



Università
Ca' Foscari
Venezia

Corso di Laurea magistrale (*ordinamento ex
D.M. 270/2004*) in Scienze Ambientali

Tesi di Laurea

—
Ca' Foscari
Dorsoduro 3246
30123 Venezia

Caratterizzazione degli humus e valutazione del “carbon stock” potenziale nei suoli delle Prealpi Giulie Settentrionali (Cesariis, UD)

Relatore

Ch. Prof. Claudio Bini

Correlatore

Dott.ssa Alba Gallo

Laureando

Eddy Papais

Matricola 845171

Anno Accademico

2013 / 2014

INDICE

1. INTRODUZIONE	5
2. AREA DI STUDIO	8
2.1.1. Inquadramento geografico	8
2.1.2. Inquadramento climatico	9
2.1.3. Inquadramento geologico	12
2.1.4. Inquadramento pedologico	14
2.1.5. Inquadramento vegetazionale	23
3. MATERIALI E METODI	30
3.1. Campagna di campionamento	30
3.2. Preparazione dei campioni	31
3.3. Metodi di analisi chimico-fisici	32
3.3.1. Determinazione del grado di reazione (pH) in H ₂ O	32
3.3.2. Determinazione del carbonio organico (metodo Walkley-Black)	33
3.3.3. Determinazione gas-volumetrica del calcare totale	35
3.3.4. Determinazione della capacità di scambio cationico (CSC)	38
3.3.5. Determinazione dell'acidità di scambio	40
3.3.6. Determinazione della granulometria (metodo della pipetta)	42
3.4. Descrizione dell'apparato sperimentale per la determinazione del QBS	46
4. RISULTATI E DISCUSSIONE	49
4.1. Classificazione delle forme di humus	49
4.1.1. Descrizione morfologica delle forme di humus dei sei siti studiati	52
4.2. Risultati delle analisi chimico-fisiche	59
4.2.1. pH	59
4.2.2. Carbonio organico totale	60
4.2.3. Calcare totale	61
4.2.4. Capacità di scambio cationico	62
4.2.5. Acidità di scambio e percentuale di saturazione in basi	63
4.2.6. Granulometria	64
4.3. Calcolo del carbon stock potenziale	65
4.4. Determinazione della qualità biologica del suolo (QBS-ar)	73
4.4.1. Descrizione degli artropodi del suolo	77
4.4.2. Risultati e calcolo del QBS-ar	95

5. CONCLUSIONI	100
6. APPENDICE	104
6.1. Scheda tipo di descrizione di campo	105
6.2. Parametri per la descrizione del profilo	106
6.3. Schede di descrizione di campo compilate durante i campionamenti.....	111
6.4. Chiavi per il riconoscimento dei principali invertebrati del suolo	117
6.5. Schema litologico delle Prealpi Giulie	122
7. BIBLIOGRAFIA	123

1. INTRODUZIONE

Gli impatti delle attività antropiche sul nostro pianeta, stanno producendo delle modificazioni tangibili sugli equilibri del sistema Terra, sia su piccola che su ampia scala. L'incremento delle emissioni legate ai processi di combustione risulta uno dei fenomeni più preoccupanti e più discussi degli ultimi decenni.

Nonostante le variazioni climatiche siano un fenomeno ciclico nella storia del nostro pianeta, la liberazione di questi gas in atmosfera, in particolare dei cosiddetti gas ad effetto serra, sta influenzando in maniera non naturale tali mutamenti.

A partire dalla rivoluzione industriale del XVIII secolo, il massiccio impiego di combustibili fossili ha portato al significativo incremento della concentrazione in atmosfera della maggior parte di questi gas ed in particolare del diossido di carbonio (Andres *et al.*, 1999; Keeling, 1973).

Questo, sebbene non sia il gas con il maggior effetto serra, risulta tuttavia molto più abbondante in atmosfera rispetto agli altri gas con queste caratteristiche (ad esclusione del vapore acqueo) ed è per questo che viene considerato uno dei principali responsabili delle alterazioni climatiche indotte dall'uomo (Solomon *et al.*, 2008; Friedlingstein & Solomon, 2005).

Attualmente, i combustibili fossili rappresentano una quota preponderante nella produzione di energia primaria, coprendo circa l'80% della richiesta mondiale, perciò anche nella prospettiva di una crescente domanda energetica da parte dei paesi emergenti, in accordo con le stime di Davis *et al.* (2010) appare inverosimile una riduzione delle emissioni di CO₂ nel futuro prossimo.

Allo stato attuale, appare perciò chiaro che per perseguire l'obiettivo di ridurre tali emissioni, anche in ottemperanza degli obblighi previsti dal protocollo di Kyoto, è necessario agire sui serbatoi di carbonio presenti nel pianeta.

In quest'ottica, i suoli rappresentano uno dei principali sink su scala globale, infatti l'ammontare di carbonio organico da loro sequestrato è maggiore rispetto allo stock immagazzinato complessivamente nella biosfera (610 Pg C) e nell'atmosfera (750 Pg C), totalizzando circa 1500 Pg C (Batjes, 1996).

Essi, giocando un ruolo fondamentale nel ciclo del carbonio, hanno quindi delle tangibili ripercussioni sulla regolazione del clima, motivo per cui negli ultimi anni la loro capacità di accumulo e stabilizzazione del carbonio organico ha ricevuto grande attenzione.

Tra questi, i suoli forestali risultano particolarmente ricchi di materia organica se confrontati con i suoli agricoli e rappresentano per questo motivo una pedina fondamentale nel sequestro del CO₂ atmosferico; ragione per cui sono stati scelti come oggetto di studio per questa ricerca.

Oltre che serbatoi di carbonio, tuttavia, i suoli possono essere anche fonte di gas serra, come CO₂ e CH₄. Tale fenomeno dipende dai processi che governano l'accumulo, la stabilizzazione e la perdita della materia organica. Lo studio di queste dinamiche risulta fondamentale non solo per la corretta conservazione del suolo in quanto immagazzinatore di CO₂, ma anche per preservare quelle proprietà del terreno influenzate dalla sostanza organica, che contribuiscono a garantirne la corretta funzionalità.

La qualità di un suolo infatti, viene fortemente influenzata dalla sostanza organica in quanto essa rappresenta un substrato nutritivo ed energetico per gli organismi presenti nel suolo, una fonte di nutrienti per le piante, aumenta la capacità di scambio cationico di un suolo, influenza la biodegradabilità, la persistenza e la reattività di sostanze xenobiotiche, nonché la chelazione di micronutrienti e la detossificazione da metalli pesanti.

La porzione più superficiale del terreno, costituita dagli orizzonti ologranici ed organo-minerali (*episolom* umifero), è la più interessante dal punto di vista scientifico per lo studio di questi aspetti, poiché qui è solitamente presente la concentrazione più elevata di sostanza organica. È stato provato infatti che i soli orizzonti ologranici riescono ad immagazzinare dall'8% al 30% del carbonio organico stoccato lungo l'intero profilo di suolo (Galbraith *et al.*, 2003; Prichard *et al.*, 2000; Schulze *et al.*, 2009).

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

Inoltre, essendo questa la porzione di suolo biologicamente più attiva, in cui avvengono i principali processi di trasformazione della sostanza organica, lo studio della componente biologica del suolo può fornire delle importanti indicazioni sulla qualità di un suolo e sulla stabilità dell'ecosistema presente.

Alla luce di queste considerazioni il presente lavoro si pone come obiettivo la caratterizzazione degli humus di sei tipologie vegetazionali prealpine del Friuli Venezia Giulia: dal punto di vista morfologico e tassonomico secondo il *Référentiel Pédologique*, dal punto di vista biologico attraverso l'applicazione dell'indice di qualità biologica del

suolo (QBS-ar) e infine dal punto di vista chimico attraverso la valutazione del contenuto di sostanza organica e della stima degli stock di carbonio.

I risultati ottenuti serviranno a valutare le relazioni esistenti tra le forme di humus e gli stock di carbonio potenziali nonché a determinare la qualità biologica dei suoli sotto diverse coperture vegetazionali presenti nelle Prealpi Giulie settentrionali, allo scopo di fornire indicazioni utili per la gestione di queste aree e per la realizzazione di studi e progetti riguardanti il ruolo dell'humus in questi ecosistemi.

2. AREA DI STUDIO

2.1 Inquadramento geografico

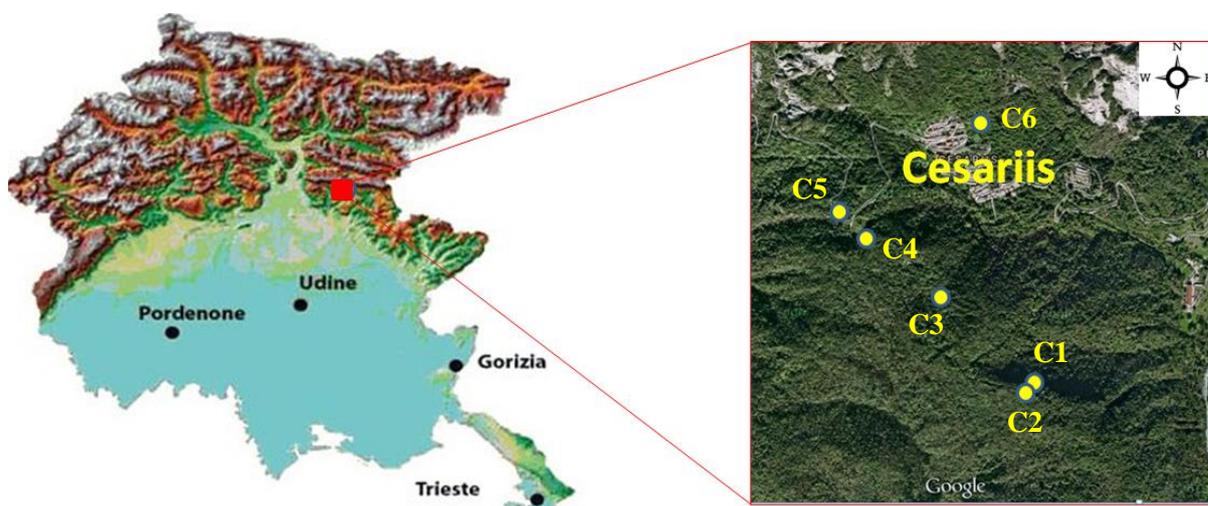


Figura 2.1 - Stazioni di rilevamento nella località di Cesariis (rielaborazione cartografia Google Maps).

L'area di studio è situata nella parte nord orientale della regione Friuli Venezia Giulia (FVG), più precisamente nel territorio delle Prealpi Giulie Settentrionali che prende il nome di Alta Valle del Torre.

Le sei stazioni di rilevamento scelte si trovano entro un raggio di 1,5 chilometri dal centro abitato di Cesariis, una piccola frazione nel comune di Lusevera (UD), ad un'altitudine compresa tra i 485 e i 590 metri s.l.m.

La scelta di siti poco distanti tra loro è stata effettuata per limitare quanto più possibile le variazioni climatiche tra le diverse stazioni, le motivazioni di tale scelta risulteranno più chiare nel proseguimento del lavoro.

Il territorio, vocato ad attività silvo-pastorali, ha visto diminuire la sua popolazione (attualmente inferiore alle 100 unità) di cinque volte nell'ultimo secolo, favorendo nell'area fenomeni più o meno naturali di rimboschimento.

La rete idrografica di questa zona, favorita da un clima particolarmente piovoso, risulta articolata in numerosi piccoli ruscelli che convergono nel torrente Torre, il quale conferisce il nome all'omonima valle (Alta Valle del Torre).

2.2. Inquadramento climatico

In Friuli Venezia Giulia le masse d'aria umida provenienti dall'Adriatico si condensano soprattutto sulla fascia prealpina, per l'effetto barriera prodotto dalle catene montuose che si innalzano repentine dalla Pianura Friulana. Ciò provoca in questa zona delle piogge consistenti e ben distribuite lungo tutto il periodo dell'anno, le quali possono arrivare ben oltre i 3000 mm in alcune stazioni dell'arco prealpino (Musi, Ucea).

Oltre ad essere particolarmente piovosa, questa zona risulta anche la più mite del territorio montano regionale. Questo è dovuto sia all'azione della catena alpina che funge da barriera contro le masse d'aria fredda provenienti dall'Europa Settentrionale, sia alla mancanza di barriere orografiche a sud che permette l'arrivo delle correnti calde meridionali.

Nella fattispecie, l'area di studio presenta delle precipitazioni medie annue nell'ordine dei 2350 mm, con dei picchi nel periodo tardo primaverile e autunnale, e dei minimi nei mesi invernali ed estivi. Il Grafico 2.1 riporta i valori medi delle precipitazioni mensili degli ultimi 40 anni, ottenuti elaborando i dati pluviometrici della stazione meteorologica di Vedronza (Dati ARPA-OSMER), la più vicina all'area di studio.

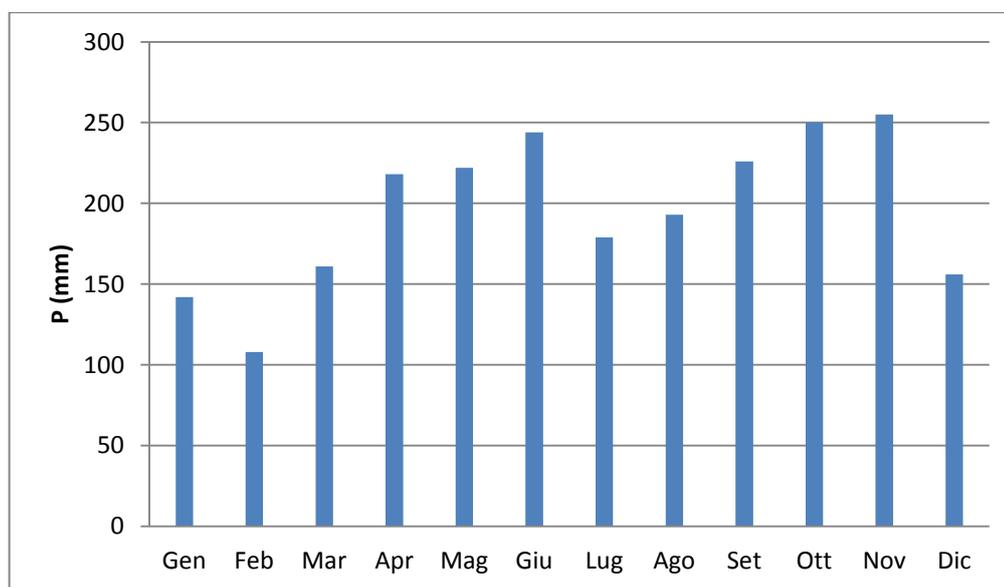


Grafico 2.1 - Precipitazioni medie mensili.

Nel Grafico 2.2 sono riportati i valori di temperatura media mensile per la stazione di rilevamento di Musi (la più vicina all'area di studio). I valori di temperatura media mensile sono stati ottenuti elaborando i dati mensili degli ultimi 10 anni (Dati ARPA-OSMER).

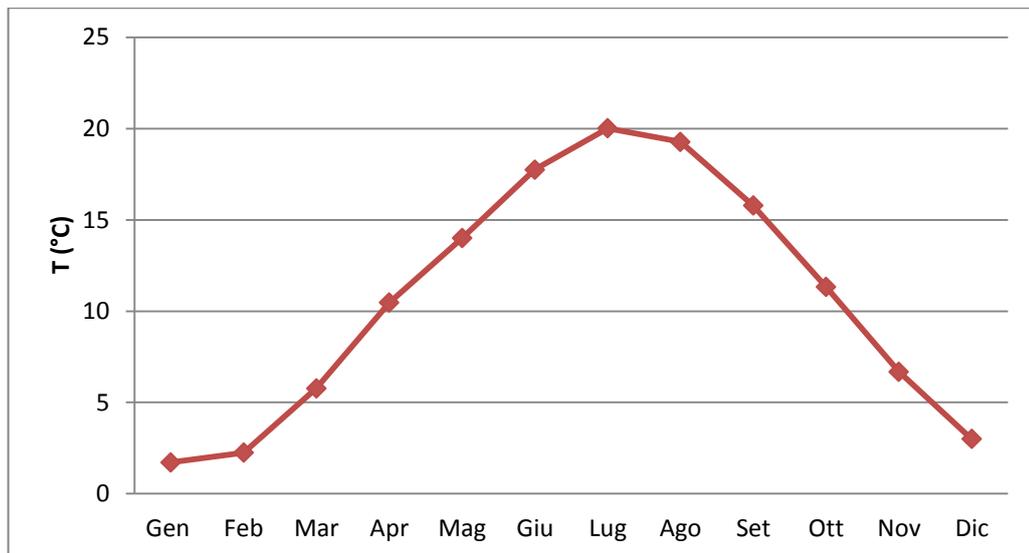


Grafico 2.2 - Temperature medie mensili.

Importanti informazioni sulla disponibilità idrica della zona possono essere dedotte dal diagramma ombrotermico (Grafico 2.3). Tale grafico mette in relazione l'andamento delle precipitazioni medie mensili con le temperature medie mensili.

Da questa elaborazione risulta una disponibilità idrica abbondante e costante durante l'intero arco dell'anno, evidenziato anche dalla mancata intersezione tra le due curve, che esclude di fatto la presenza di periodi di aridità.

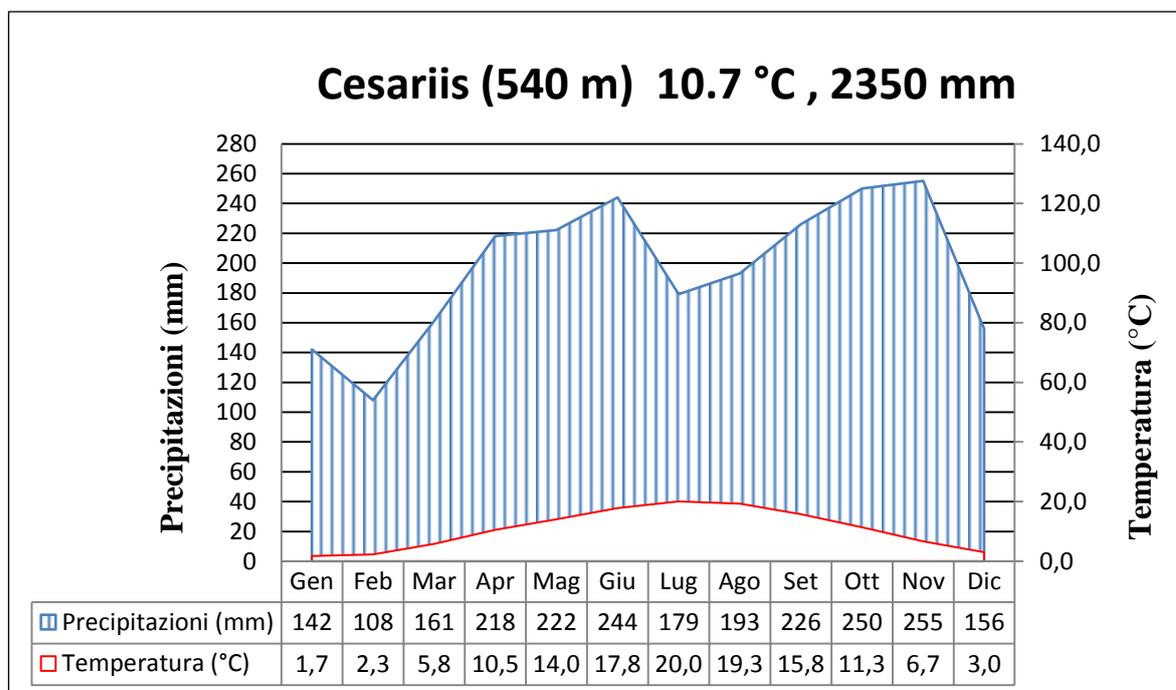


Grafico 2.3 - Diagramma ombrotermico di Bagnouls e Gausson per l'area di studio.

Tali caratteristiche, in accordo con Del Favero *et al.* (1998), collocano l'area nel distretto climatico esalpico, tipico dell'area prealpina del FVG.

Per quanto riguarda il clima, dall'analisi di questi dati si evince che la suddetta zona rientra nella fascia climatica temperata e, secondo la classificazione Köppen, fa parte del gruppo C (Climi temperati delle medie latitudini con temperatura media nel mese più freddo inferiore a 18°C ma superiore a -3°C). Più nel dettaglio rientra nel tipo *Cfb*: clima temperato umido con estate moderatamente calda, con assenza di stagione arida (*f*) e con la temperatura media del mese più caldo inferiore a 22°C (*b*).

Le precipitazioni a carattere nevoso, a causa delle correnti miti provenienti da sud, risultano essere di modesta entità e in genere non si superano i 30 centimetri.

Per quanto riguarda la ventosità, data la particolare orografia alpina che blocca le correnti fredde nord-orientali, si riscontrano correnti deboli e calme.

2.3 Inquadramento geologico

Esaminando il quadro geologico della regione, si nota che procedendo da nord verso sud si incontrano formazioni geologiche sempre più giovani.

Tale andamento, osservabile in Figura 2.2, è valido su scala regionale, in quanto a scale maggiori i disturbi tettonici provocano la ripetizione di molte formazioni con locali sovrapposizioni di termini più antichi su termini più recenti.

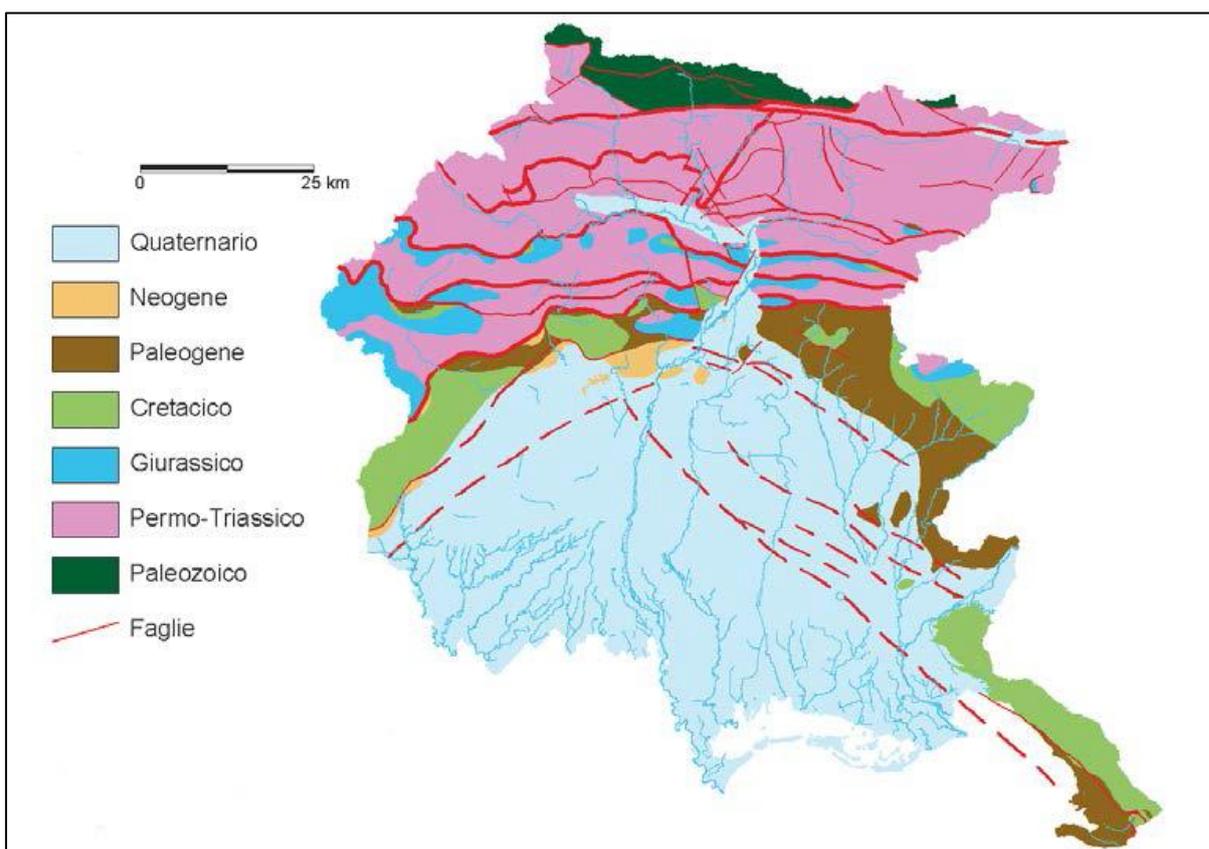


Figura 2.2 - Quadro geologico schematico del Friuli Venezia Giulia (Carulli & Galli, 2013)

Analizzando più in dettaglio la stratigrafia delle Alpi e Prealpi Giulie (Figura 2.3), ciò appare evidente. Infatti, nonostante la ripetizione o l'inversa sovrapposizione di alcune formazioni, la successione cronologica su piccola scala rispetta quanto sopra enunciato: si passa da formazioni dell'Ordoviciano a nord a formazioni dell'Eocene a sud, passando attraverso litologie del Devoniano, Carbonifero, Permiano, Triassico, Giurassico e Cretaceo.

