollo P. (2001), *Le piante come indicatori ambientali. Manuale tecnico-scientifico*, ANPA, Roma.

Piussi P., Alberti G. (2015), *Governo a ceduo*, in Piussi P., Alberti G., *Selvicoltura generale. Boschi, società e tecniche colturali*, Compagnia delle Foreste, Arezzo.

Ponge J.F., Chevalier R., Loussot P. (2002), *Humus Index: An Integrated Tool for the Assessment of Forest Floor and Topsoil Properties*, Soil Science Society of America Journal 66, 1996-2001.

Rapoport I.B., Tsepikova N.L. (2019), *Earthworm populations (Oligochaeta, Lumbricidae) in the basin of the middle reaches of the Bol'shaya Laba river (Northwestern Caucasus, buffer zone of Caucasian Nature Reserve)*, Biology Bulletin 46, 1012-1029.

Regione Emilia-Romagna (2021), *Catalogo dei suoli. Edizione 2021*, Area Geologia, Suoli e Sismica – Settore Difesa del Territorio.

Regione Emilia-Romagna (2018), *Piano faunistico venatorio regionale 2018-2023. Approvato con deliberazione dell'Assemblea Legislativa 6 novembre 2018, n. 179*, Assessorato Agricoltura, Caccia e Pesca, Servizio Attività Faunistico-Venatorie e Pesca.

Regolamento regionale 1 agosto 2018, n. 3 “*Approvazione del Regolamento Forestale Regionale in attuazione dell'Art. 13 della L.R. N. 30/1981*”.

Rivas-Martinez S., Rivas Sàenz S., Penas A. (2011), *Worldwide bioclimatic classification system*, Global Geobotany 1, 1-634.

Schon N.L., Mackay A.D., Gray R.A., van Koten C., Dodd M.B. (2017), *Influence of earthworm abundance and diversity on soil structure and the implications for soil services throughout the season*, Pedobiologia – Journal of Soil Ecology 62, 41-47.

Sequi P., Ciavatta C., Miano T. (2017), *Fondamenti di chimica del suolo*, Pàtron Editore, Bologna.

Servizio Geologico d'Italia (in stampa), *Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000 Foglio 196 Cabella Ligure*.

Sicuriello F. (2015), *Variazione degli stock di carbonio e azoto nel suolo e studio della decomposizione della sostanza organica attraverso le forme di humus in rapporto a diversi trattamenti selvicolturali applicati in tre faggete dell'Italia peninsulare* [Tesi di Dottorato in Ecologia Forestale], Università degli Studi della Tuscia.

Simmons W., Dávalos A., Blossey B. (2015), *Forest successional history and earthworm legacy affect earthworm survival and performance*, *Pedobiologia – Journal of Soil Ecology* 58, 153-164.

Sohrabi H., Jourgholami M., Jafari M., Shabaniyan N., Venanzi R., Tavankar F., Picchio R. (2020), *Soil Recovery Assessment after Timber Harvesting Based on the Sustainable Forest Operation (SFO) Perspective in Iranian Temperate Forests*, *Sustainability* 12, 2874.

Sohrabi H., Jourgholami M., Jafari M., Tavankar F., Venanzi R., Picchio R. (2021), *Earthworms as an Ecological Indicator of Soil Recovery after Mechanized Logging Operations in Mixed Beech Forests*, *Forests* 12, 18.

Sohrabi H., Jourgholami M., Lo Monaco A., Picchio R. (2022), *Effects of Forest Harvesting Operations on the Recovery of Earthworms and Nematodes in the Hyrcanian Old-Growth Forest: Assessment, Mitigation, and Best Management Practice*, *Land* 11, 746.

Sommaggio D., Paoletti M.G. (2018), *Gli invertebrati come bioindicatori di un paesaggio sostenibile*, libreriauniversitaria.it, Padova.

Stellin F., Gavinelli F., Stevanato P., Concheri G., Squartini A., Paoletti M.G. (2018), *Effects of different concentrations of glyphosate (Roundup 360°) on earthworms (*Octodrilus complanatus*, *Lumbricus terrestris* and *Aporrectodea caliginosa*) in vineyards in the North-East of Italy*, *Applied Soil Ecology* 123, 802-808.