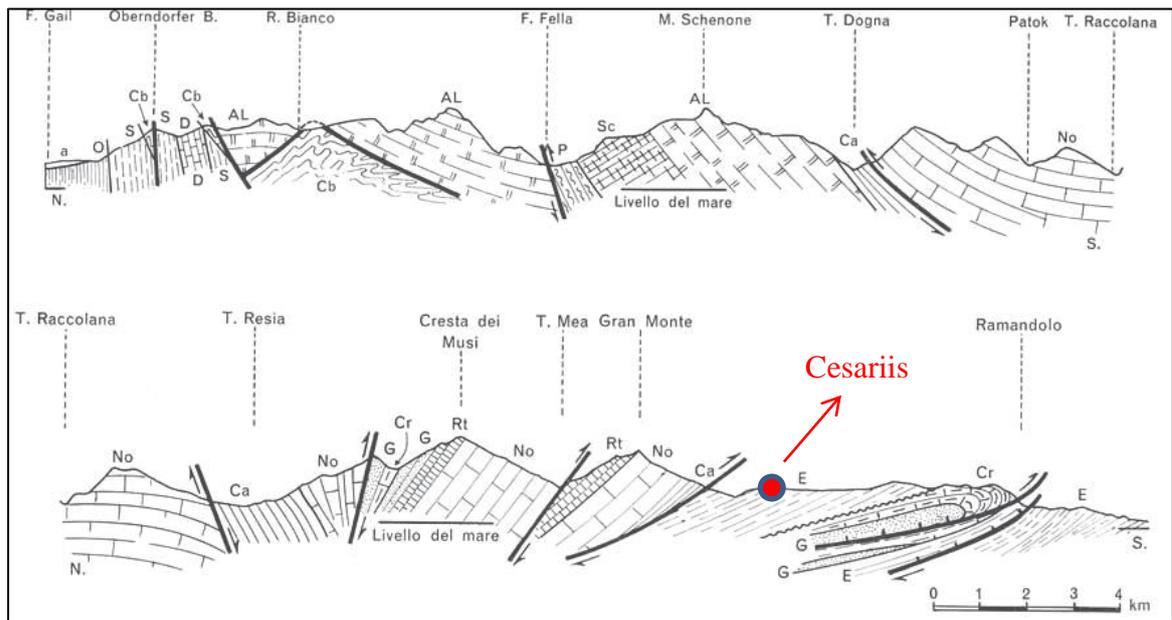


Figura 2.3 - Sezione geologica schematica attraverso le Alpi e Prealpi Giulie, redatta sulla base delle sezioni di Ardito Desio, Egidio Feruglio e Bruno Martinis. (Selli, 1973)

Legenda: O-Ordoviciano; S-Siluriano; D-Devoniano; Cb-Carbonifero; P-Permiano; Sc-Scitico; AL-Anisico-Ladinico; Ca-Carnico; No-NNorico; Rt-Retico; G-Giurassico; Cr-Cretaceo; E-Eocene.

Le Prealpi Giuli Settentrionali sono caratterizzate da una sezione montuosa settentrionale formata dalle due catene sub-parallele del M. Plauris-Cime dei Musi e del Chiampòn-Gran Monte, e da un'estesa area collinare a sud in cui sono localizzate le stazioni di campionamento.

Per quanto riguarda la litologia vi è un netto contrasto tra le due sezioni (riscontrabile anche nello schema litologico riportato in Appendice 6.5).

Nelle catene montuose a nord, nei rilievi della Bernadia, della Mia e del Matajur dominano le rocce calcaree e dolomitiche mentre nella fascia collinare prevalgono rocce di origine sedimentaria quali marne ed arenarie.

La dorsale collinare su cui si trova la località di Cesariis, come la maggior parte dei rilievi collinari delle Prealpi Giuli Settentrionali, si è originata per orogenesi attenuata in seguito all'incurvamento degli strati rocciosi.

Essa è costituita da masse rocciose di origine sedimentaria, ascrivibili al flysch eocenico. Tale formazione è costituita da stratificazioni alternate di marne ed arenarie, formatesi nell'Eocene per deposizione in ambiente marino.

Nell'area di studio sono altresì presenti degli accumuli di detrito di falda di natura calcarea e dolomitica, provenienti dalle retrostanti pareti rocciose più ripide per effetto della gravità o di colate detritiche.

2.4 Inquadramento pedologico

La campagna di campionamento degli humus è stata pianificata a partire dall'esame della "Carta dei suoli del settore occidentale delle Prealpi Giulie 1:25.000" (Wolf, 1972).

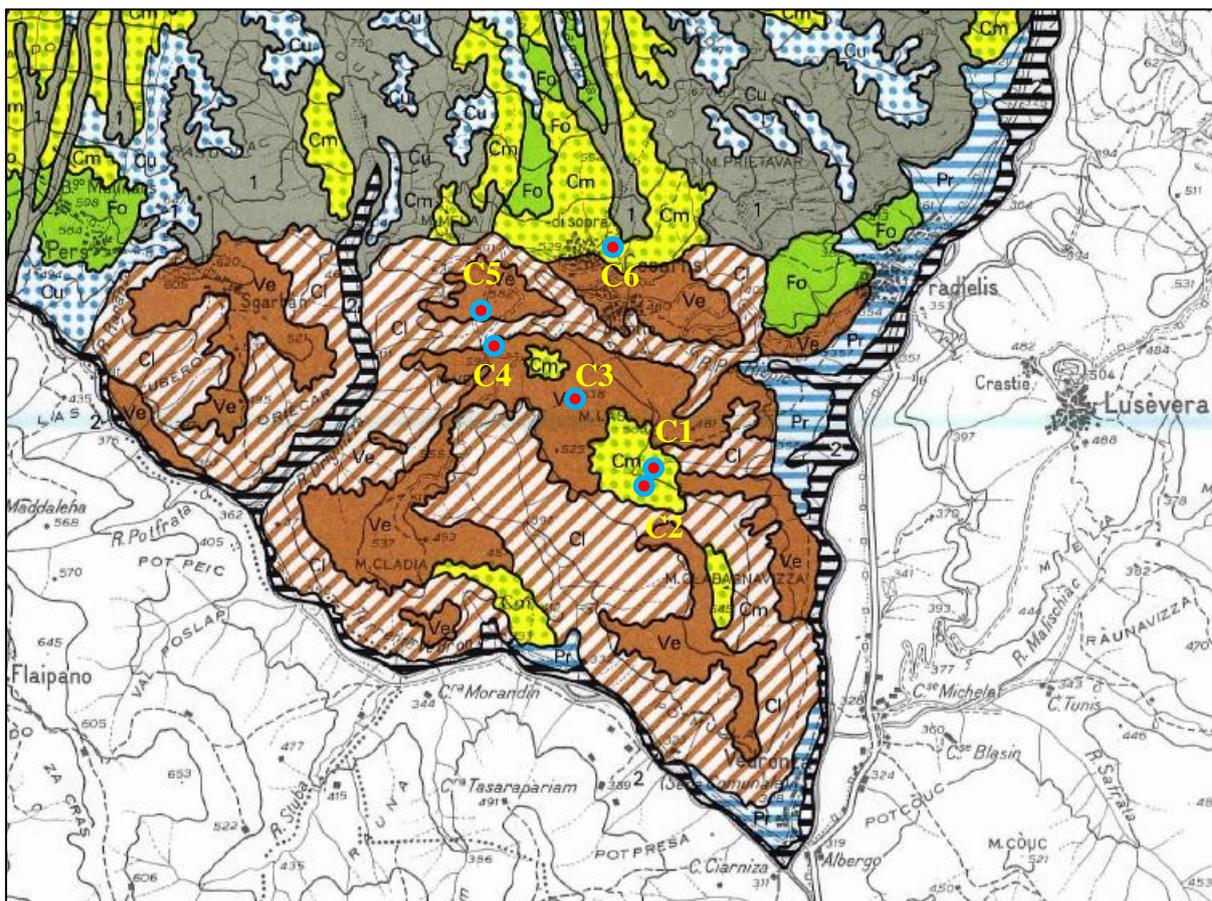


Figura 2.4 – Sezione della "Carta dei suoli del settore occidentale delle Prealpi Giulie" (Wolf, 1972) in cui sono evidenziate le sei stazioni di rilevamento. Le aree gialle, su cui si trovano le stazioni C1, C2 e C6, indicano suoli carbonatici; le aree marroni, su cui si trovano le stazioni C3, C4, C5 indicano suoli silicatici.

La classificazione dei suoli individuati segue il sistema tassonomico World Reference Base for Soil Resources (WRB) del 2006, messo a punto dall'Organizzazione delle Nazioni Unite per l'Agricoltura e l'Alimentazione (FAO).

Tale sistema di classificazione presenta due livelli gerarchici: il primo comprende i trenta gruppi di riferimento pedologici, mentre il secondo le unità di livello inferiore.

I rilievi effettuati coinvolgono sei suoli, cinque appartenenti al gruppo dei Cambisols ed uno al gruppo dei Leptosols, scelti per la loro rappresentatività dell'area di studio.

Generalità sui Cambisols:

I Cambisols sono suoli moderatamente evoluti in cui è ancora evidente la struttura della roccia madre. Ciò è dovuto ad una debole o moderata alterazione della roccia madre ed all'assenza di quantità apprezzabile di argilla illuviale, materiale organico e composti di alluminio e/o ferro. Essi possono derivare da una grande varietà di rocce, e presentano generalmente una colorazione brunastra ed una tessitura medio-fine. Sono riconoscibili poche caratteristiche diagnostiche tuttavia tali suoli presentano almeno un'iniziale differenziazione degli orizzonti del subsoil, evidente nel cambiamento di struttura, colore e contenuto in argilla e carbonati. Il profilo tipico di questi suoli è: A-B-C.

I Cambisols sono ampiamente diffusi nel mondo e si riscontrano in differenti condizioni climatiche (ad eccezione di quelli aridi) nonché di vegetazione.

Risultano particolarmente adatti per scopi agricoli, infatti, i Cambisols con un'alta saturazione in basi delle zone temperate risultano i suoli più produttivi del mondo.

Nel presente studio sono stati individuati tre Dystric Cambisols su rocce silicatiche e due Eutric Cambisols su rocce carbonatiche.

Il suffisso Dystric contraddistingue suoli che generalmente presentano, tra i 20 e i 100 centimetri (o fino alla roccia madre) dalla superficie, una saturazione in basi minore del 50%. Viceversa, il suffisso Eutric indica che in tale porzione di suolo la saturazione in basi è uguale o maggiore del 50%.

Nel sistema di classificazione americano dei suoli, che prende il nome di Soil Taxonomy (USDA) del 2006, i Cambisols trovano corrispondenza nell'ordine degli Inceptisols. Nella fattispecie ai Dystric Cambisols e agli Eutric Cambisols nella WRB corrispondono rispettivamente due grandi gruppi del sottordine Udept nella Soil Taxonomy: i Typic Dystrudept e i Typic Eutrudepts.

Generalità sui Leptosols:

I Leptosols sono suoli poco profondi, che si sviluppano su substrati rocciosi di diversa natura. Generalmente presentano una colorazione scura, una tessitura grossolana e un'abbondante matrice rocciosa (anche lungo l'intero profilo).

Il profilo tipico di questi suoli è: A-C oppure più raramente A-B-C.

I Leptosols sono i suoli con la maggior distribuzione geografica al mondo; si trovano infatti in ogni area climatica e sono particolarmente comuni nelle regioni montane.

I Leptosols che si originano su materiali calcarei possono presentare un orizzonte mollico, ovvero un orizzonte di superficie di colore scuro con almeno lo 0,6% di

carbonio organico e una percentuale di saturazione in basi maggiore del 50%. Tale epipedon sovrasta (o contiene) materiale roccioso calcareo contenente almeno il 40% di carbonato di calcio.

Nel presente studio è stato individuato un suolo appartenente a questo gruppo, ovvero un Rendzic Leptosols su rocce calcaree.

Il suffisso Rendzic contraddistingue i suoli che presentano l'orizzonte mollico sopra descritto. Nel sistema di classificazione americano, i Leptosols trovano corrispondenza nell'ordine dei Mollisol, nella fattispecie al Rendzic Leptosols della WRB corrisponde il grande gruppo degli Haprendoll (sottordine Rendoll) della Soil Taxonomy.

Tabella 2.1 - Tabella riassuntiva dei suoli presenti nelle stazioni di rilevamento con relative conversioni tra i due principali sistemi di classificazione dei suoli.

Stazione	Classificazione WRB (2006)	Classificazione Soil Taxonomy (2006)	Tipologia substrato
Stazione 1	Eutric Cambisol	Typic Eutrudept	Carbonatico (prevale dolomia)
Stazione 2	Eutric Cambisol	Typic Eutrudept	Carbonatico (prevale dolomia)
Stazione 3	Dystric Cambisol	Typic Dystrudept	Silicatico (Flysch)
Stazione 4	Dystric Cambisol	Typic Dystrudept	Silicatico (Flysch)
Stazione 5	Dystric Cambisol	Typic Dystrudept	Silicatico (Flysch)
Stazione 6	Rendzic Leptosol	Haprendoll	Calcareo

Di seguito vengono riportate le descrizioni dei profili esaminati.



Figura 2.5 - Profilo rilevato sotto orno-ostrieto tipico.

CODICE RILIEVO	C1
Classificazione WRB	Eutric Cambisol
Località	Cesariis
Quota	570 m
Pendenza	40%
Esposizione	N
Uso del suolo	Bosco
Copertura forestale	Orno-ostrieto tipico
Substrato	Carbonatico (prevalenza dolomia)
Morfologia	Parte alta di versante rettilineo
Segni di erosione	Idrica moderata
Drenaggio	Buono
Pietrosità superficiale	Scarsa
Rocciosità superficiale	Scarsa

Profilo:

- O 0-2/4 cm; limite inferiore graduale ondulato.
- A 2/4 – 7/9 cm; umido, colore marrone chiaro (10 YR 7/4), tessitura franco-sabbiosa, pH 5, scheletro scarso di dimensione fine, prevalentemente dolomitico, struttura grumosa, porosità e fessure scarsi, radici erbacee poche da molto fini a fini e legnose poche da fini a medie, attività biologica abbondante, reazione all'HCl debole, limite inferiore abrupto lineare.
- B 7/9-15/17 cm; molto umido, colore marrone chiaro (10YR 7/3) tessitura franco-sabbiosa, pH 5, scheletro scarso di dimensione fine, prevalentemente dolomitico, struttura grumosa, porosità e fessure scarsi, radici legnose comuni da fini a medie, attività biologica moderata, reazione all'HCl debole.

Sito 2 Cesariis 18/6/2014



Figura 2.6 - Profilo rilevato sotto orno-ostrieto tipico.

CODICE RILIEVO	C2
Classificazione WRB	Eutric Cambisol
Località	Cesariis
Quota	575 m
Pendenza	5%
Esposizione	N
Uso del suolo	Bosco
Copertura forestale	Orno-ostrieto tipico
Substrato	Carbonatico (prevalenza dolomia)
Morfologia	Parte alta di versante convesso verticalmente
Segni di erosione	Idrica moderata
Drenaggio	Buono
Pietrosità superficiale	Comune
Rocciosità superficiale	Comune

Profilo:

- O 0-2/4 cm; limite inferiore abrupto lineare.
- A 2/4 – 9/11 cm; umido, colore bruno (10YR 5/5), tessitura franco-sabbiosa, pH 6, scheletro comune di dimensione da fine a medio, prevalentemente dolomitico, struttura grumosa, porosità e fessure comuni, radici erbacee poche da molto fini a fini e legnose poche da fini a medie, attività biologica abbondante, reazione all'HCl debole, limite inferiore chiaro lineare.
- B 9/11-24/26 cm; molto umido, colore bruno chiaro (10YR 5/4), tessitura franco-sabbiosa, pH 7, scheletro frequente di dimensione da fino a grande, prevalentemente dolomitico, struttura grumosa, porosità e fessure abbondanti, radici legnose comuni da fini a medie, attività biologica moderata, reazione all'HCl debole.



Figura 2.7 - Profilo rilevato sotto faggeta submontana dei suoli acidi.

CODICE RILIEVO	C3
Classificazione WRB	Dystric Cambisol
Località	Cesariis
Quota	545 m
Pendenza	40%
Esposizione	N
Uso del suolo	Bosco
Copertura forestale	Faggeta submontana dei suoli acidi
Substrato	Flysch (prevalenza arenaria)
Morfologia	Parte alta di versante rettilineo
Segni di erosione	Idrica moderata
Drenaggio	Moderato
Pietrosità superficiale	Scarsa
Roccosità superficiale	Scarsa

Profilo:

- O 0-1/2 cm; limite inferiore abrupto lineare.
- A 2/4 – 7/9 cm; umido, colore marrone chiaro (10YR 5/6), tessitura franco-sabbiosa, pH 5, scheletro assente, struttura grumosa, porosità e fessure scarsi, radici erbacee molto scarse da molto fini a fini e legnose abbondanti da fini a medie, attività biologica abbondante, reazione all'HCl assente, limite inferiore abrupto lineare.
- B 7/9-15/17 cm; molto umido, colore marrone chiaro (10Yr 4/4), tessitura franco-sabbiosa, pH 5, scheletro assente, struttura grumosa, porosità e fessure scarsi, radici legnose comuni da fini a grosse, attività biologica moderata, reazione all'HCl assente.



Figura 2.8 - Profilo sotto Acero-frassineto tipico.

CODICE RILIEVO	C4
Classificazione WRB	Dystric Cambisol
Località	Cesariis
Quota	570 m
Pendenza	30%
Esposizione	N
Uso del suolo	Bosco
Copertura forestale	Acero-frassineto tipico
Substrato	Flysch (prevalenza marna)
Morfologia	Parte bassa di versante rettilineo
Segni di erosione	Idrica moderata
Drenaggio	Scarso
Pietrosità superficiale	Scarsa
Roccosità superficiale	Scarsa

Profilo:

- O 0- 1/3cm; limite inferiore abrupto lineare.
- A 2/4 – 7/9 cm; molto umido, colore bruno/grigio (7,5YR 4/2), tessitura franca, pH 6, scheletro scarso prevalentemente flyscioide, struttura grumosa, porosità e fessure comuni, radici erbacee comuni da molto fini e legnose abbondanti da fini a medie, attività biologica moderata, reazione all’HCl assente, limite inferiore abrupto lineare.
- B 7/9-15/17 cm; molto umido, colore marrone (10YR 7/3), tessitura franca, pH 7, scheletro comune prevalentemente flyscioide, struttura grumosa, porosità e fessure abbondanti, radici erbacee poche da molto fini a fini e radici legnose comuni da fini a medie, attività biologica moderata, reazione all’HCl assente.



Figura 2.9 - Profilo sotto pecceta d'impianto.

CODICE RILIEVO	C5
Classificazione WRB	Dystric Cambisol
Località	Cesariis
Quota	580 m
Pendenza	50%
Esposizione	N
Uso del suolo	Bosco
Copertura forestale	Pecceta secondaria montana (Impianto)
Substrato	Flysch (prevalenza marna)
Morfologia	Parte alta di versante complesso
Segni di erosione	Idrica moderata
Drenaggio	Moderato
Pietrosità superficiale	Comune
Rocciosità superficiale	Comune

Profilo:

- O** 0-4/6 cm; limite inferiore graduale ondulato.
- A** 4/6 – 16/18 cm; umido, colore marrone chiaro/grigio (10YR 5/2), tessitura franca, pH 6, scheletro scarso prevalentemente flyscioide, struttura poliedrico sub-angolare porosità e fessure comuni, radici erbacee scarse da molto fini a fini e legnose comuni da fini a medie, attività biologica moderata, reazione all'HCl assente, limite inferiore chiaro lineare.
- A/B** 16/18-25/27 cm; umido, colore marrone chiaro (10YR 7/4), tessitura franca, pH 6, scheletro comune prevalentemente flyscioide, struttura poliedrica sub-angolare, porosità e fessure comuni, radici legnose comuni da fini a grosse, attività biologica moderata, reazione all'HCl assente.



Figura 2.10 - Profilo su Prati da sfalcio dominati da *Arrhenatherum elatius*.

CODICE RILIEVO	C6
Classificazione WRB	Rendzic Leptosol
Località	Cesariis
Quota	490 m
Pendenza	5%
Esposizione	N
Uso del suolo	Prato/pascolo
Habitat	Prato da sfalcio dominato da <i>Arrhenatherum elatius</i>
Substrato	Calcereo
Morfologia	Parte bassa di versante complesso
Segni di erosione	Idrica moderata
Drenaggio	Buono
Pietrosità superficiale	Comune
Roccosità superficiale	Comune

Profilo:

- O** 0-3 cm; limite inferiore abrupto lineare.
- A** 3 - 13/15 cm; umido, colore marrone scuro/grigio (10YR 3/2), tessitura franco-sabbiosa, pH 7, scheletro abbondante prevalentemente calcareo, struttura granulare, porosità e fessure molto abbondanti, radici erbacee numerose da molto fini a fini, attività biologica comune, reazione all'HCl violenta, limite inferiore chiaro lineare.
- A/C** 13/15-18/20 cm; umido, colore marrone scuro/grigio (10YR 4/1), tessitura franco-sabbiosa, pH 7, scheletro abbondante prevalentemente calcareo, struttura granulare, porosità e fessure molto abbondanti, radici erbacee numerose da molto fini a fini, attività biologica moderata, reazione all'HCl violenta.

2.5 Inquadramento vegetazionale

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

L'area di studio, come già discusso, presenta un clima temperato, caratterizzato da precipitazioni abbondanti e temperature miti, che colloca la zona nel distretto climatico esalpico, tipico del territorio prealpino friulano. Tali condizioni favoriscono la presenza nel distretto di coperture forestali quali faggete, abieteti, peccete, pinete di pino nero, orno-ostrieti ed acero-frassineti (Del Favero *et al.*, 1998).