Tomei F., Villani G., Antolini G., Marletto V. (2012), *Sviluppo di un'equazione empirica per la stima della profondità di falda ipodermica in Emilia-Romagna*.

Torreggiani L. (2022), *Quale futuro per i cedui in Italia? Alcune riflessioni dall'analisi del quadro normativo*, *Sherwood – Foreste ed Alberi Oggi* 261, 27-29.

Ubaldi D. (2008), *La vegetazione boschiva d'Italia. Manuale di fitosociologia forestale*, CLUEB, Bologna.

Urbinati C., *Boschi cedui in Italia fra selvicoltura e selvicoltura*, *Sherwood – Foreste ed Alberi Oggi* 261, 8-11.

van Groenigen J.W., Lubbers I.M., Vos H.M.J., Brown G.G., De Deyn G.B., van Groenigen K.J. (2014), *Earthworms increase plant production: a meta-analysis*, *Scientific Report* 4, 6365.

van Groenigen J.W., Van Groenigen K.J., Koopmans G.F., Stokkermans L., Vos H.M.J., Lubbers I.M. (2019), *How fertile are earthworm casts? A meta-analysis*, *Geoderma* 338, 525-535.

Venanzi R., Picchio R., Grigolato S., Latterini F. (2019), *Soil and forest regeneration after different extraction methods in coppice forests*, *Forest Ecology and Management* 454, 117666.

Venanzi R., Picchio R., Grigolato S., Spinelli R. (2020a), *Soil Disturbance Induced by Silvicultural Treatment in Chestnut (*Castanea sativa* Mill.) Coppice and Post-Disturbance Recovery*, *Forests* 11, 1053.

Venanzi R., Picchio R., Spinelli R., Grigolato S. (2020b), *Soil Disturbance and Recovery after Coppicing a Mediterranean Oak Stand: The Effects of Silviculture and Technology*, *Sustainability* 12, 4074.

Violante P. (1996), *Chimica del suolo e della nutrizione delle piante*, Edagricole, Bologna.

Zanella A., Berg B., Ponge J.F., Kemmers R.H. (2018a), *Humusica 1, article 2: Essential bases – Functional considerations*, *Applied Soil Ecology* 122, 22-41.

Zanella A., Ponge J.F., Briones M.J.I. (2018e), *Humusica 1, article 8: Terrestrial humus systems and forms – Biological activity and soil aggregates, space-time dynamics*, *Applied Soil Ecology* 122, 103-137.

Zanella A., Ponge J.F., Jabiol B., Sartori G., Kolb E., Gobat J.M., Le Bayon R.C., Aubert M., De Waal R., Van Delft B., Vacca A., Serra G., Chersich S., Andretta A., Cools N., Englisch M., Hager H., Katzensteiner K., Brêthes A., De Nicola C., Testi A., Bernier N., Graefe U., Juilleret J., Banas D., Garlato A., Obber S., Galvan P., Zampedri R., Frizzera L., Tomasi M., Menardi R., Fontanella F., Filoso C., Dibona R., Bolzonella C., Pizzeghello D., Carletti P., Langohr R., Cattaneo D., Nardi S., Nicolini G., Viola F. (2018b), *Humusica 1, article 4: Terrestrial humus systems and forms – Specific terms and diagnostic horizons*, *Applied Soil Ecology* 122, 56-74.

Zanella A., Ponge J.F., Jabiol B., Sartori G., Kolb E., Le Bayon R.C., Gobat J.M., Aubert M., De Waal R., Van Delft B., Vacca A., Serra G., Chersich S., Andretta A., Kõlli R., Brun J.J., Cools N., Englisch M., Hager H., Katzensteiner K., Brêthes A., De Nicola C., Testi A., Bernier N., Graefe U., Wolf U., Juilleret J., Garlato A., Obber S., Galvan P., Zampedri R., Frizzera L., Tomasi M., Banas D., Bureau F., Tatti D., Salmon S., Menardi R., Fontanella F., Carraro V., Pizzeghello D., Concheri G., Squartini A., Cattaneo D., Scattolin L., Nardi S., Nicolini G., Viola F. (2018c), *Humusica 1, article 5: Terrestrial humus systems and forms – Keys of classification of humus systems and forms*, *Applied Soil Ecology* 122, 75-86.