Nel presente studio, le coperture vegetali sono state selezionate per la loro rappresentatività dell'area esaminata. Per il riconoscimento e la corretta classificazione della vegetazione si è fatto uso dei seguenti strumenti:

- 1)La "Guida all'identificazione delle piante erbacee e legnose più comuni della regione Friuli Venezia Giulia" di Gualtiero Simonetti (1983).
- 2)Il portale web "flora" dell'Università degli studi di Udine per la catalogazione delle specie vegetali.
- 3)Il "Manuale degli habitat del Friuli Venezia Giulia" (Poldini *et al.*, 2006), per il riconoscimento degli habitat e per la conversione tra habitat e tipologie forestali.
- 4)Il manuale "la vegetazione forestale a la selvicoltura nella regione Friuli Venezia Giulia" (Del Favero *et al.*, 1998) per approfondimenti.

Durante il sopralluogo sono state scelte sei coperture vegetali, cinque di carattere forestale ed un prato-pascolo, quest'ultimo come termine di confronto. Tra le tipologie forestali individuate, essendo l'orno-ostrieto di gran lunga il più abbondante nell'area, si è deciso di effettuare due rilievi sotto tale copertura, scegliendone uno più primitivo ed uno più maturo.

Gli habitat sono stati riconosciuti mediante la chiave dicotomica di determinazione riportata nel "Manuale degli habitat del Friuli Venezia Giulia", la quale si basa sui caratteri fisionomici ed ambientali (suolo, quota ecc.) del sito in esame.

In aggiunta, vengono riportate per ogni stazione le principali specie vegetali identificate nello strato arboreo, arbustivo ed erbaceo, evidenziando in grassetto le specie più rilevanti per ciascun habitat.

La Tabella 2.2 mostra gli habitat individuati e le corrispettive tipologie forestali (da tale conversione si esclude il prato-pascolo non essendo classificabile come tipologia forestale).

Tabella 2.2 - Habitat presenti nelle stazioni di campionamento e conversione tra habitat e tipologie forestali.

Sito	Codice habitat	Denominazione	Codice tipologia forestale	Denominazione
Sito C1	BL22	Ostrieti su substrati carbonatici con <i>Erica Carnea</i>	DB0	Orno-ostrieto tipico (più maturo)
Sito C2	BL22	Ostrieti su substrati carbonatici con <i>Erica Carnea</i>	DB0	Orno-ostrieto tipico (più primitivo)
Sito C3	BL2	Faggete su suoli acidi collinari con <i>Castanea Sativa</i>	GF0	Faggeta submontana dei suoli acidi
Sito C4	BL14	Boschi delle forre prealpine a <i>Fraxinus Excelsior</i> e <i>Acer Pseudoplatanus</i>	ECO	Acero frassineto tipico
Sito C5	BC10	Impianti di peccio e peccete secondarie	NE1	Pecceta secondaria montana
Sito C6	PM1	Prati da sfalcio dominati da <i>Arrhenatherum elatius</i>	-	-

Stazione C1 e C2: Orno-ostrieto tipico

L'orno-ostrieto tipico si incontra nell'area pedemontana friulana. Si tratta di formazioni pioniere che si sviluppano nel piano montano inferiore, su substrati carbonatici primitivi, spesso ben dotati di sostanza organica, ricchi in scheletro e generalmente a pH prossimo alla neutralità. *Ostrya carpinifolia* Scop. (carpino nero) è sempre accompagnata da *Fraxinus ornus* L. (orniello). Di seguito sono riportate le tabelle con le principali specie vegetali rilevate rispettivamente nella prima e nella seconda stazione.

Tabella 2.3 - Principali specie vegetali rilevate nella stazione C1.

Strato arboreo	<i>Fraxinus ornus</i> L., <i>Ostrya Carpinifolia</i> Scop., <i>Sorbus aria</i> aggr., <i>Tilia cordata</i> Mill.
Strato arbustivo	<i>Fraxinus ornus</i> L., <i>Ostrya Carpinifolia</i> Scop., <i>Sorbus aria</i> aggr., <i>Tilia cordata</i> Mill., <i>Acer pseudoplatanus</i> L.,
Strato erbaceo	<i>Erica carnea</i> L., <i>Cyclamen purpurascens</i> M., <i>Colchicum autumnale</i> L., <i>Serratula tinctoria</i> L., <i>Salvia Glutinosa</i> L. <i>Molinia caerulea</i> L.

Tabella 2.4 - Principali specie vegetali rilevate nella stazione C2.

Strato arboreo	<i>Fraxinus ornus</i> L., <i>Ostrya Carpinifolia</i> Scop, <i>Sorbus aria</i> aggr., <i>Castanea sativa</i> Mill.
Strato arbustivo	<i>Fraxinus ornus</i> L., <i>Ostrya Carpinifolia</i> Scop, <i>Sorbus aria</i> aggr., <i>Frangula alnus</i> Mill., <i>Castanea sativa</i> Mill.
Strato erbaceo	<i>Erica carnea</i> L., <i>Cyclamen purpurascens</i> Mill., <i>Calamagrostis varia</i> Schrad., <i>Colchicum autumnale</i> L., <i>Salvia Glutinosa</i> L., <i>Serratula tinctoria</i> L., <i>Molinia caerulea</i> L.

La presenza di specie come *Molinia caerulea* L. e *Serratula tinctoria* L., l'abbondanza di specie arbustive e di radure, suggeriscono che potrebbe trattarsi di una zona di neoformazione dovuta alla ricolonizzazione di prati-pascoli che non sono più stati curati dall'uomo per via del forte spopolamento dell'area. La presenza di *Erica carnea* indica l'estrema primitività di queste boscaglie.

Il primo sito si differenzia dal secondo per essere in uno stadio più avanzato di ricolonizzazione, infatti nella seconda stazione, la presenza di una vegetazione arbustiva più abbondante, di uno strato arboreo meno sviluppato e di radure più abbondanti suggerisce che la colonizzazione sia iniziata più tardi.



Figura 2.11 e 2.12 - Orno-ostrieto tipico nella stazione C1 (a sinistra) e nella stazione C2 (a destra).

Stazione C3: Faggeta submontana dei suoli acidi

La faggeta submontana dei suoli acidi si incontra su substrati flyscioidi nel piano collinare (500-800 m) delle Prealpi Giulie, in presenza di suoli acidi notevolmente eluviati, con valori di pH prossimi a 5.

Solitamente formano dei consorzi dominati nettamente da *Fagus sylvatica* L. infatti anche in questo caso sono state rilevate solo delle sporadiche presenze di *Castanea sativa* Mill. Il sottobosco risulta quasi assente, con presenza occasionale di plantule di *Fagus sylvatica* L., *Castanea sativa* Mill e di felci. Tale situazione, oltre che dall'acidità del substrato, è favorita dall'elevata densità dei giovani esemplari di faggio presenti, i quali riducono drasticamente la quantità di luce che penetra al suolo.



Figura 2.13 - Faggeta submontana dei suoli acidi nella stazione C3.

Stazione C4: Acero-frassineto tipico

Gli acero-frassineti tipici sono formazioni a dominanza di *Acer pseudoplatanus* L. (acero di monte) e *Fraxinus excelsior* L. (frassino maggiore).

Le abbondanti precipitazioni di quest'area e la presenza di un substrato flyscioide che aumenta la disponibilità idrica del suolo, forniscono le condizioni ideali per la diffusione di aceri-frassineti. In molti casi si tratta di neoformazioni derivanti da processi di ricolonizzazione di coltivi o prati abbandonati, situazione molto verosimile anche in questo caso, considerata anche l'elevata produzione di semi, la buona germinabilità e la rapida crescita iniziale delle piantine. L'acero risulta essere più plastico rispetto al frassino maggiore, sopportando meglio sia gli stress idrici che le gelate. In quest'area ci

sono tuttavia condizioni favorevoli per il frassino maggiore, motivo per cui le due specie appaiono qui bilanciate.

In tab.4 vengono riportate le principali specie vegetali rilevate nel sito. Da notare in particolare la presenza di diverse specie igrofile nello strato erbaceo a conferma di quanto detto sopra.

Tabella 2.5 - Principali specie vegetali rilevate nella stazione C4.

Strato arboreo	<i>Acer pseudoplatanus L., Fraxinus excelsior L.</i>
Strato arbustivo	<i>Acer pseudoplatanus L., Fraxinus excelsior L., Fraxinus ornus L., Sambucus nigra L.</i>
Strato erbaceo	<i>Asarum europaeum L., Salvia Glutinosa L., Lunaria rediviva L., Pulmonaria officinalis L., Hepatica nobilis Schreb., Aegopodium podgaria L., Knautia drymeia Heuff., Athyrium filix-foemina L.</i>

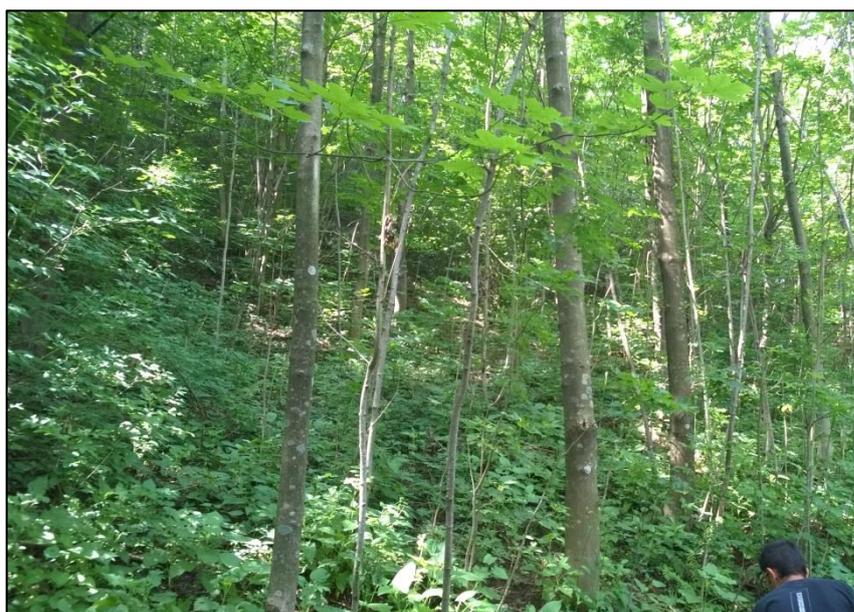


Figura 2.14 - Acero-frassineto tipico nella stazione 4.

Stazione C5: Pecceta secondaria montana (impianto di peccio)

Le peccete sono formazioni a netta prevalenza di *Picea Abies L.* (abete rosso) a cui talvolta si associano, in modo subordinato, altre conifere. In natura si trova difficilmente a tali quote, infatti predilige condizioni climatiche tipiche di quote più elevate. Tuttavia

la pecceta in questione, come le altre in quest'area, sono il risultato di tentativi di impianti effettuati nella zona attorno agli anni '70.

In genere l'abete rosso presenta maggior vigore sui suoli silicatici e acidi. In questa stazione gli esemplari presenti non sembrano godere di ottima vitalità e ciò può essere influenzato dalle caratteristiche stazionali (substrato marnoso, pH prossimo alla neutralità e bassa quota).

La pecceta in questione presenta uno strato arboreo puro, arbusti assenti, e uno strato erbaceo composto da *Mercurialis perennis* L., *Hedera helix* L., *Cyclamen purpurascens* Mill., *Asarum europaeum* L.

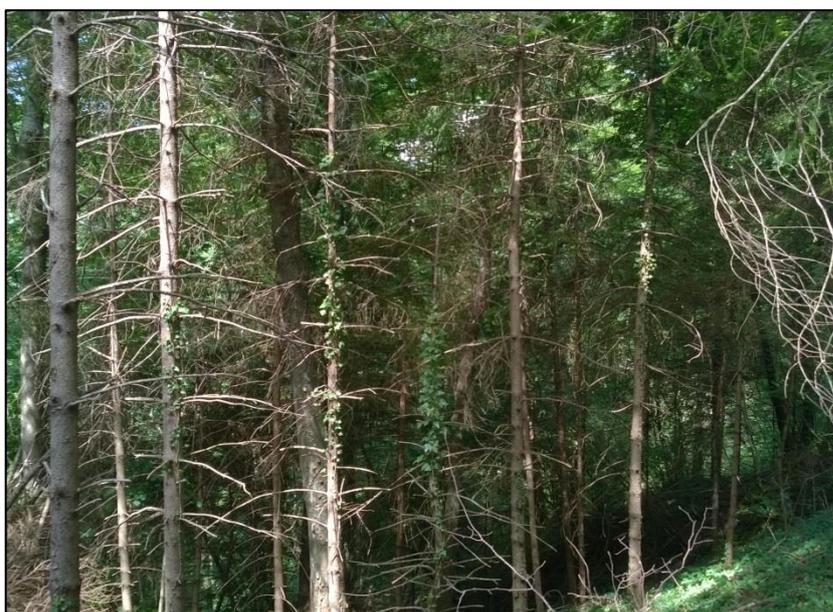


Figura 2.15 - Pecceta secondaria montana (impianto di peccio) nella stazione C5.

Stazione C6: Prati da sfalcio dominati da *Arrhenatherum elatius*

Sono habitat molto diffusi nella regione, si tratta di prati da sfalcio che si sviluppano dalla pianura fino al piano basso-montano (<1100 m) su suoli mediamente fertili e con buona disponibilità idrica. Vengono mantenuti dall'azione dell'uomo attraverso sfalci e apporti limitati di sostanza organica. La cotica, come in questo caso, è compatta.

Queste formazioni possono risultare alquanto ricche in specie. In questa stazione sono stata rilevate principalmente le seguenti specie: *Arrhenatherum elatius* L., *Festuca pratensis* L., *Ranunculus acris* L., *Salvia pratensis* L., *Trifolium pratense* L., *Holcus lanatus* L., *Urtica dioica* L., *Artemisia vulgaris* L., *Galium mollugo* L., in cui domina *Arrhenatherum elatius* L.

Essendo vicino al centro abitato di Cesariis, oltre alle specie tipiche quali *Arrhenantherum* e *Festuca*, si trova anche flora ruderale come *Artemisia vulgaris* L. e *Urtica dioica* L.



Figura 2.16 - Prati da sfalcio dominati da *Arrhenatherum elatius* nella stazione C6.

3. MATERIALI E METODI

3.1 Campagna di campionamento

Durante la fase preliminare è stata esaminata la “Carta dei suoli del settore occidentale delle Prealpi Giulie 1:25.000” (Wolf, 1972) per individuare le potenziali aree con i suoli d’interesse e attraverso la “carta delle tipologie forestali del Friuli Venezia Giulia” (consultabile sul sito della regione) sono state vagliate le diverse coperture vegetali presenti nel territorio.

Una volta in campo è stato possibile scegliere con maggior dettaglio le stazioni più rappresentative dell’area, in termini di substrato e copertura vegetale.

In realtà, in accordo con Zanella *et al.*, (2011), per quanto la scelta della stazione sia accurata, all’interno di ogni area persiste sempre un certo grado di variabilità dovuto a dossi, avvallamenti, eterogeneità della copertura vegetale, etc. che produce una certa variabilità anche su breve distanza.

Tale concetto è risultato chiaramente visibile sul campo, infatti aprendo profili adiacenti tra loro è apparsa chiaramente la disomogeneità che si può verificare anche a distanza di pochi metri (se non decimetri).

Nel complesso sono stati aperti e descritti sei profili e sono stati realizzati altrettanti prelievi umologici.

La descrizione macroscopica dei profili è stata realizzata mediante un’apposita scheda di campo opportunamente modificata per le necessità di questo studio (riportata in Appendice 6.1) sviluppata in origine da Green *et al.* (1993) e adattata da Calabrese *et al.* (1996) per gli ambienti alpini.

In tale scheda vengono raccolti sia i parametri stazionali (quota, pendenza, esposizione, substrato, ecc) sia le caratteristiche del profilo (tipi di orizzonte, spessore, colore, struttura, ecc).

I campioni prelevati da ogni profilo consistono in un parallelepipedo di circa 50x50cm di base e spessore tale da avvicinarsi il più possibile al substrato roccioso. Essi sono stati prelevati con una vanga e riposti integri in un sacchetto chiuso ed etichettato, assicurando una buona riserva d’aria all’interno.

3.2 Preparazione dei campioni

I campioni di suolo prelevati dalle varie stazioni sono stati trasportati in giornata nel laboratorio di geopedologia dell'Università Ca' Foscari, avendo cura di mantenerli il più possibile integri.

Ogni campione è stato suddiviso in due parti, la prima destinata alle analisi chimico-fisiche e la seconda per la determinazione della qualità biologica del suolo attraverso il metodo QBS-ar.

Per la prima aliquota si è proceduto a dividere i vari orizzonti di ogni campione, ed ognuno è stato posto in un contenitore di alluminio e lasciato ad essiccare all'aria fino a completa asciugatura (nella fattispecie tre settimane).



Figura 3.1 - Campioni suddivisi per orizzonte durante la fase di asciugatura.

Al termine di tale fase i campioni sono stati ripuliti dalle radici e dalla parte più grossolana dello scheletro, dopodiché sono stati pestati con un pestello di ceramica all'interno di un mortaio e infine vagliati con un setaccio in acciaio con maglia di 2 mm.

Il campione setacciato è stato poi inserito in contenitori di plastica trasparenti ed etichettati, precisando il codice del rilievo e il tipo di orizzonte.



Figura 3.2 - Contenitori con i campioni setacciati, suddivisi per orizzonte.

3.3 Metodi di analisi chimico-fisici

I campioni di suolo così trattati sono stati sottoposti alle principali analisi chimiche per la caratterizzazione e lo studio delle forme di humus, quali:

- 1) Determinazione del grado di reazione (pH) in H₂O;
- 2) Determinazione del carbonio organico con metodo Walkley-Black;
- 3) Determinazione gas volumetrica del calcare totale;
- 4) Determinazione della capacità di scambio cationico con BaCl₂ e trietanolamina;
- 5) Determinazione dell'acidità di scambio;
- 6) Determinazione della granulometria con metodo della pipetta.

Per queste analisi sono state seguite le metodologie descritte nel D.M. 13/09/1999 e riportate nel manuale "Metodi di analisi chimica del suolo" (MiPAAF, 2000).

3.3.1 Determinazione del grado di reazione (pH) in H₂O

Il pH è stato determinato per via potenziometrica, dopo la taratura del sistema di misura, su delle sospensioni di suolo-acqua in rapporto (1:2,5).

Materiali e strumenti utilizzati:

- Bilancia di precisione pari a 0,01 g;
- Cucchiaino metallico di precisione;
- Contenitori di plastica per i campioni con tappo a vite;
- Acqua distillata;
- Agitatore meccanico con velocità regolabile;
- pH-metro con compensazione della temperatura;
- Soluzioni tampone a pH 4,7 e 10.



Figura 3.3 - pH-metro utilizzato per la determinazione del grado di reazione e reagenti impiegati per la taratura.

Procedimento:

Nel contenitore di plastica da 50 mL sono stati trasferiti 10 grammi di campione setacciato a 2 mm e 25 mL di acqua distillata. La sospensione così ottenuta è stata posta in agitazione per due ore. Dopo l'agitazione, la sospensione è stata lasciata sedimentare per alcuni minuti e quindi sottoposta alla misurazione del pH immergendo un pH-metro con compensazione della temperatura (preventivamente tarato con soluzioni tampone a pH 4,7 e 10 già pronte in commercio) nel surnatante.

Sono state eseguite tre repliche per ogni campione e il grado di reazione è stato espresso in termini di pH con una cifra decimale, come media tra i tre valori.

3.3.2 Determinazione del carbonio organico (metodo Walkley-Black)

Il carbonio organico è stato ossidato ad anidride carbonica con una soluzione di potassio bicromato e in presenza di acido solforico. La velocità della reazione viene facilitata dall'aumento della temperatura risultatane dalla brusca diluizione dell'acido. Dopo trenta minuti la reazione è stata interrotta mediante l'aggiunta di acqua distillata e la quantità di potassio bicromato che non ha reagito è stata determinata attraverso la titolazione con una soluzione di ferro solfato eptaidrato previa aggiunta dell'indicatore di ossido-riduzione.

Reagenti impiegati:

- Acido Solforico H_2SO_4 ;
- Acido Fosforico H_3PO_4 ;

- Soluzione ($0,167 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$) di potassio bicromato K_2CrO_7
- Soluzione ($0,5 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$) di ferro (II) solfato eptaidrato ($\text{FeSO}_4\cdot 7\text{H}_2\text{O}$);
- Indicatore Red-Ox.

Materiali e strumenti utilizzati:

- Bilancia di precisione pari a 0,01 g;
- Cucchiaino metallico di precisione;
- Beute da 250 mL (una per ogni campione) ;
- Pipetta da 10 mL per il bicromato di potassio;
- Pipetta da 20 mL per l'acido solforico;
- Pipetta da 10 mL per l'acido fosforico;
- Vetrini da orologio (uno per ogni campione);
- Agitatore magnetico con ancoretta;
- Buretta per la titolazione;
- Cappa aspirante.



Figura 3.4 - Reagenti e strumentazione utilizzati per la determinazione del carbonio organico.

Procedimento:

Nella beuta da 250 mL sono stati posti 0,5 grammi di campione (dato l'elevato contenuto di carbonio organico stimato) setacciato a 0,5 mm, dopodiché sono stati aggiunti 10 mL di bicromato di potassio utilizzando una pipetta da 10 mL e 20 mL di acido solforico con una pipetta da 20 mL (questi ultimi sono stati aggiunti lentamente in quanto provocano una reazione fortemente esotermica). La sospensione è stata agitata con cautela man

mano che si aggiungeva acido solforico in modo tale da non far aderire le particelle di suolo alle pareti della beuta, e al termine coperta con un vetrino da orologio e lasciata riposare per trenta minuti esatti. Dopo trenta minuti la reazione è stata interrotta aggiungendo 200 ml di acqua distillata per mezzo del becher. Prima della titolazione sono stati aggiunti 10mL di acido fosforico, tre gocce di soluzione Red-Ox e un'ancoretta magnetica. Dopo aver preparato il campione, si è effettuata una prova in bianco, utilizzando il procedimento sopra descritto ma senza campione. La beuta è stata poi posta sull'agitatore magnetico ed è stato aperto il rubinetto per far scendere la soluzione di ferro solfato eptaidrato fino a viraggio della soluzione (da blu a verde).

L'abbassamento del livello della soluzione nella buretta è stato preso come riferimento per i valori ottenuti dalle prove con i campioni in quanto, questi ultimi, dovevano risultare minori del valore mostrato dal bianco per essere ritenuti validi.

Per i campioni si è effettuato lo stesso procedimento della prova in bianco, annotando per ciascun campione l'abbassamento del volume all'interno della buretta.

Per il calcolo del carbonio si è utilizzata la seguente espressione:

$$C. \text{organico} = (S - T) \frac{10}{S} * \frac{0.003}{0.77} * \frac{1000}{P}$$

dove:

- S: sono i mL di soluzione di ferro solfato eptaidrato usati per la prova in bianco;
- T: sono i mL di soluzione di ferro solfato eptaidrato usati per il campione;
- 0.003: milliequivalente del carbonio;
- P: peso del campione analizzato (g).

3.3.3 Determinazione gas-volumetrica del calcare totale

Il calcare totale è stato determinato per via gas-volumetrica misurando il diossido di carbonio prodotto trattando i campioni di terra fine (setacciati a 0,5mm) con acido cloridrico.

Reagenti impiegati:

- Soluzione diluita (1:1 v/v) di acido cloridrico (HCl).

Materiali e strumenti utilizzati:

- Bilancia di precisione pari a 0,01 g;
- Cucchiaino metallico di precisione;
- Calcimetro di Dietrich Fruling;
- Termometro;
- Barometro;
- Beute da 250 mL;
- Provetta di plastica da almeno 10 mL;
- Pinze di precisione;
- Dosatore per HCl.



Figura 3.5 – Determinazione gas-volumetrica del calcare con calcimetro.

Procedimento:

Dopo aver trasferito 2 grammi di campione nella beuta (meno se il campione è molto ricco di carbonati) e aver aggiunto 10 mL di acido cloridrico nella provetta di plastica, si è posizionata quest'ultima all'interno della beuta, facendo attenzione a non rovesciare l'acido cloridrico per non far partire la reazione. Una volta controllato che la vite sulla sommità del calcimetro fosse aperta si è collegato il calcimetro alla beuta, chiudendo quest'ultima con l'apposito tappo di gomma. A questo punto il supporto per il pallone è stato mosso sulla verticale in modo da far arrivare a zero il livello del liquido sulla colonna graduata. Dopo aver chiuso la vite si è rovesciato l'acido cloridrico all'interno della beuta, in modo da innescare la reazione tra l'acido e i carbonati. La beuta è stata agitata per qualche minuto fino al completo sviluppo del diossido di carbonio.

Contemporaneamente è stato necessario abbassare il pallone (tenendolo in mano) per mantenere il liquido allo stesso livello nella colonna e nel pallone. Una volta ultimato lo sviluppo del diossido di carbonio si è effettuata la lettura del volume sulla scala graduata riportata sulla colonna.

A questo punto, tenendo conto della temperatura e della pressione atmosferica alle quali è stata effettuata l'analisi, è stata effettuata una standardizzazione del volume di gas liberato attraverso l'equazione:

$$V_0 = \frac{V_t (P_t - x) * 273}{760 * (273 + t)}$$

dove:

- V_0 : è il volume della CO_2 standardizzato, espresso in millilitri;
- V_t : è il volume di CO_2 liberatasi durante la reazione suolo-acido;
- P_t : è la pressione atmosferica alla quale è stata eseguita l'analisi, espressa in mm di mercurio;
- T : è la temperatura alla quale è stata effettuata l'analisi espressa in gradi Celsius ($^{\circ}C$);
- X : è il valore tabellato di tensione di vapore dell'acqua, espresso in mm di mercurio.

Il contenuto di calcare totale viene espresso in $g \cdot Kg^{-1}$ e viene ottenuto mediante l'equazione:

$$C = \frac{V_0 * 0,0044655 * 100}{M}$$

dove:

- C : contenuto in calcare totale, espresso in $g \cdot kg^{-1}$;
- V_0 : volume di CO_2 standardizzato, espresso in millimetri;
- 0,0044655: equivalente gas-volumetrico;
- M : massa del campione di suolo utilizzato per l'analisi, espressa in grammi.

3.3.4 Capacità di scambio cationico (CSC) con bario cloruro e trietanolammina.

Il campione di suolo è stato mono-saturato con bario per ripetuti trattamenti con soluzione di bario cloruro tamponata a pH 8,2. Dopodiché, al campione saturato con bario è stata aggiunta più volte una soluzione di magnesio solfato. La reazione ha portato alla formazione di bario solfato insolubile e quindi, allo scambio completo Ba/Mg. L'eccesso di magnesio in soluzione è stato determinato mediante titolazione. Determinata la quantità di magnesio adsorbito, che corrisponde alla quantità di bario scambiato, è stato calcolato il valore della capacità di scambio cationico.

Reagenti impiegati:

- Soluzione di bario cloruro a pH 8.2;
- Soluzione ($5 \text{ cmoli} \cdot \text{L}^{-1}$) di magnesio solfato;
- Soluzione di ammonio idrossido;
- Soluzione ($1 \text{ mole} \cdot \text{L}^{-1}$);
- Soluzione ($2,5 \text{ cmoli} \cdot \text{L}^{-1}$) di sale bisodico dell'acido etilendiamminotetracetico (EDTA);
- Soluzione tampone a pH 10;
- Indicatore.

Materiali e strumenti utilizzati:

- Bilancia di precisione pari a 0,01 g;
- Cucchiaino metallico di precisione;
- Agitatore meccanico;
- Centrifuga a $3000 \text{ giri} \cdot \text{minuto}^{-1}$;
- Cilindro graduato per bario cloruro;
- Tubo da centrifuga per i campioni con tappo a vite (uno per campione);
- Beuta da 250 mL (una per ogni campione);
- Pipetta Pasteur;
- Cilindro da 30 mL per acqua distillata;
- Agitatore magnetico con ancoretta;
- Buretta per la titolazione.

Procedimento:

Per prima cosa è stato pesato il tubo da centrifuga con il tappo ed è annotato il peso, dopodiché sono stati inseriti 2 grammi di campione ed è stato ripesato il tutto. Nel tubo sono stati aggiunti 25 mL di soluzione di bario cloruro mediante cilindro graduato, dopodiché è stato agitato per un ora e messo a centrifugare. Tolto il tubo dalla centrifuga è stato estratto e scartato il surnatante.

Tale trattamento è stato ripetuto per altre due volte, dopodiché al tubo da centrifuga sono stati aggiunti con cilindro graduato 30 mL di acqua distillata, e sono state ripetute le fasi di agitazione, centrifugazione e scarto del surnatante. A questo punto è stato nuovamente pesato il tubo contenente il campione con il tappo, ed è stato annotato il peso. Sono stati poi aggiunti al tubo 30 mL di soluzione di magnesio solfato usando la pipetta, è stato messo in agitazione per due ore e infine centrifugato.

Dopo aver preparato il campione, si è effettuata una prova in bianco, mettendo in una beuta 100 mL di acqua distillata, 10 mL di magnesio solfato, 10 mL di soluzione tampone a pH 10 e una puntina di spatola di indicatore. La beuta è stata poi posta sull'agitatore magnetico ed è stato aperto il rubinetto per far scendere la soluzione di EDTA fino a viraggio della soluzione (viraggio netto da rosa ad azzurro).

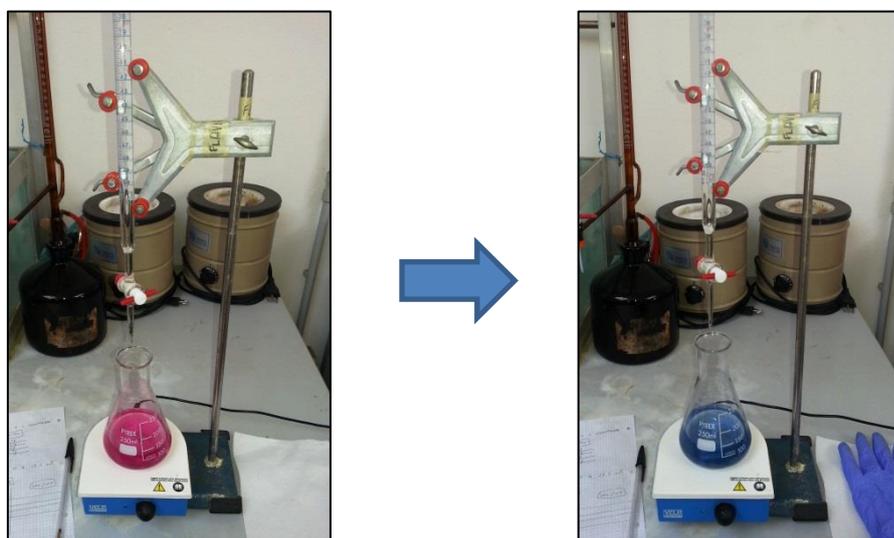


Figura 3.6 e 3.7 - Viraggio della soluzione da rosa (sinistra) ad azzurro (destra) durante la titolazione.

L'abbassamento del livello della soluzione nella buretta è stato preso come riferimento per i valori ottenuti dalle prove con i campioni in quanto, questi ultimi, dovevano risultare minori del valore mostrato dal bianco per essere ritenuti validi.

Per la titolazione dei campioni sono stati prelevati 10 mL di surnatante dal tubo e trasferiti in beuta da 250 mL, sono stati aggiunti ad essa 100 mL di acqua distillata, 10 mL di soluzione tampone a pH 10 e una puntina di spatola di indicatore dopodiché si è titolato con la soluzione di EDTA.

I risultati dell'analisi sono poi stati espressi in $\text{cmoli} \cdot \text{Kg}^{-1}$, con una cifra decimale, mediante la seguente formula:

$$CSC = \frac{(Vb - Vt) * 0,25 * (25 + B + A)}{m} * 2$$

dove:

CSC: è la capacità di scambio cationico espressa in $\text{cmoli} \cdot \text{Kg}^{-1}$;

Vt: è il volume di titolante usato per la titolazione del campione (mL);

Vb: è il volume di titolante usato per la titolazione del bianco (mL);

A: è la massa del tubo da centrifuga + il campione (g);

B: è la massa del tubo da centrifuga + il campione dopo il lavaggio con acqua (g);

M: è la massa del campione.

3.3.5 Acidità di scambio

L'acidità di scambio è stata ottenuta titolando con sodio idrossido un aliquota dell'estratto di suolo in soluzione di potassio cloruro. Il metodo è stato applicato con successo ai suoli con $\text{pH} < 6.5$.

Reagenti impiegati:

- Soluzione ($1 \text{ moli} \cdot \text{L}^{-1}$) di potassio cloruro (KCl);
- Soluzione etanolica di fenolftaleina (indicatore);
- Soluzione ($5 \text{ cmoli} \cdot \text{L}^{-1}$) di sodio idrossido (NaOH).

Materiali e strumenti utilizzati:

- Bilancia di precisione pari a 0,01 g;
- Cucchiaino metallico di precisione;
- Agitatore meccanico;
- Centrifuga a $3000 \text{ giri} \cdot \text{minuto}^{-1}$;
- Tubo da centrifuga con tappo a vite da 50 mL (uno per campione)
- Pipetta da 10 mL per il potassio cloruro;

- Beuta da 250 mL;
- Agitatore magnetico con ancoretta;
- Buretta per la titolazione.

Procedimento:

Posizionando il tubo da centrifuga sulla bilancia, sono stati trasferiti 5 grammi di campione di terra fine al suo interno, dopodiché sono stati aggiunti mediante pipetta 20 mL di soluzione di potassio cloruro. Il tubo è stato agitato per trenta minuti, successivamente centrifugato e infine la soluzione al suo interno è stata trasferita in una beuta da 250 mL. Sono stati nuovamente aggiunti al campione 20 mL di soluzione di potassio cloruro, il tubo messo in agitazione per trenta minuti e in seguito centrifugato. La soluzione al suo interno è stata trasferita tramite pipetta nella stessa beuta da 250 mL. L'operazione è stata ripetuta una terza volta dopodiché agli estratti di potassio cloruro sono state aggiunte alcune gocce di soluzione etanolica di fenolftaleina e si è proceduto alla titolazione con la soluzione di NaOH fino a colorazione rosa.

I risultati delle analisi sono stati espressi in $\text{cmoli} \cdot \text{Kg}^{-1}$ con una cifra decimale, mediante la seguente formula:

$$AS = \frac{Va * [NaOH]}{M}$$

dove:

AS: è l'acidità di scambio, espressa in $(\text{cmoli} \cdot \text{Kg}^{-1})$;

Va: è il volume della soluzione di NaOH utilizzato per la titolazione della soluzione del campione, (mL);

[NaOH]: concentrazione della soluzione di NaOH $(\text{cmoli} \cdot \text{Kg}^{-1})$;

M: massa del campione (g).

3.3.6 Determinazione della granulometria per setacciatura ad umido e sedimentazione (metodo della pipetta)

La determinazione della granulometria si è basata sul prelievo della sospensione delle particelle con $\varnothing < 200\mu\text{m}$ a diverse profondità e tempi, in base al tempo di decantazione delle diverse frazioni fini (limo e argilla). Il tempo per il prelievo delle diverse frazioni durante la fase di decantazione è dipeso dalla temperatura dell'acqua in cui sono stati immersi i cilindri contenenti la soluzione, dalla profondità e dalla massa volumica reale delle particelle (ricavabile dalla legge di Stokes in cui si sostituisce la velocità con il rapporto spazio/tempo)

Reagenti impiegati:

- Soluzione ($50\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$) di sodio esametafosfato.

Materiali e strumenti utilizzati:

- Bottiglie di plastica a doppio tappo da almeno 300 mL;
- Bilancia di precisione pari a 0,01 grammi;
- Cucchiaino di precisione;
- Agitatore meccanico;
- Pipetta da 10 mL per esametafosfato di sodio;
- Cilindro graduato da 250 mL per acqua distillata;
- Cilindro graduato da 500 mL per dispersione campione;
- Setacci con maglia da $53\ \mu\text{m}$;
- Imbuto;
- Spruzzetta con acqua distillata;
- Lenti di orologio;
- Vasca per il posizionamento dei cilindri con campione disperso;
- Pipetta da 10 mL per estrazione del campione;
- Bacchetta per agitazione delle colonne;
- Cronometro;
- Righello;
- Capsule di porcellana per la raccolta dell'estratto;
- Stufa per l'essiccazione dei campioni.

Procedimento:

Prima di iniziare la procedura di determinazione della granulometria è stata eliminata la sostanza organica attraverso ripetuti trattamenti con soluzione di idrogeno perossido (30 mL di acqua distillata + 30 mL di H₂O₂).



Figura 3.8 - Reazione di ossidazione della sostanza organica.

Posizionando poi la bottiglia di plastica sulla bilancia, sono stati trasferiti 20 grammi di campione così trattato al suo interno. Dopo essere stato annotato il peso si sono aggiunti 10 mL di soluzione di esametafosfato usando la pipetta, e 250 mL di acqua distillata tramite il cilindro graduato. Le bottiglie una volta tappate sono state poste in agitatore per 12 ore. Terminata l'agitazione si è proceduto con la setacciatura ad umido per la selezione della sabbia. In particolare è stato messo l'imbuto sopra il cilindro e il setaccio nell'imbuto. Il contenuto della bottiglia è stato versato sopra il setaccio avendo cura di ripulire bene la bottiglia con acqua distillata, in modo tale da non perdere del campione.



Figura 3.9 - Fase di setacciatura ad umido.

Il setaccio (che ha trattenuto la sabbia) è stato posto sulla sua base e messo in stufa a 50 gradi fino a completa asciugatura (12-16 ore), dopodiché il contenuto è stato separato e pesato su bilancia analitica a quattro cifre decimali e annotato. Successivamente si è passati alla fase di prelievo di limo e argilla, nella fattispecie, le colonne sono state portate a 500 mL con acqua distillata e posizionate all'interno della vasca di cui si è rilevata la temperatura.



Figura 3.10 - Posizionamento dei cilindri nella vasca.

Sono stati utilizzati gli appositi diagrammi per calcolare, in base alla temperatura, la profondità e il tempo di attesa per il prelievo di limo fine più argilla e poi per l'argilla. Sulla pipetta da 10 mL è stato segnato con un pennarello indelebile la profondità di prelievo. A questo punto con la bacchetta si è agitato per un minuto esatto il contenuto del cilindro, e si è atteso il tempo calcolato con i diagrammi per il prelievo di delle due aliquote. Il prelievo è stato effettuato inserendo la pipetta fino alla profondità segnata in precedenza con il pennarello, facendo attenzione a non disturbare eccessivamente la sospensione del cilindro. Il contenuto è stato versato nella capsula di ceramica e portato a essiccare in stufa a 105°C fino a completa asciugatura. Le due frazioni sono state infine pesate su bilancia analitica.

Il calcolo delle percentuali di sabbia, limo e argilla è stato effettuato come segue:

$$\% \text{ Sabbia} = \frac{\text{peso sabbia}}{\text{peso campione}} * 100$$

$$\% \text{ Argilla} = \frac{[(\text{peso argilla} * 50) - \text{peso esametfosfato}]}{\text{peso campione}} * 100$$

$$\% \text{ Limo fine} = \left\{ \frac{[(\text{peso limo fine pi\`u argilla} * 50) - \text{peso esametfosfato}]}{\text{peso campione}} * 100 \right\} \\ - \% \text{ argilla}$$

$$\% \text{ Limo grossolano} = 100 - \% \text{ sabbia} - \% \text{ limo fine} - \% \text{ argilla}$$

3.4 Descrizione dell'apparato sperimentale per la determinazione del QBS

Come detto in precedenza i campioni sono stati divisi in due aliquote, una per le analisi chimico-fisiche ed una per la determinazione del QBS. Per quest'ultima si è prelevato un cubo di circa 10 centimetri di lato, che è stato posto in un apparato denominato estrattore di Berlese-Tullgren modificato, per l'estrazione dei micrcoartropodi (mesofauna) del suolo.

Tale metodo si base sull'applicazione al campione di uno stimolo fisico, nella fattispecie una fonte di luce e calore, per guidare gli invertebrati in un recipiente di raccolta (Bater, 1996). Questo principio sfrutta la reazione di fuga della pedofauna dalla luce e dal progressivo essiccamento provocato da una lampadina ad incandescenza, posta pochi centimetri sopra il campione di suolo. Tale reazione è dovuta al fatto che la gran parte della mesofauna del suolo predilige ambienti umidi e con scarsa illuminazione, perciò

tali organismi tenderanno a fuggire dalla luce e dall'essiccamento provocati dalla lampadina, fino ad oltrepassare le maglie del setaccio che sorregge il suolo e a cadere infine nel contenitore posto sotto l'imbuto. Il materiale raccolto all'interno del contenitore prende il nome di selettura.

Nel dettaglio, il campione di suolo viene posto, al di sopra di una griglia metallica a maglia di 2 millimetri facendo attenzione a non alterarne le condizioni. Durante questa fase è stato posizionato un foglio di carta al di sotto dell'imbuto, in modo da raccogliere l'eventuale campione disperso e rimetterlo sopra il setaccio.

La griglia è posizionata all'interno di un imbuto, il quale è stato poi collocato su un apposito sostegno in legno che sorregge anche la lampadina. L'imbuto confluisce in un contenitore in plastica contenente una soluzione di alcool etilico al 75%. La parte in cui l'imbuto confluisce nel contenitore è stata opportunamente avvolta con della pellicola in modo tale da evitare l'evaporazione della soluzione di alcool.

Al termine della sistemazione è stata accesa la lampada ad incandescenza a bulbo chiaro da 40 Watt, posta a circa 15 centimetri dall'imbuto, la quale è stata lasciata accesa per tutta la durata dell'estrazione.

La struttura è stato posizionata in un luogo il più possibile indisturbato, per ridurre la caduta di suolo all'interno del contenitore per la selettura.

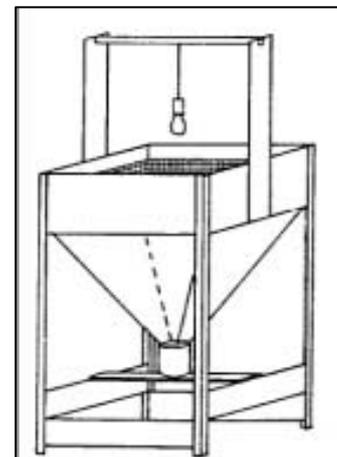


Figura 3.11 - Estrattore Tullgren-Berlese modificato (Matthey et al., 1992).



Figura 3.12 - Apparato sperimentale per la raccolta della fauna del suolo.

Il tempo necessario per l'estrazione della mesofauna del suolo varia in funzione di diversi fattori quali la tipologia di suolo, lo spessore del campione e l'umidità .

Parisi (1974) sostituendo periodicamente il contenitore posto sotto il selettore fino alla completa caduta della fauna, ha costruito una curva di caduta della pedofauna mostrando che esiste un tempo di estrazione minimo ottimale, stimato in circa 20-22 giorni, oltre al quale non si hanno apprezzabili variazioni in termini quantitativi.

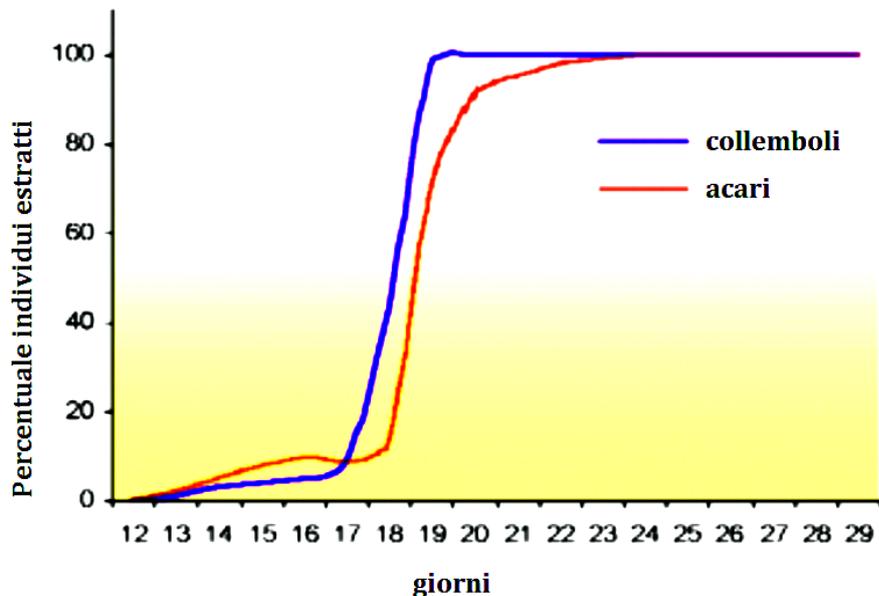


Grafico 3.1 - Comportamento di Collemboli e Acari durante l'estrazione con selettore di Tullgren-Berlese (Parisi, 1974 modificato)

Sulla base di tali osservazioni l'esperimento di questo studio è stato fatto proseguire per 22 giorni, dal 18/06/2014 al 10/07/2014.

Terminata la raccolta, la selettura è stata etichettata ed i vari campioni sono stati analizzati mediante microscopio ottico digitale per il riconoscimento della mesofauna edafica.



Figura 3.13 - Riconoscimento della mesofauna mediante microscopio digitale.

Per il QBS-ar non è necessario spingersi ad un livello di classificazione tale da riconoscere la specie dell'invertebrato, è sufficiente utilizzare delle chiavi dicotomiche semplificate ed illustrate (appendice 6.4), che consentano il riconoscimento della pedofauna con strumentazioni non costose e conoscenze non necessariamente specializzate nel campo.

Tale procedimento è stato svolto utilizzando una pipetta Pasteur per il prelievo della sospensione, la quale è stata posta su vetrino ed analizzata attraverso un microscopio ottico collegabile al computer.

La classificazione è avvenuta mediante le chiavi dicotomiche semplificate e le tavole iconografiche impiegate dall'Arpa Piemonte, pubblicate nel manuale dal titolo "Tecniche di biomonitoraggio della qualità del suolo" (2002).

4. RISULTATI E DISCUSSIONE

4.1 Classificazione delle forme di humus

Attualmente ci sono due principali sistemi di classificazione per le forme di humus, uno canadese (Green et al., 1993) ed uno francese (AFES, 2008; Jabiol et al., 1995).

Gli studi condotti dal Centro di Ecologia Alpina di Trento (Calabrese et al., 1997) allo scopo di confrontare i due sistemi di classificazione, suggeriscono che quello francese del Référentiel Pédologique (AFES, 2008) si adatti meglio all'ambiente forestale italiano rispetto a quello canadese, motivo per cui nel presente studio si è fatto riferimento a tale metodo.