Zanella A., Ponge J.F., Fritz I., Pietrasiak N., Matteodo M., Nadporozhskaya M., Juilleret J., Tatti D., Le Bayon R.C., Rothschild L., Mancinelli R. (2018d), *Humusica 2, article 13: Para humus systems and forms*, *Applied Soil Ecology* 122, 181-199.

Zanella A., Ponge J.F., de Waal R., Ferronato C., De Nobili M., Juilleret J. (2018f), *Humusica 1, article 3: Essential bases – Quick look at the classification*, Applied Soil Ecology 122, 42-55.

Zanella G., Zanella A., Bronner T., Pousse N. (2021), *TerrHum*, Tratto da Humusica Applied Soil Ecology – Special issues 122. Classificazione aggiornata nel 2021. Versione Android: Bronner T., TerrHum, Google Play, Education; Applicazione iOS originale: Zanella A., TerrHum, App Store, Education. Traduzione francese e italiana: Tatti D., Ponge J.F., Le Bayon R.C., Chersich S., Stanchi S., Carollo L., Zanella A.

Arpae, ERG5 – Dataset meteo orario e giornaliero dal 2001, <https://dati.arpae.it/dataset/erg5-interpolazione-su-griglia-di-dati-meteo>, consultato a settembre 2022.

Cartografia del dissesto della Regione Emilia-Romagna, https://geo.regione.emilia-romagna.it/cartografia_sgss/user/viewer.jsp?service=dissesto, consultato a settembre 2022.

Cartografia Geologica della Regione Emilia-Romagna, https://geo.regione.emilia-romagna.it/cartografia_sgss/user/viewer.jsp?service=geologia, consultato a settembre 2022.

DriloBASE, Taxo, <http://taxo.drilobase.org/index.php?title=Website:Home>, consultato a novembre 2022.

Oligochaeta, Anellidi, <http://www.luciopesce.net/zoologia/anellidi/oligo.htm>, consultato a novembre 2022.

USDA, Soil Texture Calculator, https://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/detail/soils/research/guide/?cid=nrcs142p2_054167, consultato a settembre 2022.

Wikipedia, Riproduzione, <https://it.wikipedia.org/wiki/Riproduzione>, consultato a novembre 2022.

Tutte le fotografie riportate nell'elaborato sono state scattate da Daniele Alborghetti, tranne dove riportato altro nome.

ALLEGATI

Allegato 1: caratteristiche stazionali dei siti d'indagine

	Area (m ²)	Quota (m s.l.m.)	Pendenza (%)	Esposizione	Substrato geolitologico	Tipo forestale	Humus
<i>ACbasCr</i>	1700	613	29	S	DV	CE10-20X	AMPHI
<i>ACmedCr</i>	1600	629	29	S	APA	CE10-20X	AMPHI
<i>AT2019Cr</i>	800	616	30	S	APA	CE10-20X	
<i>AT2021Cr</i>	1100	604	22	SW	DV	CE10-20X	
<i>ACOsCr</i>	700	644	47	E	DFQ	OS30C	Oligomull
<i>AT2019OsCr</i>	2000	647	50	NE	DV	OS30C	
<i>AT2020OsCr</i>	1600	654	49	E	DFQ	OS30C	
<i>ACFa</i>	3000	1024	88	N	FAN	FA30X-31°	Meso-oligomull
<i>AT2018Fa</i>	2000	1029	73	NW	FAN	FA30X-31°	
<i>AT2019Fa</i>	2800	1027	79	NE	FAN	FA30X-31°	

DV: deposito di versante

APA: Argille a Palombini

DFQ: deposito di frana quiescente

FAN: Formazione di Monte Antola

CE10X: cerreta acidofila

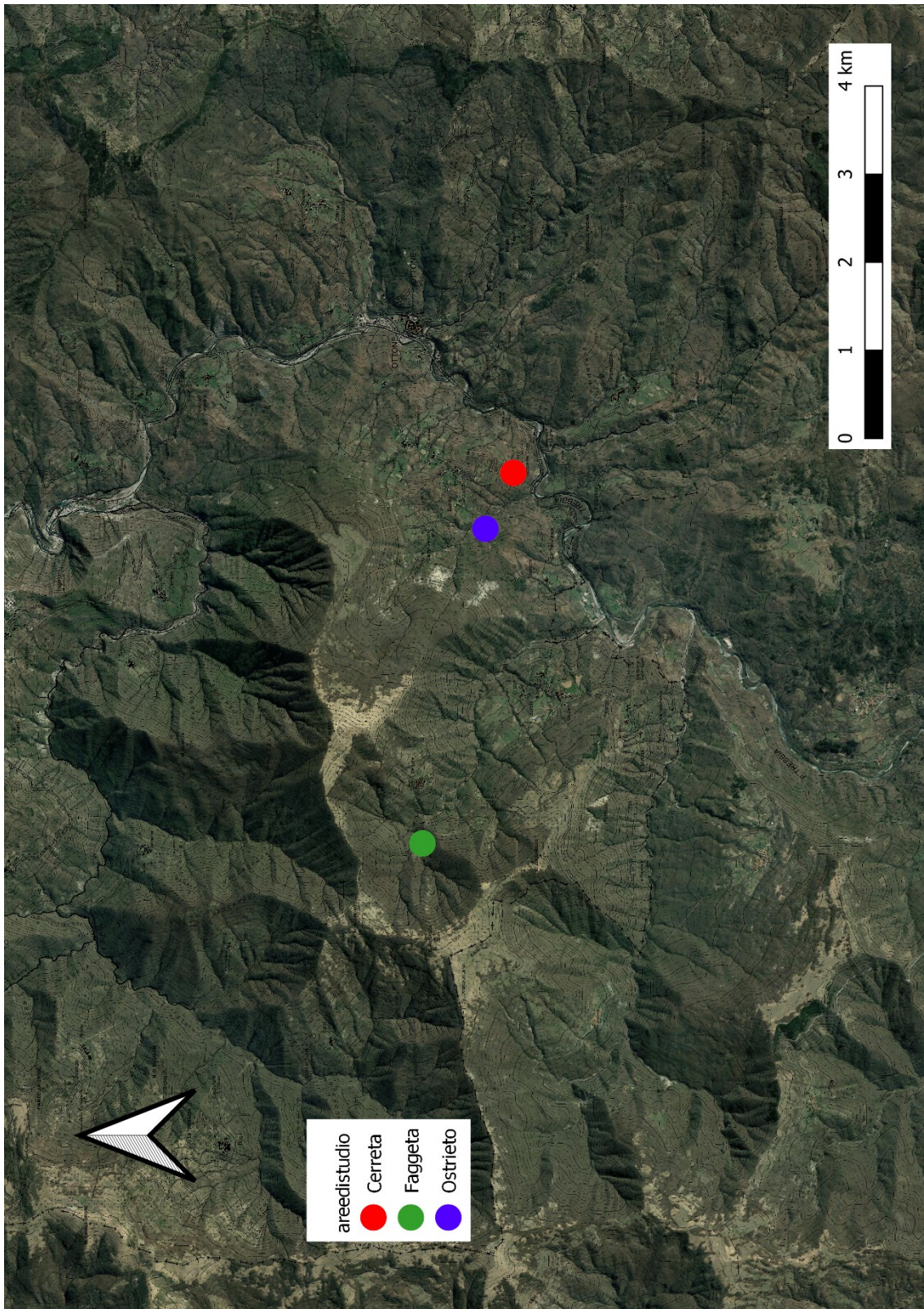