Ciascuna forma di humus corrisponde ad una determinata sequenza di orizzonti superficiali, che si presentano in una certa sequenza e con determinate caratteristiche, lungo il profilo del suolo. Per la classificazione delle varie forme di humus si esamina l'episolum umifero, che consiste nell' "Insieme degli orizzonti superiori di un suolo contenenti sostanza organica, la cui organizzazione dipende essenzialmente dall'attività biologica" (AFES, 1995).

Esso è formato generalmente dagli orizzonti ologranici (OL, OF e OH), situati sulla superficie del suolo e costituiti principalmente da residui vegetali e animali in vario stato di decomposizione, e da orizzonti organo-minerali (A), situati sotto gli orizzonti organici e caratterizzati da una mescolanza variabile di materiale organico e minerale.

Questi rappresentano gli orizzonti diagnostici per l'identificazione delle varie forme di humus secondo il sistema di classificazione francese. Esso si basa sul principio che la morfologia di una forma di humus rispecchia i processi biologici e chimico-fisici che l'hanno generata.

Nella fattispecie per la classificazione si procede in due fasi:

- 1) Si riconosce la struttura dell'orizzonte A e del limite tra quest'orizzonte e il sovrastante orizzonte organico;
- 2) Si valuta la presenza, la successione e lo spessore degli orizzonti ologranici.

Tali step sono stati ripercorsi attraverso la "Chiave di determinazione delle principali forme di humus areate" del Référentiel Pédologique (AFES, 2008) riportata in Figura 3.14.

CLÉ DE DÉTERMINATION DES PRINCIPALES FORMES D'HUMUS AÉRÉES FORESTIÈRES

(ne convient pas aux formes engorgées ou sans terre fine minérale ; voir également clé simplifiée page suivante)

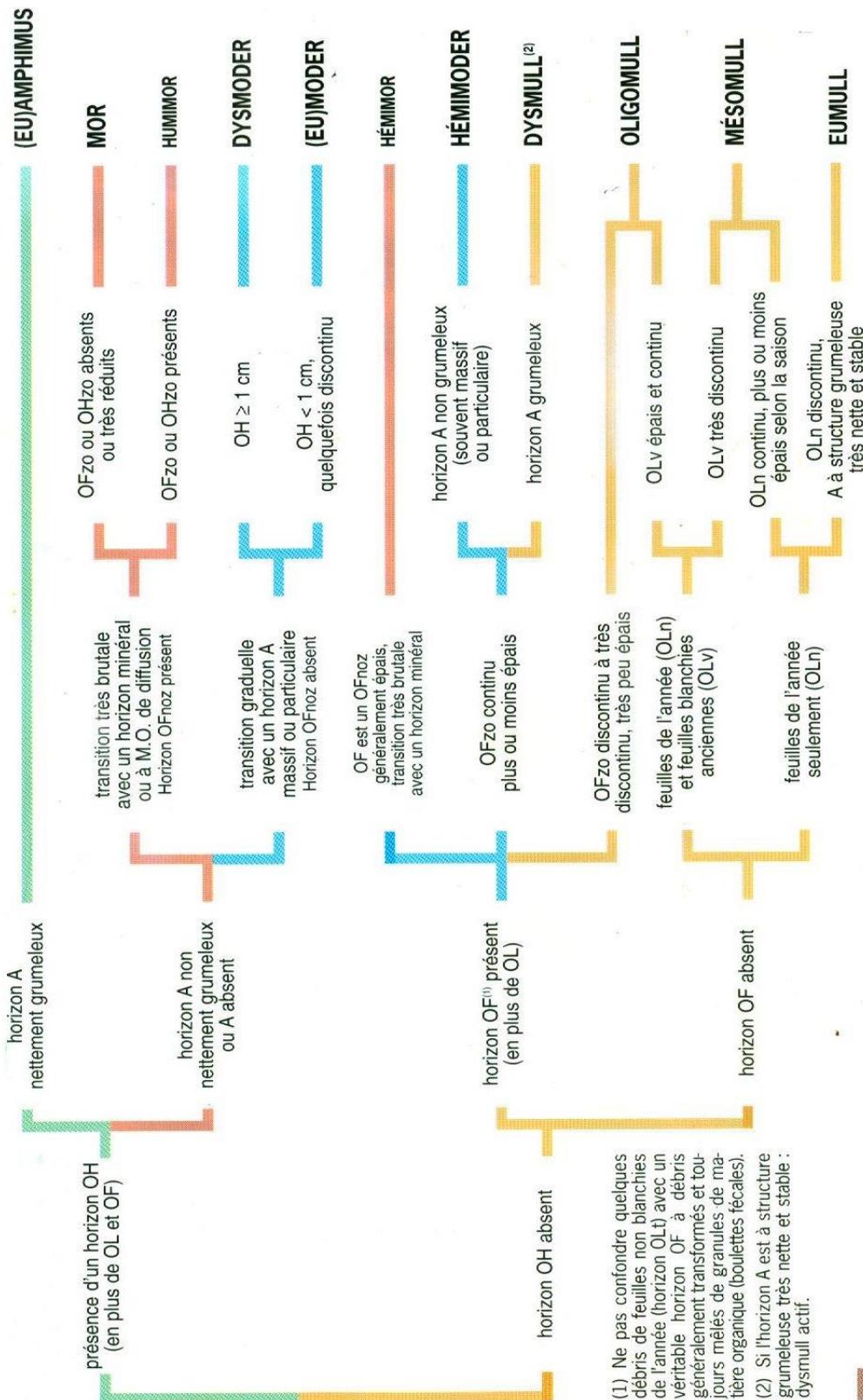


Figura 3.14 - Chiave di determinazione delle principali forme di humus aeree secondo il Référentiel Pédologique (Jabiol et al., 2007).

Osservando la chiave riportata in Figura 3.14 si possono distinguere quattro principali categorie di humus, disposte lungo un ipotetica linea di evoluzione come riportato in Fig. 3.15. Il MULL rappresenta la forma di humus più evoluta, biologicamente più attiva, caratterizzata da pH, attività della pedofauna, contenuto di nutrienti e qualità della lettiera elevati. Il MODER rappresenta una forma intermedia tra il MULL e la forma meno attiva, ovvero il MOR. L'AMPHIMUS è considerata una forma di humus a parte che presenta caratteristiche dei MULL e dei NON MULL.

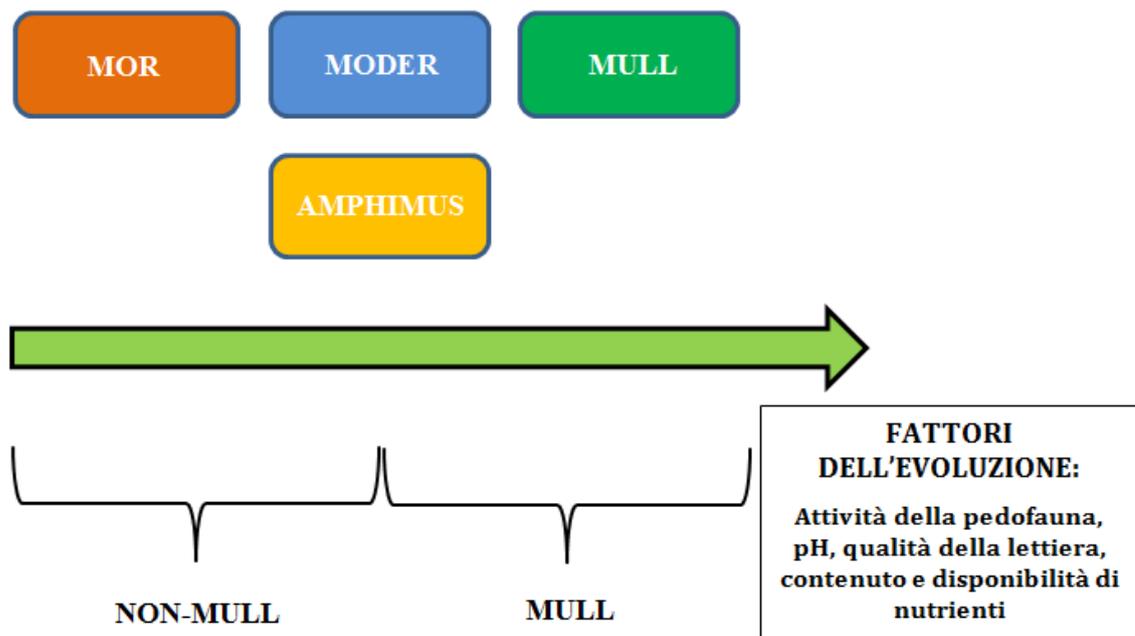


Figura 3.15 - diagramma "d'evoluzione" delle forme di humus.

4.1.1 Descrizione morfologica delle forme di humus dei sei siti studiati

Stazione C1:

Il primo sito presenta una differenziazione dell'*episolum* umifero in orizzonti OL, OF ed A, come riportato in Figura 4.1.



Figura 4.1 - Suddivisione in orizzonti dell'*episolum* umifero del sito C1.

L'assenza dell'orizzonte ologranico OH permette di escludere la presenza di una forma di humus di tipo mor ed indirizza verso forme più evolute. L'orizzonte OF è sempre presente e continuo, con uno spessore contenuto (circa 1 cm). L'orizzonte organo-minerale presenta una struttura grumosa e l'orizzonte viene quindi definito biomacrostrutturato, ovvero costituito in gran parte da coproliti di lombrichi.

Ciò permette di classificare questa forma di humus come dysmull (dys=difficile, mal funzionante). Il dysmull è la forma conclusiva della serie dei mull, infatti la presenza di un orizzonte OF sottolinea un rallentamento nella trasformazione della lettiera rispetto alle forme più evolute.

Inoltre la natura grumosa dell'orizzonte organo-minerale porta a distinguerla in un forma di dysmull attivo che evidenzia la transizione verso una forma di amphimus.

Va sottolineato che gli orizzonti ologranici presentano uno spessore piuttosto ridotto, ciò può essere ricondotto al periodo in cui è stato effettuato il prelievo. Infatti, nel mese di Giugno è presumibile che la degradazione della lettiera dell'autunno precedente sia già ad uno stadio considerevolmente avanzato, anche in virtù del clima mite della zona e della costante disponibilità idrica, tali da favorire l'attività della fauna decompositrice .

Stazione C2:

Il secondo sito presenta una differenziazione dell'*episolum* umifero in orizzonti OL, OF, OH ed A, come riportato in Figura 4.2.



Figura 4.2 - Suddivisione in orizzonti dell'*episolum* umifero del sito C2.

In questo profilo è presente l'intera successione degli orizzonti ologranici, il che esclude subito la presenza di una forma di humus di tipo mull.

La loro ridotta estensione in senso verticale ne ha però reso piuttosto complesso il riconoscimento. Tali dimensioni possono essere imputabili ad un insieme di cause, *in primis* essendo nel periodo estivo la fase di decomposizione è già piuttosto avanzata, inoltre le temperature mai troppo rigide e la disponibilità d'acqua favoriscono l'attività dei vari gruppi di decompositori del suolo (oltre che artropodi e lombrichi sono stati osservati anche miceli fungini biancastri).

Nell'orizzonte OF la sostanza organica risulta essere piuttosto frammentata e sminuzzata, nonostante ciò rimangono riconoscibili i residui vegetali, mescolati a quantità variabile di materiale fine. Scendendo nell'orizzonte OH i residui vegetali riconoscibili ad occhio nudo risultano sempre meno (<30%), lasciando spazio a una percentuale crescente di sostanza organica fine (>70%). Ciò è percepibile anche al tatto, infatti tale orizzonte presenta una consistenza debole e feltrosa indice di una notevole presenza di residui vegetali e frammenti legnosi decisamente sminuzzati.

Nell'orizzonte organo-minerale sono presenti aggregati di dimensioni variabili, che conferiscono all'orizzonte una struttura grumosa, costituita in gran parte da coproliti di lombrichi, che portano a classificare tale orizzonte come biomacrostrutturato.

Tali caratteristiche portano a definire una forma di humus del tipo amphimus per questo profilo. Questa è una forma di humus con caratteristiche intermedie tra i mull e i moder, infatti il prefisso amphi (=doppio) sottolinea questa duplice natura.

Tale forma può essere infatti riconducibile a forme più evolute per la presenza di un orizzonte A biomacrostrutturato ed allo stesso tempo a forme meno evolute per la presenza della sequenza completa degli orizzonti organici.

Le motivazioni che portano a questo duplice funzionamento non sono ancora del tutto chiare.

Tuttavia ricordando che questa potrebbe essere una zona di neoformazione in cui è avvenuta una ricolonizzazione dei prati-pascoli ad opera di un orno-ostrieto, si può ipotizzare che l'amphimus rappresenti una forma di evoluzione regressiva di un mull verso una forma meno evoluta quale moder, dovuta al cambiamento delle condizioni ambientali (aumento della copertura arborea, aumento e accumulo della lettiera ecc.).

Stazione C3:

Il terzo sito presenta una differenziazione dell'*episolum* umifero in un orizzonti OL, OF ed A, come riportato in Figura 4.3.

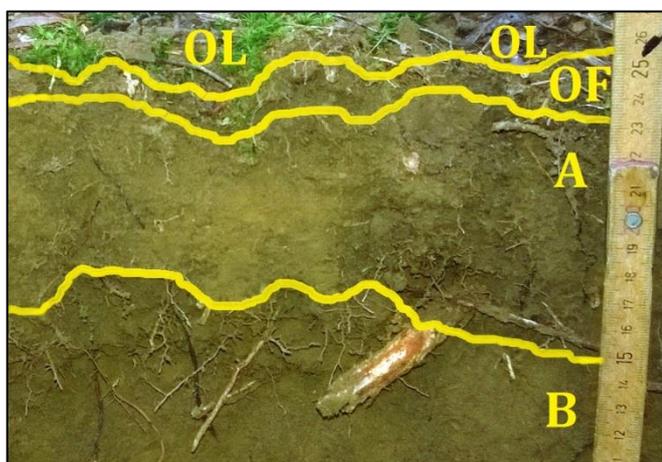


Figura 4.3 - Suddivisione in orizzonti dell'*episolum* umifero del sito C3.

L'assenza dell'orizzonte ologranico OH permette di escludere la presenza di una forma di humus di tipo mor ed indirizza verso forme più evolute.

Gli orizzonti organici sono poco spessi, in particolare l'orizzonte OL risulta essere particolarmente scarso e discontinuo. L'esigua quantità di lettiera presente nel

soprasuolo è dovuta alla quasi assenza di sottobosco e alla rapida degradazione del materiale fogliare da parte della pedofauna.

Nonostante ciò è presente, anche se in maniera non del tutto continua, un orizzonte OF con uno spessore variabile tra 1 e 2 cm. Esso è caratterizzato dalla presenza di materiale organico frammentato ancora riconoscibile (in prevalenza foglie di faggio e materiale legnoso sminuzzati) e materiale fine non molto abbondante. L'orizzonte organo-minerale presenta una struttura grumosa che porta a classificarlo come un orizzonte biomacrostrutturato, ovvero costituito in gran parte da coproliti di lombrichi.

Tali caratteristiche portano a definire una forma di humus del tipo dysmull (dys=difficile, mal funzionante), che come detto in precedenza rappresenta la forma conclusiva della serie dei mull, in quanto la presenza dell'orizzonte OF sottolinea un rallentamento nella trasformazione della lettiera rispetto alle forme più evolute.

Infatti nonostante la velocità nella trasformazione dell'orizzonte OL, è ben evidente l'accumulo di materiale frammentato nell'orizzonte OF.

Stazione C4:

Il quarto sito presenta una differenziazione dell'*episolum* umifero in orizzonti OL ed A, come riportato in Figura 4.4.



Figura 4.4 - Suddivisione in orizzonti dell'*episolum* umifero del sito C4.

Anche in questo caso, l'assenza dell'orizzonte ologranico OH permette di escludere la presenza di una forma di humus di tipo mor ed indirizza verso forme più evolute.

In questo sito la lettiera risulta particolarmente scarsa, anche se non a livello della precedente stazione. Gli orizzonti organici sono scarsamente rappresentati con la presenza del solo orizzonte OL. Questo si presenta in maniera piuttosto discontinua sulla

superficie del suolo con uno spessore variabile tra 0 e 2 cm. I residui vegetali sono ancora facilmente riconoscibili in quanto poco modificati e scarsamente frammentati, il che suggerisce si tratti di un OLn (n indica la lettiera nuova, di apporto recente).

Al di sotto dell' OLn è presente un orizzonte organo-minerale biomacrostrutturato con una struttura grumosa piuttosto evidente, costituita da coproliti di lombrichi più o meno trasformati. Tali agglomerati risultano piuttosto fragili dato il carattere sabbioso di questo suolo. Il passaggio tra OLn ed A è decisamente brusco, mancano infatti orizzonti di tipo OF ed OH, che indica una decomposizione e trasformazione della sostanza organica particolarmente rapida e quindi condizioni ottimali per la pedofauna (in particolare lombrichi).

Tali caratteristiche permettono di identificare questa forma di humus come un eumull (eu=buono) che rappresenta la forma iniziale della serie dei mull, caratterizzata generalmente da un rapido ciclo biogeochimico degli elementi e una buona disponibilità di tali elementi per le piante.

Stazione C5:

Il quinto sito presenta una differenziazione dell'*episolum* umifero in un orizzonti OL, OF, OH ed A, come riportato in Figura 4.5.



Figura 4.5 - Suddivisione in orizzonti dell'*episolum* umifero del sito C5.

In questo profilo è presente l'intera successione degli orizzonti ologranici, il che esclude subito la presenza di una forma di humus di tipo mull.

La loro discreta estensione (circa 2 cm ciascuno), al contrario di quanto avvenuto nel sito 2, ne ha permesso un'identificazione relativamente agevole.

In questa situazione la copertura vegetale di peccio ha verosimilmente giocato un ruolo cruciale nel rallentamento della decomposizione della sostanza organica, dovuto ad una lettiera non così appetibile per gli organismi decompositori come nei casi precedenti.

Procedendo dall'orizzonte OL all'OH si osserva un graduale e costante aumento nella frammentazione e decomposizione della lettiera, nonché un conseguente aumento della materia fine. Sotto l'orizzonte OH si trova un strato in cui vi è la mescolanza tra la sostanza organica e quella minerale senza la formazione di legami tra i due tipi di materiali, che risultano semplicemente "giustapposti". La classificazione di questo orizzonte non è molto facile ma nel caso di suoli sabbiosi come in questo caso la giustapposizione tra i due elementi risulta più evidente. Inoltre lo spessore dell'orizzonte OH (circa 2 cm) ed il passaggio graduale tra quest'ultimo e il sottostante orizzonte minerale portano a definire con certezza una forma di humus del tipo dysmoder. L'ambiente in cui si forma un dysmoder (suoli decarbonatati o acidi, e bassa appetibilità della lettiera), non favorisce la vita dei vermi anecici ed ipogei, perciò la trasformazione della lettiera in queste condizioni avviene perlopiù ad opera di artropodi (acari, collemboli, ditteri ecc.) e vermi epigei. Ciò si traduce in una ridotta efficienza nella degradazione della lettiera che fa sì che, a differenza delle forme di humus più evolute, nei moder si formino sempre gli orizzonti OL, OF ed OH.

Stazione C6:

Il sesto sito presenta una differenziazione dell'*episolum* umifero in un orizzonti OL ed A, come riportato in Figura 4.6.



Figura 4.6 - Suddivisione in orizzonti dell'*episolum* umifero del sito C6.

L'ultima stazione campionata, a differenza delle precedenti, non presenta una copertura forestale bensì una copertura esclusivamente erbacea (prato da sfalcio).

L'assenza degli orizzonti organici OH ed OF guida subito l'identificazione verso delle forme di humus decisamente evolute quali i mull.

L'unico orizzonte organico presente, l'OL, si presenta in maniera continua sulla sommità del suolo, con un spessore costante di circa due centimetri. Esso può essere identificato con maggior dettaglio in un OLn, data la presenza di residui vegetali di apporto recente e facilmente riconoscibili (foglie e piccole radici di piante erbacee).

Al di sotto dell'OLn è presente un orizzonte organo-minerale biomacrostrutturato con una struttura grumosa fine in cui, rispetto all'eumull visto in precedenza, appare meno accentuata l'attività biologica dei lombrichi che si traduce in una minor riconoscibilità dei coproliti. Tali agglomerati risultano piuttosto fragili dato il carattere sabbioso di questo suolo. Il passaggio tra OLn ed A è decisamente brusco, mancano infatti orizzonti di tipo OF ed OH, che indica una decomposizione e trasformazione della sostanza organica piuttosto rapida e quindi condizioni ottimali per la pedofauna.

Tali caratteristiche permettono di identificare questa forma di humus come un mèsomull (mèso=medio) che si colloca nella parte iniziale della serie dei mull, caratterizzata generalmente da un rapido ciclo biogeochimico degli elementi e una buona disponibilità di tali elementi per le piante.

4.2 Risultati delle analisi chimico-fisiche

Per la valutazione dei risultati ottenuti, si è fatto particolare riferimento alla sezione “Specifiche delle proprietà e qualità dei suoli” del manuale “Metodi di valutazione dei suoli e delle terre” (MIPAAF, 2006).

4.2.1 pH

I valori di pH e le rispettive valutazioni, sono riportati in Tabella 1.1.

Tabella 4.1 - Valori di pH e valutazione dei risultati.

SITO	ORIZZONTE	pH	VALUTAZIONE
C1	O	5,12	Moderatamente acido
	A	5,06	Moderatamente acido
	B	5,13	Moderatamente acido
C2	O	5,61	Moderatamente acido
	A	5,71	Moderatamente acido
	B	6,53	Debolmente acido
C3	O	5,17	Moderatamente acido
	A	5,09	Moderatamente acido
	B	5,33	Moderatamente acido
C4	O	6,39	Debolmente acido
	A	6,34	Debolmente acido
	B	6,45	Debolmente acido
C5	O	6,7	Neutro
	A	6,77	Neutro
	B	6,81	Neutro
C6	O	7,32	Neutro
	A	7,46	Debolmente alcalino
	A/C	7,46	Debolmente alcalino

I pH nei suoli analizzati variano da livelli moderatamente acidi, prossimi alle 5 unità, nei siti C1, C2 e C3, fino a livelli debolmente alcalini nel sito C6, in cui è forte l'influenza del substrato calcareo prossimo alla superficie e dell'abbondante scheletro fine (sempre di matrice calcarea).

È interessante notare come nei siti C1 e C2 il pH risulti moderatamente acido nonostante il substrato carbonatico. Ciò è presumibilmente imputabile alle abbondanti piogge presenti nella zona che provocano la perdita delle basi di scambio per lisciviazione.

Tuttavia, come si può osservare nei valori del sito C2 (caratterizzato da un profilo meno esteso e più prossimo al substrato roccioso rispetto al sito C1), la natura del substrato carbonatico si rimaniesta con un aumento del pH in prossimità della roccia madre.

4.2.2 Carbonio organico totale (TOC)

I valori di carbonio organico totale rilevati negli orizzonti superficiali (sui quali si valuterà il carbon stock potenziale) e le relative valutazioni, sono riportati in tabella 4.2.

Tabella 4.2 - Contenuto di carbonio organico e valutazione dei risultati.

SITO	ORIZZONTE	C (g/kg)	C(%)	OM (g/kg)	VALUTAZIONE C (%)
C1	O	160,7	16,1	277,0	Molto elevato
	A	89,1	8,9	153,5	Molto elevato
C2	O	151,1	15,1	260,5	Molto elevato
	A	80,86	8,1	139,4	Molto elevato
C3	O	151,1	15,1	260,5	Molto elevato
	A	72,82	7,3	125,5	Molto elevato
C4	A	80,9	8,1	139,4	Molto elevato
C5	O	190,6	19,1	328,7	Molto elevato
	A	57,2	5,7	98,6	Molto elevato
C6	A	57,2	5,7	98,6	Molto elevato

I risultati di laboratorio mostrano un contenuto di sostanza organica molto elevato in tutti i campioni analizzati. Inoltre, come ci si attendeva, il suolo degli orizzonti ologranici mostra un contenuto di carbonio organico decisamente superiore rispetto a quello presente nei campioni degli orizzonti organo-minerali (nell'ordine di 2:1).

Attraverso il valore di carbonio organico è stato possibile stimare il contenuto di sostanza organica (OM) di questi orizzonti. Questo è un parametro importante poiché la materia organica influisce positivamente sulla capacità di scambio cationico, sul pH, sul contenuto di elementi nutritivi e sulla formazione e la stabilità del suolo.

Per convenzione si assume che la sostanza organica abbia un contenuto medio di carbonio organico pari al 58%, perciò è stato utilizzato il fattore 1,724 per trasformare il contenuto di carbonio organico in sostanza organica:

$$OM=TOC \times 1,724.$$

4.2.3 Calcare totale

Il contenuto di calcare totale riscontrato nei suoli analizzati è riportato in tabella 4.3

Tabella 4.3 - Contenuto di calcare e valutazione dei risultati.

SITO	ORIZZONTE	CALCARE (g/kg)	VALUTAZIONE
C1	O	2,7	Debolmente calcareo
	A	2,7	Debolmente calcareo
	B	2,7	Debolmente calcareo
C2	O	5,4	Moderatamente calcareo
	A	2,7	Debolmente calcareo
	B	10,9	Molto calcareo
C3	O	0,0	Non calcareo
	A	0,0	Non calcareo
	B	0,0	Non calcareo
C4	O	0,0	Non calcareo
	A	0,0	Non calcareo
	B	0,0	Non calcareo
C5	O	0,0	Non calcareo
	A	0,0	Non calcareo
	B	0,0	Non calcareo
C6	O	105,8	Estremamente calcareo
	A	141,1	Estremamente calcareo
	A/C	190,0	Estremamente calcareo

Com'era presumibile, il sito C6 caratterizzato da un substrato calcareo e da abbondante scheletro fine (di matrice calcarea) presenta il più alto contenuto di calcare, dimostrandosi un suolo estremamente calcareo. Le stazioni C1 e C2 caratterizzate da un substrato carbonatico con abbondante presenza di dolomia, mostrano degli orizzonti da debolmente calcarei a molto calcarei. Tra questi due siti, l'orizzonte caratterizzato dal maggior contenuto di calcare è lo stesso in cui, come visto nel paragrafo 4.2.1, il pH si alza notevolmente rispetto agli orizzonti soprastanti. Ciò è presumibilmente dovuto a un minor effetto di dilavamento in profondità e alla contiguità con la roccia madre, che influenza in maniera più marcata l'orizzonte profondo.

Infine le stazioni C3, C4 e C5, confermano la natura silicatica del loro substrato, non presentando alcuna presenza di calcare.

4.2.4 Capacità di scambio cationico

I valori relativi alla capacità di scambio cationico e le relative valutazioni sono riportate in Tabella 4.4.

Tabella 4.4 - Capacità di scambio cationico e valutazione dei risultati.

SITO	ORIZZONTE	CSC (cmol/kg)	VALUTAZIONE
C1	O	53,8	Molto Alta
	A	47,1	Alta
	B	48,2	Alta
C2	O	68,2	Molto Alta
	A	58,4	Molto Alta
	B	58,0	Molto Alta
C3	O	52,3	Molto Alta
	A	54,9	Molto Alta
	B	44,8	Alta
C4	O	52,6	Molto Alta
	A	48,6	Alta
	B	50,9	Molto Alta
C5	O	63,0	Molto Alta
	A	58,3	Molto Alta
	B	51,0	Molto Alta
C6	O	45,5	Alta
	A	42,9	Alta
	A/C	48,6	Alta

I valori di CSC risultano elevati in tutti i campioni analizzati. Non si riscontrano delle marcate differenze tra i vari suoli.

La CSC in un terreno è determinata in particolar modo dal pH e dal contenuto di sostanza organica e di minerali argillosi (in particolare quelli ricchi di sostituzioni isomorfe).

Data la modesta percentuale di argilla presente in questi suoli (Cap. 4.2.6) e pH mai eccessivamente acidi, si può presumere che gli elevati valori di CSC siano imputabili all'elevato contenuto di sostanza organica presente nei suoli (Cap. 4.2.2).

I suoli con elevati valori di CSC sono potenzialmente ricchi in elementi nutritivi e quindi potenzialmente fertili dal punto di vista chimico. Per ottenere tuttavia un'indicazione sulla reale fertilità, la CSC va rapportata al tasso di saturazione basica, un parametro che dipende essenzialmente dal pH del terreno. A tal proposito è stata analizzata anche l'acidità di scambio dei campioni per poter poi ricavare la percentuale di saturazione in basi.

4.2.5 Acidità di scambio e percentuale di saturazione in basi

L'acidità di scambio ottenuta per i campioni di suolo analizzati è riportata, assieme alla percentuale di saturazione in basi, alla CSC e alle valutazioni, in Tabella 4.5.

Tabella 4.5 – CSC, acidità di scambio, percentuale di saturazione in basi e valutazione dei risultati.

SITO	ORIZZONTE	pH	CSC (cmol/kg)	ACIDITÀ DI SCAMBIO (cmol/kg)	PERCENTUALE DI SATURAZIONE IN BASI (%)	VALUTAZIONE TSB
C1	O	5,12	53,8	23,5	56,3	Media
	A	5,06	47,1	19,7	58,2	Media
	B	5,13	48,2	21,3	55,8	Media
C2	O	5,61	68,2	23,4	65,7	Alta
	A	5,71	58,4	18	69,2	Alta
	B	6,53	58,0	14,2	75,5	Molto alta
C3	O	5,17	52,3	22,1	57,7	Media
	A	5,09	54,9	23,5	57,2	Media
	B	5,33	44,8	17,5	60,9	Alta
C4	O	6,39	52,6	16,4	68,8	Alta
	A	6,34	48,6	14,4	70,4	Alta
	B	6,45	50,9	14,1	72,3	Alta
C5	O	6,7	63,0	0	100,0	Molto alta
	A	6,77	58,3	0	100,0	Molto alta
	B	6,81	51,0	0	100,0	Molto alta
C6	O	7,32	45,5	0	100,0	Molto alta
	A	7,46	42,9	0	100,0	Molto alta
	A/C	7,46	48,6	0	100,0	Molto alta

I valori di acidità di scambio rilevati sono stati utilizzati per stimare la percentuale di saturazione basica (o tasso di saturazione in basi "TSB") attraverso la formula:

$$TSB = \frac{CSC - \text{Acidità di scambio}}{CSC} * 100$$

Il TSB è fortemente influenzato dai valori di pH del suolo, infatti i valori più bassi sono stati riscontrati nei terreni più acidi (stazione C1 e C3), nei quali il complesso di scambio viene saturato da ioni idrogeno ed alluminio; all'aumentare del pH si osserva, in linea generale, una crescita del TSB, indice di suoli in cui il complesso di scambio viene

saturato principalmente da basi (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+) caratteristica che conferisce maggior fertilità chimica ai suoli.

4.2.6 Granulometria

I valori percentuali delle frazioni di sabbia, limo ed argilla riscontrati nei suoli esaminati sono riportati in Tabella 4.6, assieme alla classe granulometrica determinata attraverso il triangolo tessiturale USDA (1993).

Tabella 4.6 - Granulometria e valutazione dei risultati mediante classificazione USDA (1993).

SITO	SABBIA (%)	LIMO (%)	ARGILLA (%)	TESSITURA
1	53,6	34,8	11,5	Franco sabbiosa
2	61,3	28,8	10,0	Franco sabbiosa
3	55,4	36,7	7,9	Franco sabbiosa
4	43,6	39,1	17,3	Franca
5	48,0	34,2	17,9	Franca
6	58,7	38,7	2,6	Franco sabbiosa

Tali risultati mostrano che i suoli analizzati hanno una granulometria che varia da franco sabbiosa a franca. I terreni franchi sono quelli con le caratteristiche più equilibrate dal punto di vista agronomico, in quanto una presenza di sabbia che va dal 25 al 50% circa garantisce una buona aerazione del suolo e una più agevole penetrazione dello stesso da parte delle radici; mentre un contenuto di argilla che va dall'10 al 25% circa assicura una buona struttura, il trattenimento dei nutrienti ed una corretta umidità.

I terreni franco sabbiosi presentano invece un contenuto sabbioso più elevato, a discapito di un percentuale di argilla più contenuta. Ciò potrebbe favorire la perdita di nutrienti per dilavamento (date le abbondanti piogge) e una mineralizzazione della sostanza organica più rapida.

4.3 Calcolo del carbon stock potenziale

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

Lo stock di carbonio (SOC) di un suolo (o come in questo caso di una porzione di esso) è calcolabile effettuando il prodotto, eseguito per ogni orizzonte, tra il quantitativo ponderale di carbonio e la densità apparente dell'orizzonte, sottraendo il volume occupato dalla frazione grossolana. Di seguito è riportata l'equazione utilizzata per tale computo (IPCC, 2003):

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

dove:

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

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

ρ : è la densità apparente dell'orizzonte (t/m³);

T: è lo spessore dell'orizzonte (m);

δ : è la proporzione dei frammenti grossolani (%>2mm) nell'orizzonte.

La concentrazione di carbonio organico (C) è stata determinata con il metodo Walkley-Black per ogni orizzonte. Lo spessore dei vari orizzonti (T) è stato misurato direttamente in campo. La proporzione dei frammenti grossolani (δ) è stata stimata in laboratorio dopo aver suddiviso ciascun orizzonte ed averlo posizionato negli appositi contenitori. Ciò ha permesso una stima più accurata di quanto sarebbe stato possibile fare in campo.

La densità apparente dell'orizzonte (ρ) è un parametro che può essere calcolato in campo, oppure stimato attraverso dei modelli matematici definiti pedofunzioni.

La stima in campo di questo parametro dovrebbe restituire valori più accurati rispetto a quelli ricavati attraverso le pedofunzioni, in realtà la variabilità dello spessore della lettiera, la presenza di copertura erbacea che non andrebbe campionata ma difficile da eliminare, la presenza di rami che attraversano il campionatore, la difficoltà di selezionare un campione rappresentativo della stazione in esame e i lunghi tempi

necessari per tale operazione, ne rendono preferibile (e non meno attendibile) la stima attraverso le pedofunzioni.

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

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

I valori di TOC% e C (g/kg) utilizzati per il calcolo del carbon stock potenziale e della densità apparente sono riportati in Tabella 4.2.

I risultati ottenuti dall'applicazione della pedofunzione di Hollis & Wood sono riportati in Tabella 4.7.

Tabella 4.7 – Valori di densità apparente suddivisi per orizzonte.

Sito	Orizzonte	Densità apparente (t/m ³)
Sito 1	OF	0,47
	A	0,53
Sito 2	OF + OH	0,48
	A	0,53
Sito 3	OF	0,48
	A	0,54
Sito 4	A	0,53
Sito 5	OF + OH	0,45
	A	0,55
Sito 6	A	0,55

Utilizzando i dati di densità apparente sono stati calcolati gli stock di carbonio sugli spessori reali degli orizzonti conteggiando la frazione grossolana.

In Tabella 4.8 vengono riportati i valori di SOC relativi a ciascun sito esaminato, in relazione alle forme di humus e alle coperture vegetali, e suddivisi per orizzonte, per centimetro di spessore e nel computo complessivo dell'*episolium* umifero.

Tabella 4.8 – Stock di carbonio calcolati per orizzonte, per centimetro di spessore e per l'intero *episolum* umifero.

Sito	Orizzonte	Spessore orizzonte (cm)	SOC per orizzonte (t/ha)	SOC per centimetro di spessore (t/ha)	SOC per <i>episolum</i> umifero (t/ha)	Forma di humus	Copertura vegetale
Sito 1	OF	1,5	11,2	7,5	33,5	Dysmull	Orno-ostrieto
	A	5	22,3	4,5			
Sito 2	OF + OH	2	14,2	7,1	42,0	Amphimus	Orno-ostrieto
	A	7	27,7	4,0			
Sito 3	OF	1	7,2	7,2	37,9	Dysmull	Faggeta
	A	8	30,8	3,8			
Sito 4	A	8	32,7	4,1	32,7	Eumull	Acero-frassineto
Sito 5	OF + OH	5	40,8	8,2	74,8	Dysmoder	Pecceta
	A	12	34,0	2,8			
Sito 6	A	11	31,2	2,8	31,2	Mesomull	Prato da sfalcio

La stima degli stock di carbonio ha permesso di fare luce sull'attuale capacità di questi suoli di immagazzinare il carbonio in forma organica.

Mettendo in relazione tra loro i parametri riportati in Tabella 4.8 è stato possibile riscontrare diverse correlazioni.

Innanzitutto, attraverso il Grafico 4.1, è stata valutata la relazione tra i valori di carbon stock e gli spessori degli *episolum*.

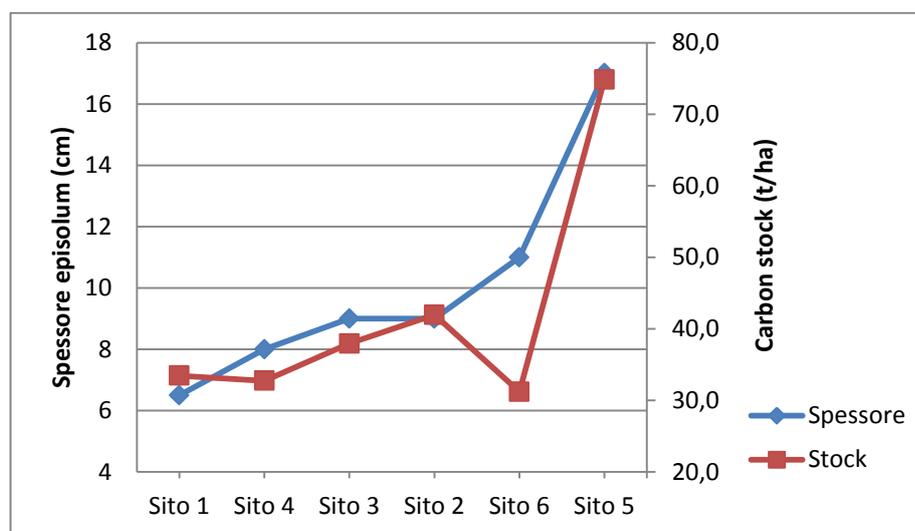


Grafico 4.1 – Relazione tra spessore dell'*episolum* umifero e carbon stock.

L'andamento, anche se non perfettamente regolare, mostra che mediamente all'aumentare dello spessore dell'*episolium* cresce il quantitativo di carbonio organico immagazzinato al loro interno. Ciò è dovuto al fatto che, su suoli con caratteristiche simili, un aumento di spessore implica un aumento di volume di suolo e di conseguenza una capacità di stoccaggio superiore. Tale andamento risulta evidente per le 5 tipologie forestali su Cambisol, mentre nella stazione in cui è presente il prato da sfalcio su Leptosol il valore di stoccaggio si discosta dal trend.

Considerando che le stazioni indagate presentano le medesime condizioni di clima ed esposizione, tale variazione può essere riconducibile alla differenza di suolo ed alla mancanza di una copertura arborea che aggiunga materiale fogliare e legnoso sulla superficie.

Inoltre osservando i valori medi di SOC per centimetro di spessore nel Grafico 4.2, si nota che a parità di estensione verticale, gli orizzonti ologranici riescono ad immagazzinare un quantitativo di carbonio organico decisamente superiore (mediamente il doppio) rispetto all'orizzonte A.

Perciò il valore complessivo di SOC varia non solo in base allo spessore, ma anche rispetto alla tipologia degli orizzonti presenti.

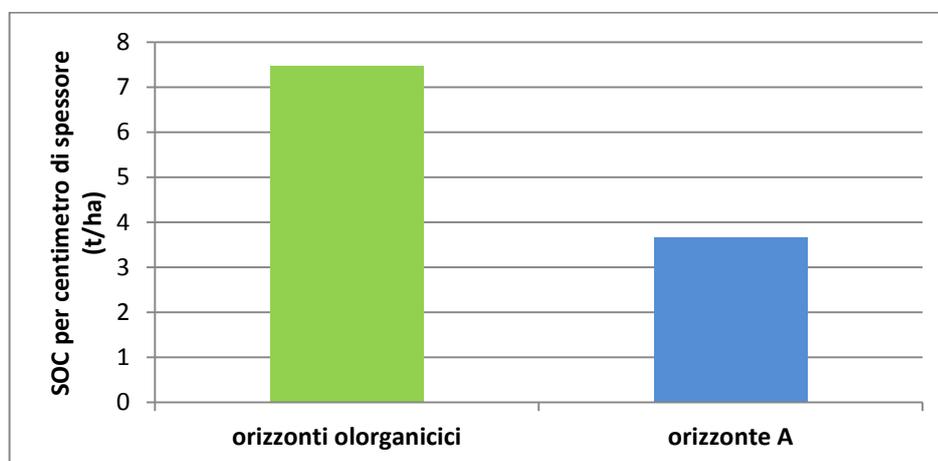


Grafico 4.2 – valori medi di SOC per centimetro di spessore delle stazioni esaminate.

Ricordando quanto detto nel Capitolo 4.1, le forme di humus meno evolute presentano una maggior differenziazione degli orizzonti ologranici e spesso anche un maggior spessore, dovuti ad un rallentamento dell'attività di degradazione e trasformazione della sostanza organica rispetto a forme più evolute.

Perciò, già in sede di classificazione degli humus ci si attendeva che le forme di humus meno evolute fossero in grado di stoccare un quantitativo maggiore di carbonio organico rispetto a quelle più evolute.

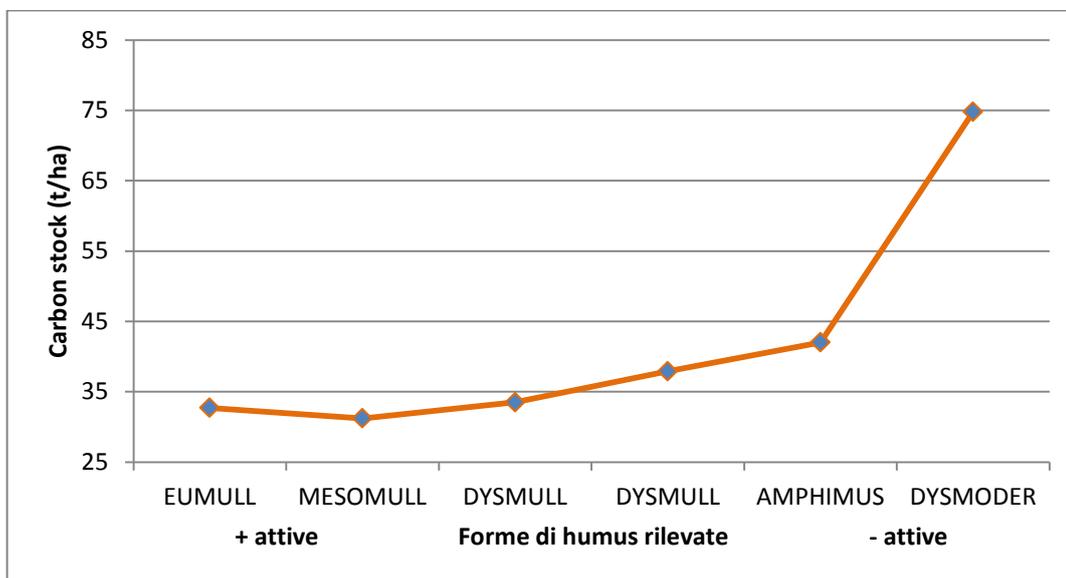


Grafico 4.3 – Valori di carbon stock (con conteggio della frazione grossolana) in relazione alle forme di humus.

Il Grafico 4.3, in cui i valori di SOC delle sei stazioni sono ordinati in ascissa per grado di evoluzione della forma d'humus riscontrata, evidenzia tale relazione.

Si osserva infatti che i mull mostrano i valori di SOC più bassi, i quali variano tra le 31 e le 38 t/ha. Ciò è dovuto ad un processo di decomposizione della materia organica più veloce che non permette la formazione di orizzonti organici spessi. Nel caso particolare del sito C6, caratterizzato da una copertura di prato da sfalcio, ciò è accentuato dalla mancanza di uno strato arbustivo e arboreo, in grado di arricchire la lettiera con materiale fogliare e legnoso.

All'estrema destra del grafico si trova invece il dysmoder con un valore di SOC molto più elevato, prossimo alle 75 t/ha. Questo è dovuto ad un *episolum* molto più esteso rispetto altri siti indagati, presumibilmente conseguenza di una lettiera di resinosa più difficile da degradare.

Tra mull e moder si colloca infine l' amphimus con quasi 42 t/ha. Il valore di stock risulta leggermente superiore rispetto a quello dei mull. Ciò è imputabile ad una maggiore differenziazione degli orizzonti ologranici, dovuta ad un lieve rallentamento nei processi di trasformazione e ad un conseguente accumulo di materiale organico nel suolo.

Tuttavia la presenza della frazione grossolana in un suolo, sottraendo volume utile ad esso, incide inevitabilmente sulla capacità di stoccaggio del carbonio organico.

Per comprendere quanto lo scheletro grossolano e le radici influiscano su questo parametro, viene riportato il Grafico 4.4 relativo ai valori di carbon stock senza il conteggio della frazione grossolana.

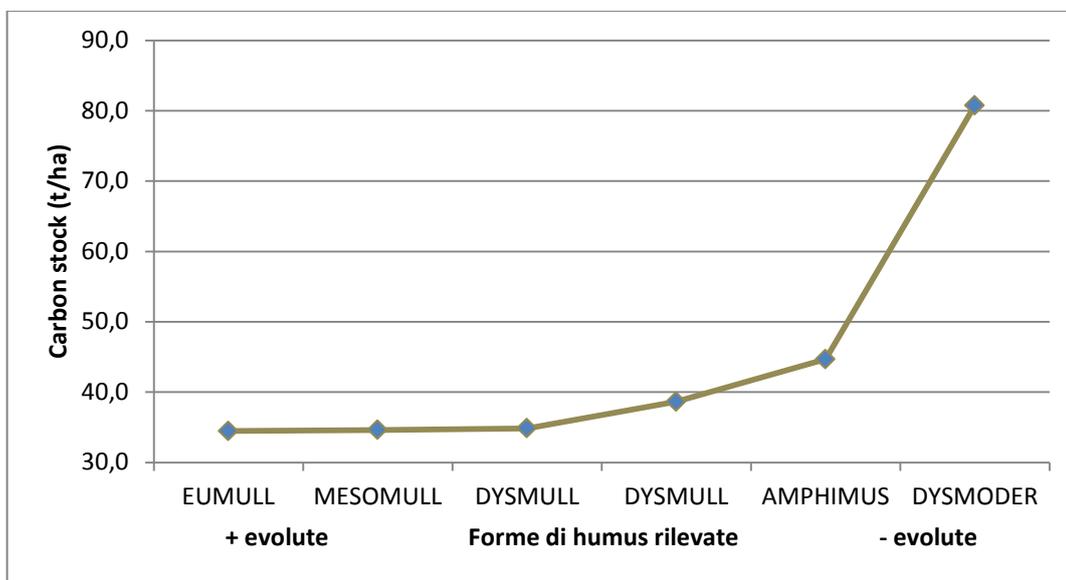


Grafico 4.4 - Valori di carbon stock (senza conteggio della frazione grossolana) in relazione alle forme di humus.