CE20X: cerreta neutrofila

OS30C: ostrieto mesoxerofilo var. con querce varie

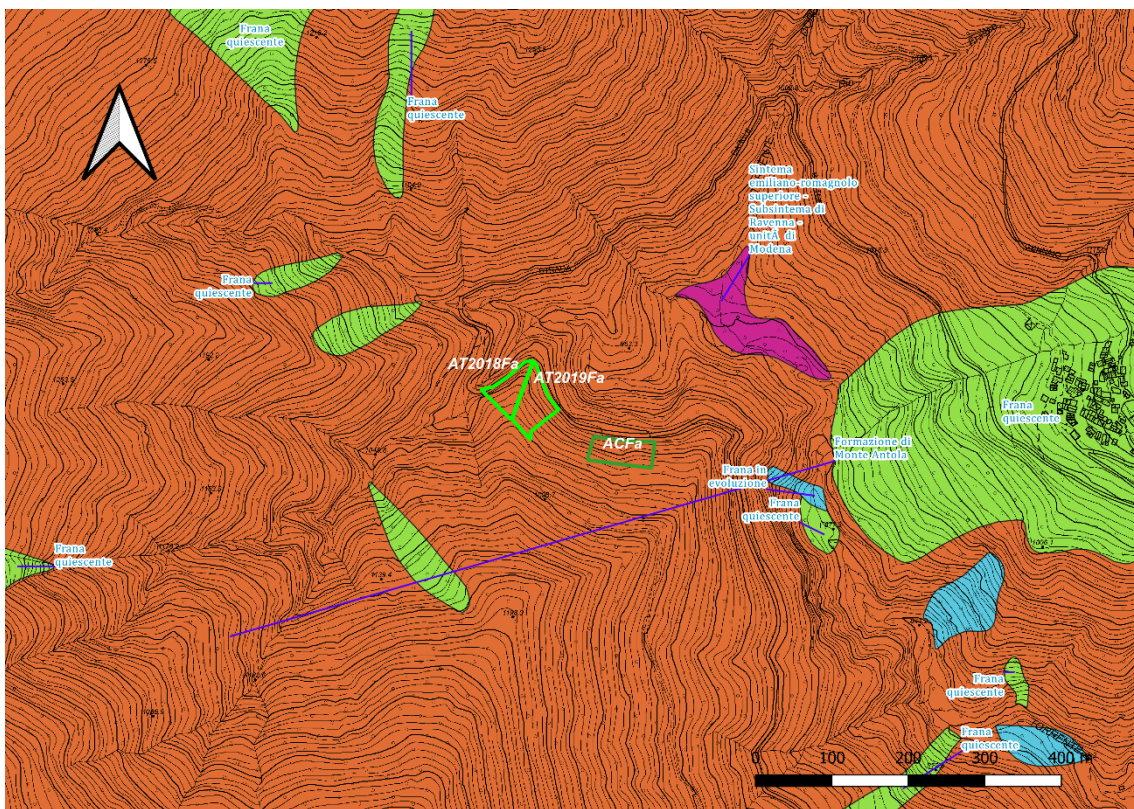
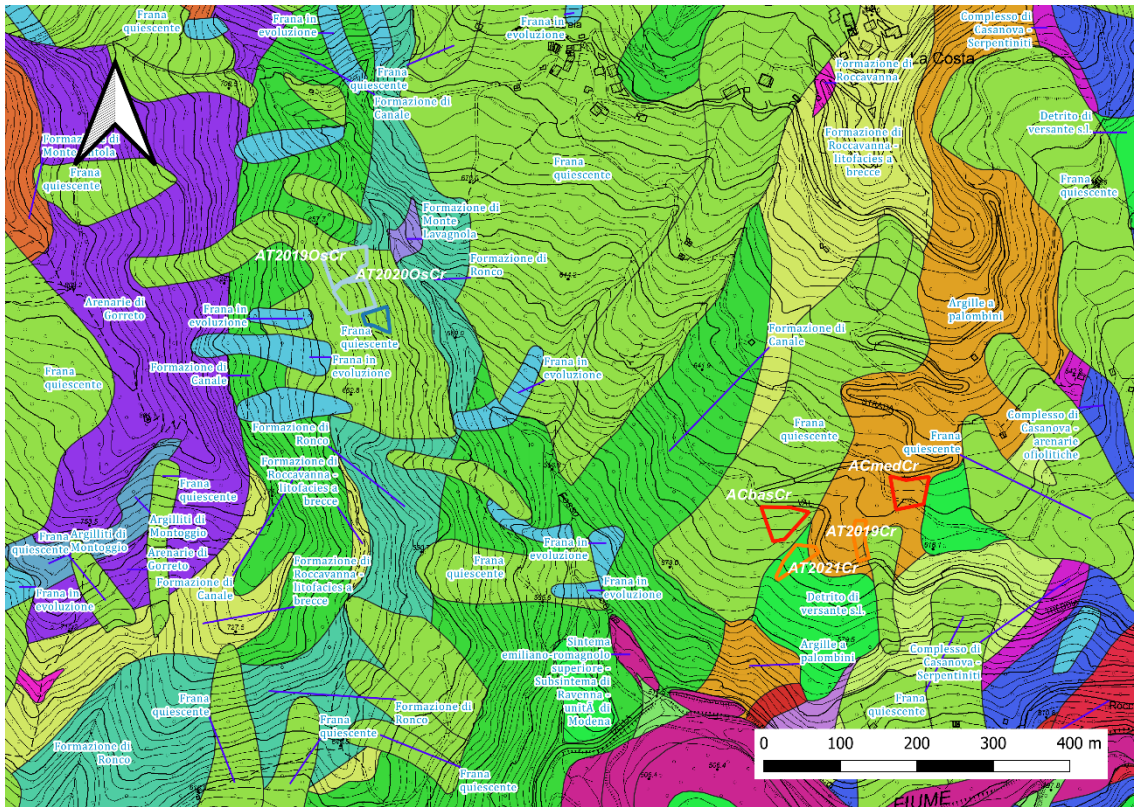
FA30X: faggeta eutrofica