Confrontando i Grafici 4.3 e 4.4, si osserva che sottraendo dal conteggio la frazione grossolana, il contenuto di carbonio organico aumenta inevitabilmente in tutte le stazioni. Tuttavia, dato che nei suoli esaminati il contenuto di materiale grossolano nei vari orizzonti non varia in maniera così marcata (dal 2 al 10%), si osservano degli incrementi di stoccaggio contenuti tra il 2% del sito C3 e l'11% del sito C6. Questi aumenti coinvolgono principalmente gli orizzonti organo-minerali, in cui la presenza di scheletro risulta più abbondante.

Tuttavia tali variazioni non modificano il trend generale osservabile nel Grafico 4.3, ma aiutano però a comprendere l'importanza che ha il computo della frazione grossolana nella valutazione del carbon stock reale, soprattutto nel caso di suoli ricchi di scheletro.

Quanto già accennato riguardo al legame tra copertura vegetale e SOC, può essere visto nel Grafico 4.5.

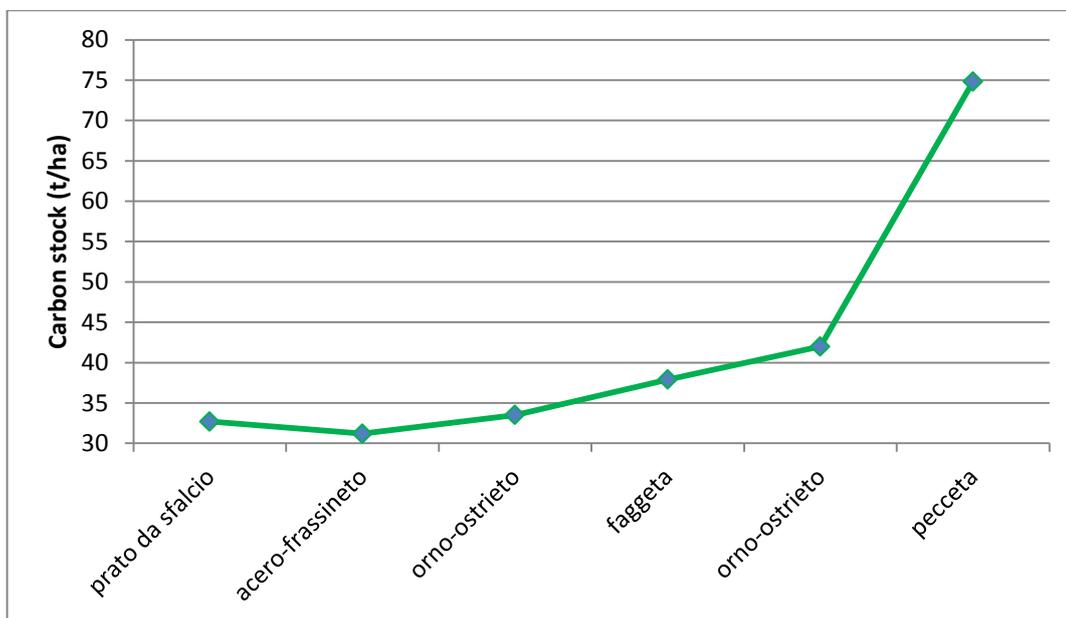


Grafico 4.5 – Valori di carbon stock in relazione alle coperture vegetali.

I valori di SOC sono piuttosto simili nei siti con copertura di latifoglie e nel prato da sfalcio, mentre nel sito in cui vi è copertura di peccio il valore di SOC aumenta.

Tali valori, in accordo con diversi studi (Garlato et al., 2009; AFES, 1995; Schulp et al., 2008) dimostrano che la presenza della lettiera, soprattutto se spessa e difficilmente degradabile come quella derivante da aghifoglie, è un fattore chiave per l'immagazzinamento del carbonio.

Va ricordato inoltre che in questo lavoro è stata scelta un'area di studio limitata, in modo tale da valutare i carbon stock in condizioni simili di clima, suolo, altitudine ed esposizione, rendendo la vegetazione una delle principali discriminanti per la variazione degli stock. Tra questi, va ricordato che il clima è senz'altro la variabile più importante nel processo di trasformazione della sostanza organica, in quanto influenza la pedogenesi, la vegetazione, la durata e l'intensità delle attività della pedofauna (Couteaux et al., 1995; Lal, 2005).

Nel complesso, la media dei valori di carbon stock reale dei sei campioni si attesta sulle 42 t/ha per uno spessore medio degli *episolium* di 10,2 cm, i quali risultano non lontani dalle 34 t/ha medie rilevate nei primi 10 cm di spessore da Garlato et al. (2009) nello studio del carbon stock nei suoli di montagna del Veneto.

In conclusione i trend riscontrati rispettano generalmente ciò che ci si attendeva dopo la classificazione delle forme di humus, infatti forme di humus meno attive come dysmoder ed amphimus presentano i valori di stoccaggio più elevati, viceversa le forme più attive come eumull e mesomull mostrano i valori di SOC più bassi.

Inoltre, come era ipotizzabile, i valori di SOC crescono all'aumentare dello spessore degli episolum ed in presenza di coperture vegetali che producono lettiere più difficilmente degradabili.

4.4 Determinazione della Qualità Biologica del Suolo (QBS-ar)

Negli ultimi decenni sono state sviluppate delle metodiche di monitoraggio della qualità dei suoli complementari alle tradizionali analisi chimico-fisiche, basate sull'utilizzo di organismi definiti "bioindicatori". Tali valutazioni, che risultano essere più olistiche e facilmente interpretabili, si basano sullo studio della composizione quali-quantitativa delle comunità di organismi, che vengono definiti bioindicatori perché in grado di fornire delle informazioni sullo stato di salute di un ambiente.

Rispetto ad altre matrici ambientali (aria, acqua), la ricerca e l'applicazione di strumenti biologici per identificare la qualità biologica del suolo evidenziano ancora un notevole ritardo.

Tuttavia, negli ultimi anni sono stati proposti diversi indici per monitorare il suolo, considerando i micro-artropodi che costituiscono la comunità edafica. Tra questi il più diffuso è il metodo che valuta la Qualità Biologica del Suolo (QBS), il quale viene tutt'ora utilizzato dalle Agenzie Regionali per la Protezione dell'Ambiente (ARPA).

Il metodo di valutazione del QBS-ar è stato ideato nel 1998 dal prof. Vittorio Parisi, al fine di valutare la qualità biologica di un suolo attraverso l'analisi dei gruppi di micro-artropodi presenti nel terreno (Parisi, 2001).

Questi organismi sono molto sensibili alle alterazioni naturali o antropiche e all'equilibrio chimico-fisico del suolo per cui rappresentano degli ottimi bioindicatori (Van Straalen, 1998).

Tale criterio si basa sul concetto di forma biologica, ovvero sul grado di modificazioni morfologiche che un organismo manifesta in relazione all'ambiente in cui vive.

Gli organismi che vivono nel suolo presentano infatti degli adattamenti più o meno marcati alla vita ipogea, quali la miniaturizzazione, l'assenza di organi visivi, lo sviluppo di tegumenti protettivi, la depigmentazione, l'allungamento o l'appiattimento del corpo ecc. (Menta, 2009).

Più aumenta il grado di adattamento dei microartropodi al suolo, minore sarà la loro capacità di abbandonarlo in caso di alterazione degli equilibri e di conseguenza sarà maggiore la loro vulnerabilità. Ecco perché la presenza di mesofauna particolarmente adattata all'ambiente edafico risulta indice di un ecosistema stabile (Parisi et al., 2005).

L'innovazione di questo metodo diagnostico sta nel fatto che il QBS-ar prescinde dal numero di individui presenti nel campione, andando a considerare solamente la presenza o meno dei gruppi di microartropodi e la loro forma biologica.

Ad ogni gruppo di micro-artropodi individuato viene attribuito un punteggio che può variare da un minimo di uno, attribuito alle forme poco adatte alla vita edafica, ad un massimo di venti per le forme che presentano il massimo adattamento alla vita edafica. Questo valore prende il nome di Indice Ecomorfologico (EMI), e viene attribuito come riportato nelle seguenti note riassuntive. Quando in un campione sono presenti diverse forme biologiche appartenenti allo stesso gruppo, si tiene conto solamente del valore di EMI più alto riscontrato (Codurri et al., 2005)

Note riassuntive per la determinazione dei valori di EMI (Parisi, 2001)

GRUPPO	PUNTEGGIO
Acari	20
Araneidi	1→5
Blattaria	5
Chilopodi	1→20
Coleotteri	1→20
Collemboli	1→20
Dermatteri	1
Diplopodi	1→20
Dipluri	20
Dipteri	1
Embiotteri	10
Emitteri	1→10
Imenotteri	1→5
Isopodi	10
Larve di coleottero	10
Larve di dipteri	10
Opilioni	10
Ortotteri	1→20
Palpigradi	20
Paupodi	20
Pseudoscorpioni	20
Psocotteri	1
Proturi	20
Sinfili	20
Tisanotteri	1
Zygentoma	10

Araneidi: dimensioni < 5 mm e pigmentazione scarsa **EMI=5**; altrimenti **EMI=1**.

Chilopodi: dimensioni < 5mm o zampe poco sviluppate **EMI=20**; altrimenti **EMI=10**.

Coleotteri: forme chiaramente epigee **EMI=1**; altrimenti si assegnano 5 punti per la presenza di ciascuno dei seguenti caratteri (max=20):

- Dimensioni inferiori a 2 mm;
- Tegumenti sottili, con colorazione spesso testacea;
- Microatterismo o atterismo;
- Microoftalmia o anoftalmia;

Collemboli:

- **EMI=1** → forme francamente epigee: appendici allungate, ben sviluppate, apparato visivo (macchia ocellare e occhi) ben sviluppato, dimensioni medie o grandi, presenza di livrea complessa;
- **EMI=2** → forme epigee non legate alla vegetazione arborea, arbustiva o erbacea con buon sviluppo delle appendici, con forte sviluppo (eventualmente) di setole o copertura fortemente protettiva di squame, apparato visivo ben sviluppato;
- **EMI=4** → forme di piccola dimensione (ma non necessariamente) con medio sviluppo delle appendici, apparato visivo sviluppato, livrea modesta, forme generalmente limitate alla lettiera;
- **EMI=6** → forme emiedafiche con apparato visivo in genere sviluppato, appendici non allungate, livrea con colore;
- **EMI=8** → forme emiedafiche con riduzione del numero di ocelli, appendici poco sviluppate talvolta con furca ridotta o assente, presenza di pigmentazione;
- **EMI=10** → forme euedafiche con pigmentazione assente, riduzione o assenza di ocelli, furca presente ma ridotta;
- **EMI=20** → forme francamente euedafiche: depigmentate, prive di furca, appendici tozze, presenza di strutture tipiche sensoriali apomorfiche;

Emitteri: forme epigee **EMI=1**; larve di cicala **EMI=10**;

Ortotteri: in generale **EMI=1**; famiglia Grillidae **EMI=20**.

La somma dei valori di EMI determina il valore del QBS. Parisi e D'Avino hanno inoltre proposto uno schema di suddivisione dei suoli in sette classi di qualità, come riportato in Figura 4.6.

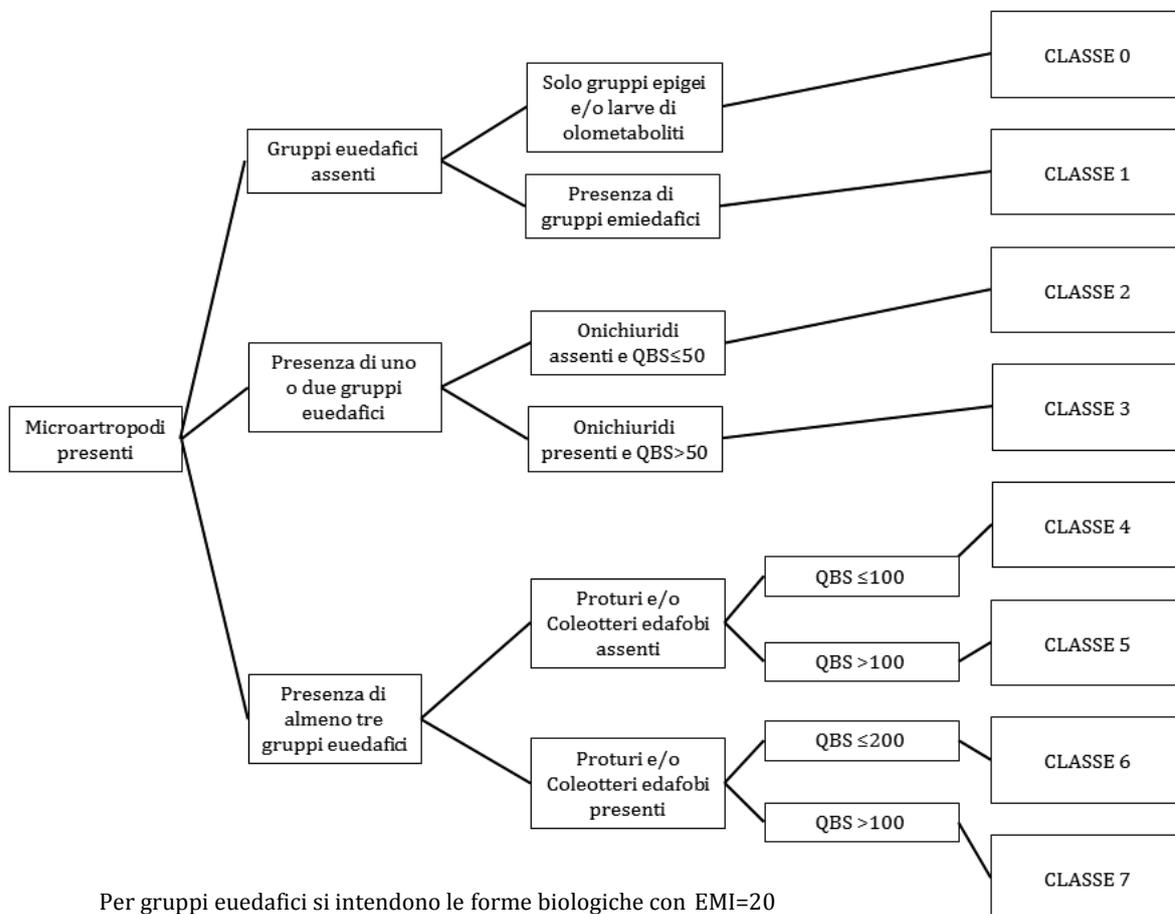


Figura 4.6 - Schema di attribuzione delle classi di qualità del suolo (fonte Parisi, 2001; modificata D'Avino 2002)

4.4.1 Descrizione degli artropodi del suolo

Dopo aver raccolto la selettura si è passati al riconoscimento della mesofauna, per l'attribuzione dei punteggi EMI.

La mesofauna comprende gli organismi di dimensioni comprese tra 0,2 mm e 2 mm. Essi hanno un ruolo fondamentale nella triturazione e sminuzzamento dei residui vegetali nonché nella demolizione e traslocazione della sostanza organica nel suolo (Menta, 2012).

Di seguito vengono descritti i gruppi sistematici che vengono presi in considerazione per il calcolo del QBS-ar. Per ogni gruppo vengono fornite delle iconografie, una breve descrizione morfologica e i riferimenti per l'assegnazione dei punteggi EMI. In appendice XX vengono inoltre riportate le chiavi dicotomiche semplificate per il riconoscimento di tali organismi.

ACARI



Figura 4.7 - Acari presenti nei campioni C1, C2 e C4.

- PHYLUM: ARTHROPODA
- CLASSE: ARACHNIDA
- TAXON: ACARDA

Costituiscono una sottoclasse di aracnidi numerosa, varia e complessa. Le dimensioni sono ridotte, variano dai 0,1 a 2 mm, sono dotati di corpo breve, di forma spesso tondeggiante (quasi sferica), caratterizzato dalla fusione del cefalotorace con l'addome, solo in alcune forme parassite il corpo assume una forma allungata. Gli acari costituiscono una delle principali componenti della fauna del suolo.

Per quanto riguarda il QBS-ar gli viene assegnato come EMI un valore fisso di 20 punti essendo un organismo altamente adattato alla vita ipogea. Gli acari sono stati riscontrati

in tutti i campioni analizzati, con abbondanze percentuali che vanno dal 47,6% del campione C1 al 57,9% del campione C6.

ARANAE



Figura 4.8 – Araneidi presenti nei campioni C1, C3 e C6.

- PHYLUM: ARTHROPODA
- CLASSE : ARACHNIDA
- ORDINE: ARANEAE

Gli araneidi, o ragni, presentano abitudini di vita molto varie, ad esempio le specie terricole che si trovano molto spesso negli strati superficiali del terreno scavano le loro tane a diversi cm di profondità; sono specie ritrovabili nei primi strati di suolo e hanno dimensioni da 1-2 mm a pochi cm.

Il corpo è diviso in due parti, una anteriore detta prosoma ed una posteriore detta opistosoma che li rende facilmente distinguibili dagli acari. Sono provvisti di 8 zampe. Si differenziano in base all'adattamento alla vita ipogea, infatti l'EMI può variare da 1 a 5 in base a dimensione e pigmentazione. Gli araneidi sono stati riscontrati in tutti i campioni ad eccezione di C5, con abbondanze percentuali che vanno dallo 0,79% del campione C4 al 2,44 del campione C3.

BLATTARIA



Figura 4.9 - Immagine di blatte (fonte ARPAP, 2002).

- PHYLUM: ARTHROPODA
- CLASSE: EXAPODA
- ORDINE: BLATTARIA

I Blatteri (o blatte) sono organismi dalla morfologia molto varia, tipicamente tropicali ora diffusi in gran parte del mondo, anche se solo poche decine sono riscontrabili in Europa. Presentano generalmente un colorito bruno nerastro oppure ocraceo su gran parte del corpo, esso è di forma ovale e appiattito in senso dorso-ventrale e terminante posteriormente con due cerci; le ali sono presenti solo in alcune specie, in particolare nei maschi, mentre sono assenti in altre. Le antenne sono lunghe e filiformi, l'apparato boccale è masticatore con mandibole molto sviluppate. Il loro valore EMI non è molto elevato, infatti corrisponde a 5. La loro presenza non è stata rilevata in nessuno dei campioni.

CHILOPODA

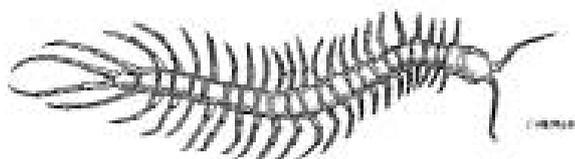


Figura 4.10 - Immagine di chilopodi (Fonte ARPAP, 2002).

- PHYLUM: ARTROPODA
- CLASSE: CHILOPODA

Sono una classe di artropodi caratterizzati da un corpo depresso, un tronco composto dai 19 ai 180 segmenti (metameri) di dimensioni fino a 6 cm, recanti di norma un paio di zampe di cui di solito il primo paio è modificato ad uncino, occhi per lo più assenti. Sono particolarmente diffusi nei primi strati di terreno, preferenzialmente sotto rocce e cortecce. Tra questi, gli appartenenti all'ordine dei Geofilomorfi risultano i più adatti alla vita ipogea grazie alla loro capacità di penetrare nel suolo incoerente e nell'humus. Il loro valore EMI equivale a 20 se sono presenti i Geofilomorfi, altrimenti ha valore 10. La loro presenza non è stata rilevata in nessuno dei campioni.

COLEOPTERA (e larve)

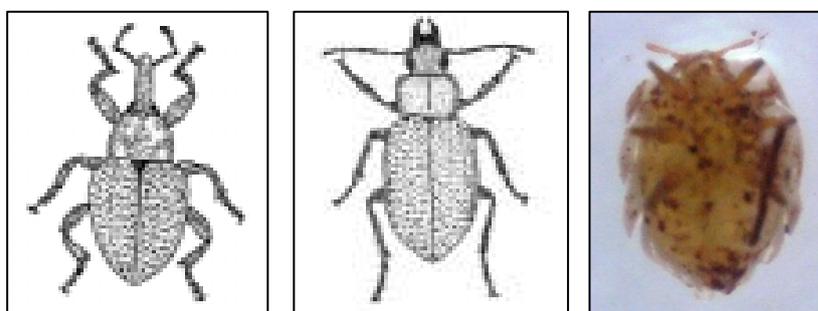


Figura 4.11 - Immagini di coleotteri sulla sinistra (fonte ARPAP, 2002) e foto di larva di coleottero sulla destra.

- PHYLUM: ARTHROPODA
- CLASSE: EXAPODA
- ORDINE: COLEOPTERA

In tutto il regno animale è l'ordine di insetti che ha ottenuto il maggior successo evolutivo. Questo gruppo è estremamente vario per dimensioni, forme, aspetto ed ecologia. Nella fauna del suolo è rappresentato da numerosi taxa.

I caratteri comuni per la loro identificazione sono l'apparato boccale di tipo masticatore e il primo paio di ali in strutture sclerificate dette elitre che non svolgono più la funzione del volo ma sono usate per proteggere l'addome e le ali posteriori. Le dimensioni variano da meno di un millimetro fino ai 15-18 cm. L'indice EMI varia notevolmente a causa della vastità morfologica delle specie, cosicché può essere pari a 1.5, 10, 15 o 20. Le stesse larve di coleotteri sono importanti per il calcolo del QBS-ar, infatti hanno EMI pari a 10. Sono identificabili per la presenza della capsula cefalica ben sviluppata, tre paia di zampe articolate, assenza di pseudozampe e con apparato boccale masticatore. Sono state rilevate solo larve di coleottero nei campioni C1 e C4.

COLLEMBOLA



Figura 4.12 - Collembli presenti nei campioni C2, C4 e C5.

- PHYLUM: ARTHROPODA
- CLASSE: EXAPODA
- TAXON: APTERIGOTA
- ORDINE: COLLEMBOLA

Sono esapodi di piccole dimensioni, dai 0,5 ai 0,9 mm (più comunemente 2 mm) largamente diffusi in ogni ambiente. Tipicamente abbondanti nel suolo e facilmente riconoscibili per la presenza dell'organo propulsore detto furca grazie al quale l'animale è in grado di saltare. Il corpo può presentarsi allungato con segmenti addominali ben distinti, oppure globoso e raccorciato senza una visibile distinzioni fra i segmenti dell'addome. L'EMI varia da 1 a 20 in base ad alcuni caratteri presenti riportati in Tabella 4.9. I collemboli sono stati riscontrati in tutti i campioni analizzati con abbondanze percentuali che vanno dal 37,2% del campione C5 al 43,4 del campione C1.