FA31A: faggeta eutrofica st. submontano var. con carpino nero

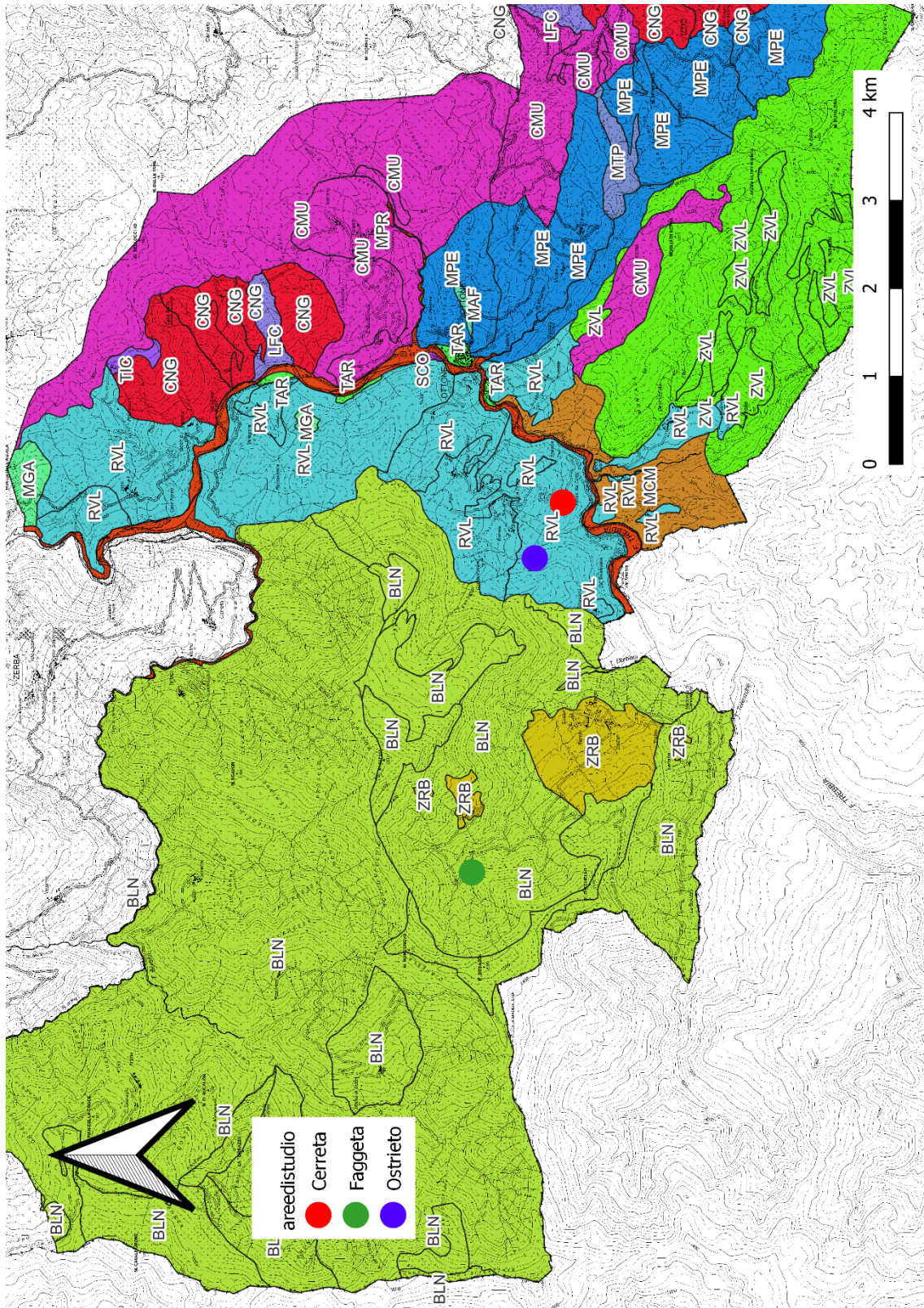
Allegato 2: carta d'inquadramento dell'area



Allegato 3: carta geologica (progetto CARG)



Allegato 4: carta dei suoli



Allegato 5: normalizzazione dell'indice QBS-e tramite l'*humus index*

L'*humus index* (Ponge et al., 2002) viene applicato alla classificazione più recente delle forme di humus terrestri (Sicuriello, 2015; Zanella et al., 2018c e 2018f), in particolare alla diversa attività dei lombrichi, proponendo una numerazione (che andrà tarata) basata sul “baricentro” delle caratteristiche tipiche dei diversi sistemi:

- *Eumull* – 1-----*MULL*
- *Mesomull* – 1,1
- *Oligomull* – 1,2
- *Dysmull* – 1,3
- *Leptoamphi* – 1,9
- *Eumacroamphi* – 2-----*AMPHI*
- *Eumesoamphi* – 2,1
- *Pachyamphy* – 2,2
- *Hemimoder* – 2,9
- *Eumoder* – 3-----*MODER*
- *Dysmoder* – 3,1

Moltiplicando i valori dell'indice QBS-e più probabile con l'indice dell'humus proposto si ha come risultato:

Sito	QBS-e	Forma di humus	Humus Index	QBS-e “normalizzato”
ACbasCr	57	<i>AMPHI</i>	2	114
ACmedCr	76	‘	2	152
ACOsCr	103	<i>Oligomull</i>	1,2	124
ACFa	139	<i>Mesomull</i>	1,1	153

Questo metodo dovrà essere approfondito e tarato attraverso ricerche future, tuttavia, si può notare dai risultati ottenuti nell'esempio una maggiore confrontabilità tra le diverse formazioni forestali: da questo risultato, limitato nella realtà dalla scarsa numerosità di esemplari campionati, si potrebbe evidenziare un incremento dell'attività dei lombrichi nel sito “ACmedCr”, che potrebbe indicare una maggiore attività della lombricofauna e incipiente evoluzione della forma di humus.

RINGRAZIAMENTI

I miei ringraziamenti vanno innanzitutto a chi ha in modo diretto o indiretto contribuito alla riuscita del campionamento e alla seguente stesura dell'elaborato. Per questo ringrazio vivamente Emiliano Zanardi, che ha messo a disposizione dell'indagine le tagliate degli ultimi anni e la sua pazienza nel rispondere a tutte le mie domande; senza di lui questa tesi non esisterebbe. Ringrazio Federico Gavinelli e il suo aiuto offertomi sia durante il campionamento che durante la stesura dell'elaborato, ma anche per l'interessante "mondo" sotterraneo che mi ha fatto scoprire e appassionare. Ringrazio i professori Giuseppe Concheri e Stefano Grigolato, che mi hanno proposto una tesi decisamente interessante e mi hanno seguito con costanza e professionalità. Ringrazio di cuore anche Alessandro Trivella per il prezioso aiuto nell'identificare la vegetazione e il professor Augusto Zanella per i preziosi consigli sulla determinazione delle forme di humus. Dato che han pagato loro mi vedo costretto a ringraziare anche la mia famiglia: mamma Donata, papà Erminio e sorella Elisa. Ringrazio anche tutti i compagni di viaggio che mi hanno accompagnato durante questa magistrale. Infine ringrazio Lisa che mi accompagna da un bel po' in questo mondo matto.