Tabella 4.9 – Calcolo approfondito degli EMI dei collemboli (fonte D'Avino, 2002)

CARATTERE	PUNTEGGIO EMI
Dimensione <ul style="list-style-type: none"> • Grandi > 3 mm • Medie 2-3 mm • Piccole <2 mm 	 0 2 4
Pigmentazione <ul style="list-style-type: none"> • Con livrea complessa • Con livrea semplice • Con colore • Assente 	 0 1 3 6
Fanere ed altre strutture tegumentarie <ul style="list-style-type: none"> • Grande sviluppo di macrochete e/o squame • Ricoprimento modesto di fanere • Specializzazione topografica delle chete, ridotte di numero, sensilli particolari sulle antenne • Poche chete, sensori e strutture particolari e presenti in più parti del corpo 	 0 1 3 6
Anoftalmia <ul style="list-style-type: none"> • 8 + 8 ocelli • 6 + 6 ocelli • Da 5+5 a 1+1 ocelli • Nessun ocello 	 0 2 3 6
Antenne <ul style="list-style-type: none"> • Antenne molto più lunghe della diagonale del capo • Circa equidimensionali • Più corte • Molto ridotte 	 0 2 3 6
Zampe <ul style="list-style-type: none"> • Molto sviluppate • Mediamente sviluppate • Corte • Ridotte o con empodio ridotto o assente 	 0 2 3 6
Furca <ul style="list-style-type: none"> • Molto sviluppata • Mediamente sviluppata • Poco sviluppata con riduzione del numero di setole • Assenza di mucrone e/ o alterazioni della forma del manubrio e dei denti • Assenza della furca o sua riduzione a rudimento 	 0 2 3 5 6

DERMAPTERA



Figura 4.13 - Immagine di dermattero (Fonte ARPAP, 2002).

- PHYLUM: ARTHROPODA
- CLASSE: EXAPODA
- ORDINE: DERMAPTERA

I dermatteri sono un ordine omogeneo di insetti tipicamente allungati, facilmente riconoscibili perché provvisti di cerci a forma di pinza o forbice con il corpo appiattito e tegumenti da bruni a giallastri, apparato boccale masticatore, e capo ben distinto dal torace. Numerosi Dermatteri possiedono due paia di ali, il primo inspessito e coriaceo che svolge la funzione di protezione per il secondo paio. La loro dieta prevede essenzialmente vegetali, più rare le specie parassite o predatrici. Vivono nella parte superficiale di suolo e hanno valore EMI pari a 1.

La loro presenza non è stata rilevata in nessuno dei campioni.

DIPLOPODA



Figura 4.14 - Diplopodi presenti nei campioni C2 e C4.

- PHYLUM: ARTROPODA
- CLASSE: DIPLOPODA

Conosciuti comunemente come millepiedi, sono organismi che frequentano il suolo negli strati più superficiali, si trovano frequentemente anche su rocce e cortecce.

Hanno dimensioni che variano da 2 mm a pochi cm, corpo solitamente cilindrico con tegumento indurito di sali di calcio e capo convesso sul dorso e appiattito lateralmente.

La loro caratteristica peculiare di questa classe è la presenza nel tronco di diplosegmenti ciascuno provvisto di due paia di zampe.

Può ottenere valore EMI da 10 a 20. Sono stati trovati nei campioni C2, C4, C5 e C6 con abbondanze percentuali che variano da 0,79% a 2,33%.

DIPLURA

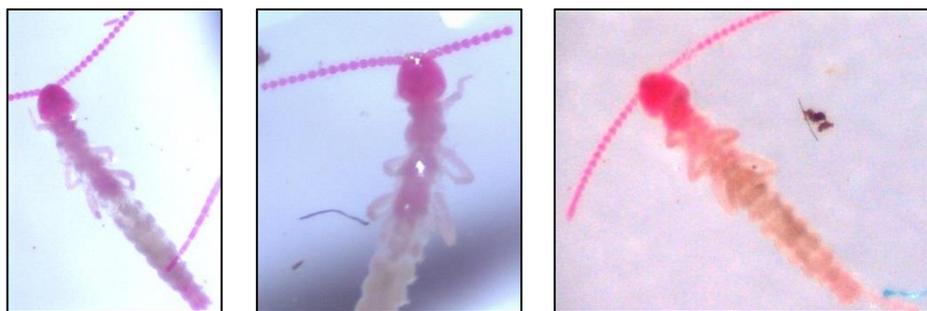


Figura 4.151 - Dipluri presenti nel campione C1 e C4.

- PHYLUM: ARTHROPODA
- CLASSE: EXAPODA
- TAXON: APTERIGOTA
- ORDINE: DIPLURA

Sono esapodi di forma allungata (fino a 10 mm), appiattita e depigmentati, privi di occhi e con lunghe antenne multiarticolate. Nell'ultimo segmento addominale presentano un paio di cerci che possono essere uniarticolati o multiarticolati. Sono per lo più onnivori e si cibano di detriti. Nel loro caso l'EMI è fisso a 20 visto il loro adattamento alla vita del suolo. Sono stati rilevati nei campioni C1, C2 e C4 (2,8 %,1,93%, 1,57%)

DIPTERA



Figura 4.16 – Dipteri rilevati nei campioni C3 e C4.

- PHYLUM: ARTHROPODA
- CLASSE: EXAPODA
- ORDINE: DIPTERA

Rappresentano un ordine estremamente vasto di insetti (circa 70.0000 specie). Sono facilmente riconoscibili per via delle due paia di ali, di cui una ridotta a forma di bilanciere. Non sono importanti per il QBS-ar, in quanto adatti alla vita epigea, infatti presentano un valore EMI pari a 1. Sono stati riscontrati nei campioni C3, C4 e C5 rispettivamente in percentuale del 2,27%, 0,79% e 0,78%.

EMBIOPTERA

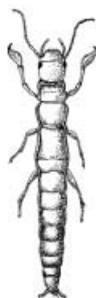


Figura 4.17 - Immagine di Embiottero (Fonte ARPAP, 2002).

- PHYLUM: ARTHROPODA
- CLASSE: EXAPODA
- ORDINE: EMBIOPTERA

Sono organismi di piccola taglia (pochi mm) che vivono in gallerie sotto le pietre o nel suolo in gruppi di più individui intrecciati nella loro caratteristica tela prodotta da ghiandole poste alla base del tarso anteriore. Hanno corpo appiattito, addome terminante con due cerci (asimmetrici nei maschi) e apparato boccale masticatore più sviluppato nel maschio che nella femmina. Sono rari, poco conosciuti con punteggio EMI fisso pari a 10. La loro presenza non è stata rilevata in nessuno dei campioni.

HEMIPTERA

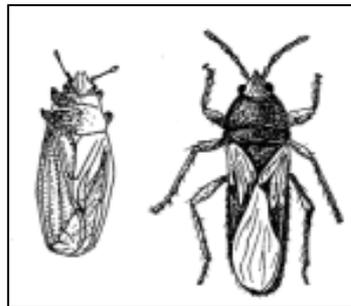


Figura 4.18 - Immagine di Emitteri (Fonte ARPAP, 2002).

- PHYLUM: ARTHROPODA
- CLASSE: EXAPODA
- SUPERORDINE: HEMIPTERA
- ORDINE: HETEROPTERA

Gli emitteri sono insetti caratterizzati dal possedere un apparato boccale di tipo pungente e succhiante detto rostro. Presentano il primo paio di ali modificate in emielitre mentre le ali anteriori possiedono un'area basale sclerificata e rigida. Il corpo è generalmente appiattito in senso dorso ventrale oppure ovoidale, la lunghezza varia da pochi mm a 2 cm. Il punteggio EMI è pari a 1 per tutti gli emitteri escluse le larve di cicala. Non sono stati rilevati esemplari di emitteri nei campioni analizzati.

HYMENOPTERA

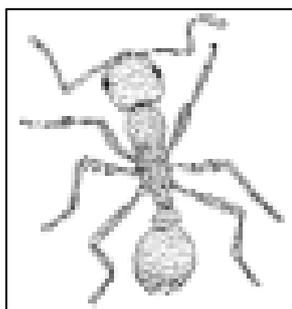


Figura 4.19 - Immagine di imenottero (ARPAP, 2002).

- PHYLUM: ARTHROPODA
- CLASSE: EXAPODA
- ORDINE: HYMENOPTERA

Gli imenotteri sono comunemente presenti nel suolo. Posseggono due paia di ali membranose, le anteriori normalmente più grandi, le antenne sono lunghe e sottili e solo occasionalmente possono essere brevi e inspessite, l'apparato boccale può essere sia masticatore che lambente succhiatore. E' un ordine caratterizzato da comportamenti sociali molto sviluppati. Il valore EMI è 1 tranne che per gli imenotteri Formicidi che è 5. Non sono stati rilevati esemplari di imenotteri nei campioni analizzati.

ISOPODA

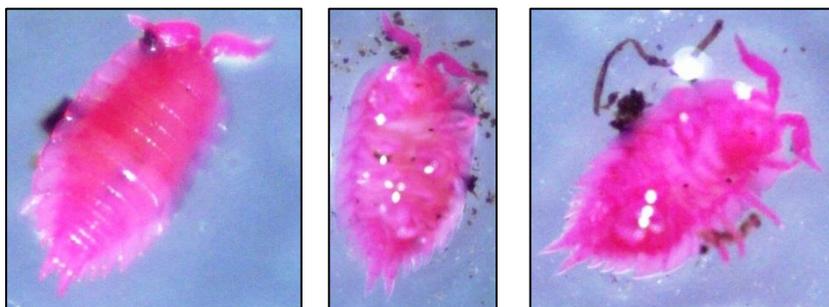


Figura 4.20 - Isopodi presenti nei campioni C3 e C6.

- PHYLUM: ARTHROPODA
- CLASSE: CRUSTACEA
- SOTTOCLASSE: MALACOSTRACA

- INFRACLASSE: EUMALACOSTRACA
- ORDINE: ISOPODA
- SOTTORDINE: ONISCOIDEA

Normalmente la maggior parte di essi sono specie marine, infatti solo un sottordine di isopodi è terrestre ed è rappresentato dagli oniscidei, un gruppo di organismi che vive nei primissimi strati di suolo. Si nutrono di detriti vegetali e possono raggiungere dimensioni fino a 2cm. Il loro aspetto caratteristico è dato dal corpo appiattito dorso ventralmente con la presenza di un tegumento fortemente sclerificato e un paio di antenne. Il loro valore EMI fisso è 10, quindi solo mediamente adatti alla vita ipogea. Sono stati rilevati nei campioni C3, C4 e C6 con percentuali relative rispettivamente del 1,14%, 1,57% ed 1,22%.

OPILIONES



Figura 4.21 - Immagine di opilionide (Fonte ARPAP, 2002).

- PHYLUM: ARTHROPODA
- CLASSE: ARACHNIDA
- ORDINE: OPILIONIDA

Spesso confusi con i ragni, essi si distinguono per la diversa conformazione corporea, più o meno ovoidale senza strozzature tra la parte anteriore e quella posteriore. Alcuni piccoli opilioni di suolo possono inoltre essere confusi con gli acari, ma se ne distinguono per dimensione (tra 3 e 8 mm) e forma; la caratteristica principale per il loro riconoscimento è la suddivisione dell'opistosoma in segmenti nella parte ventrale. Sono organismi poco diffusi. Gli opilionidi non sono stati rilevati nei campioni analizzati.

ORTHOPTERA

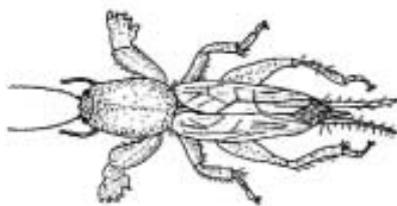


Figura 4.22 - Immagine di ortottero (Fonte ARPAP, 2002).

- PHYLUM: ARTHROPODA
- CLASSE: EXAPODA
- ORDINE: ORTHOPTERA

Organismi che solo in rari casi hanno dimensioni minori dei 5 mm, infatti le specie più conosciute superano tutte i 10 mm di lunghezza, in ogni caso possono essere trovati degli stadi giovanili oppure larvali che comunque presentano numerose somiglianze con l'adulto. Presentano zampe posteriori con femore molto sviluppato adatto per il salto o per lo scavo e un apparato boccale di tipo masticatore. Sono poco rilevanti per quanto riguarda il calcolo del QBS-ar avendo come valore EMI solamente 1, tranne nel caso della famiglia Grillidae che può arrivare fino a 20. Non sono stati rilevati nei campioni esaminati.

PALPIGRADI

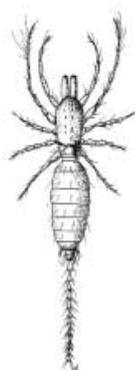


Figura 4.23 - Immagine di palpigrado (Fonte ARPAP, 2002).

- PHYLUM: ARTHROPODA
- CLASSE: ARACHNIDA
- ORDINE: PALPIGRADA

Sono organismi molto rari, di dimensioni che variano dai 0,5 ai 3 mm, la loro stessa biologia è poco nota. Presentano tegumento sottile, il corpo è segmentato e prolungato in un flagello terminale, cheliceri ben sviluppati, non possiedono occhi, si possono trovare nella prima parte di suolo sotto a pietre e in grotte con elevata percentuale di umidità, caratteristiche che li rendono estremamente adatti alla vita ipogea. Il loro punteggio EMI equivale a 20. Non ne sono stati riscontrati nei campioni analizzati.

PAUROPODA



Figura 4.242 - Immagine di pauropode (Fonte ARPAP, 2002).

- PHYLUM: ATROPODA
- CLASSE: PALIROPODA

Gruppo di organismi poco conosciuti, in Italia se ne contano poche specie. Sono animali per la maggior parte ciechi, con corpo non sclerificato, dimensione compresa tra i 0,5 mm e i 2 mm. Il corpo è composto solo da capo e tronco, quest'ultimo è costituito generalmente da 11 segmenti di cui 9 portano un paio di zampe ciascuno mentre i segmenti restanti recano dei flagelli e particolari strutture sensoriali. Abitano ambienti particolarmente umidi per i quali sono estremamente sensibili. Hanno indice EMI pari a 20. Non sono stati rilevati nei campioni esaminati.

PSEUDOSCORPIONES



Figura 4.25 - Pseudoscorpioni presenti nei campioni C1, C2 e C5.

- PHYLUM: ARTHROPODA
- CLASSE: ARACHNIDA
- ORDINE: PSEUDOSCORPIONIDA

Sono organismi di piccole dimensioni (non superano gli 8 mm). Abitano la parte più profonda degli orizzonti organici superficiali, ad esempio cortecce, muschi ed altri habitat particolarmente umidi. Come aspetto generale sono molto simili agli scorpioni anche se mancano dell'apparato pungitore lungo il metasoma. Possono presentare uno o due paia di occhi lateralmente od esserne privi. I caratteri morfologici lo rendono una specie capace di vivere anche negli strati più profondi di suolo, e per questo hanno valore EMI fisso di 20. Sono stati rilevati nei campioni C1, C2 e C3 con percentuali relative rispettivamente del 2,1%, 1,93% e 1,55%.

PSOCOPTERA

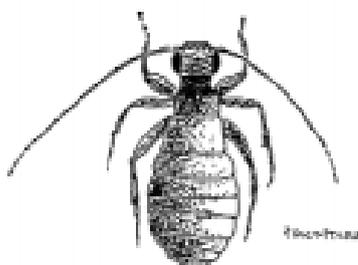


Figura 4.26 - Immagine di psocottero (Fonte ARPAP, 2002).

- PHYLUM: ARTHROPODA
- CLASSE: EXAPODA
- ORDINE: PSOCOPTERA

Sono organismi adatti alla vita epigea , quindi con valore EMI pari a 1. Hanno dimensioni maggiori dei 6 mm con occhi composti posizionati lateralmente. La maggior parte di essi sono atteri o con ali ridotte. Le antenne sono la loro parte peculiare essendo filiformi da 13 articoli a più di 20 (particolare che viene utilizzato per la loro classificazione).

L'apparato boccale è di tipo masticatore con potenti mandibole atte alla ricerca di cibo sul substrato. Non sono stati rilevati nei campioni analizzati.

PROTURA



Figura 4.27 - Immagine di proturo (Fonte ARPAP, 2002).

- PHYLUM: ARTHROPODA
- CLASSE: EXAPODA
- TAXON: APTERIGOTA
- ORDINE: PROTURA

Rappresentano un gruppo largamente diffuso ed estremamente adatto alla vita ipogea per le loro caratteristiche morfologiche, infatti sono ciechi, depigmentati, corpo allungato e depresso, capo privo di antenne e il primo paio di zampe proteso in avanti con funzione tattile. Hanno dimensione tra i 0,5 e 2 mm. Sono localizzate soprattutto in terreni umidi come quello erboso. Non sono stati rilevati nei campioni esaminati.

SYMPHILA



Figura 4.28 - Sinfili presenti nei campioni C1 e C5.

- PHYLUM: ARTHROPODA
- CLASSE: SYMPHILA

Gruppo di organismi molto delicati per via del loro esoscheletro sottile flessibile e depigmentato. Tipici dei suoli umidi a causa della loro sensibilità alla disidratazione. Sono ciechi e dotati di antenne moniliformi, il corpo è allungato formato da capo e tronco nel quale si trovano 12 paia di zampe, l'ultimo segmento addominale invece porta un paio di cerci. Le dimensioni variano dai 2 ai 10 mm e hanno un valore EMI prefissato di 20. Sono stati riscontrati nei campioni C1, C2 e C5 con percentuali relative rispettivamente del 1,4%, 1,93% e 1,55%.

THYSANOPTERA

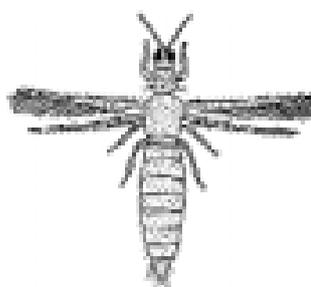


Figura 4.29 - Immagine di tisanotero (fonte ARPAP, 2002).

- PHYLUM: ARTHROPODA
- CLASSE; EXAPODA
- ORDINE: THYSANOPTERA

Sono insetti piccolissimi (circa 1 mm), succhiatori e generalmente fitofagi, si distinguono particolarmente bene per le caratteristiche ali sottili e provviste lungo i margini di una frangia di peli, e per l'apparato boccale a forma di stiletto. Gli occhi sono ben sviluppati. Il loro punteggio EMI è minimo, non hanno quindi molta rilevanza nel calcolo del QBS-ar. Non sono stati rilevati nei campioni analizzati.

ZYGENTOMA

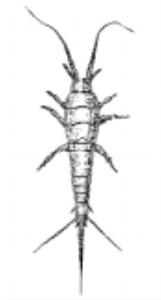


Figura 4.30 - Immagine di Zygentoma (Fonte ARPAP, 2002).

- PHYLUM: ARTHROPODA
- CLASSE: EXAPODA
- ORDINE: ZYGENTOMA

Ordine costituito da uno dei gruppi più primitivi di insetti. Sono organismi privi di ali, corpo piuttosto appiattito, allungato e cilindrico. Sono ciechi o con occhi molto ridotti, quindi ottimi caratteri per l'adattamento alla vita ipogea anche se allo stesso tempo sono legati per l'alimentazione all'attività dell'uomo da cui l'EMI con valore 10. Non sono stati riscontrati nei campioni analizzati.

4.4.2 Risultati e calcolo del QBS-ar.

L'identificazione e il conteggio della mesofauna presente nei campioni di suolo, ha permesso di valutare sia in termini quantitativi (abbondanza assoluta e percentuale), sia in termini qualitativi (forme biologiche) lo stato di salute e la stabilità dei siti in esame.

I valori di abbondanza assoluta e percentuale vengono riportati in Tabella 4.10.

Tabella 4.10 - Abbondanze assolute e percentuali della mesofauna identificata.

GRUPPI	C1		C2		C3		C4		C5		C6	
	Abb. Ass.	Abb. %										
Acari	68	47,6	111	53,6	46	52,3	64	50,4	72	55,8	95	57,9
Araneidi	3	2,1	4	1,93	2	2,27	1	0,79	-	-	2	1,22
Blattaria	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Chilopodi	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Coleotteri	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Collemboli	62	43,4	78	37,7	37	42	55	43,3	48	37,2	63	38,4
Dermatteri	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Diplopodi	-	-	2	0,97	-	-	1	0,79	3	2,33	2	1,22
Dipluri	4	2,8	4	1,93	-	-	2	1,57	-	-	-	-
Dipteri	-	-	-	-	2	2,27	1	0,79	1	0,78	-	-
Embiotteri	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Emitteri	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Imenotteri	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Isopodi	-	-	-	-	1	1,14	2	1,57	-	-	2	1,22
Larve di coleottero	1	0,7	-	-	-	-	1	0,79	-	-	-	-
Larve di dipteri	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Opilioni	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ortotteri	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Palpigradi	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Paupodi	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Pseudoscorpioni	3	2,1	4	1,93	-	-	-	-	2	1,55	-	-
Psocotteri	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Proturi	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sinfili	2	1,4	4	1,93	-	-	-	-	2	1,55	-	-
Tisanotteri	-	-	-	-	-	-	-	-	1	0,78	-	-
Zygentoma	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
TOTALE	143	100	207	100	88	100	127	100	129	100	164	100

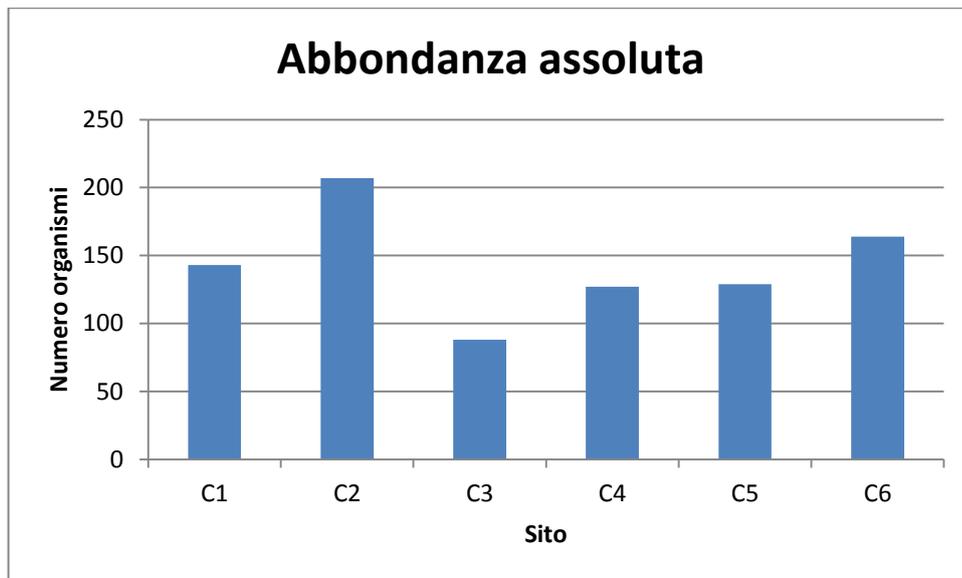
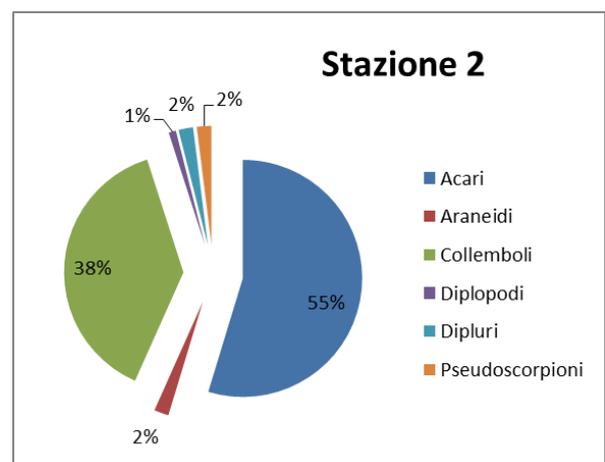
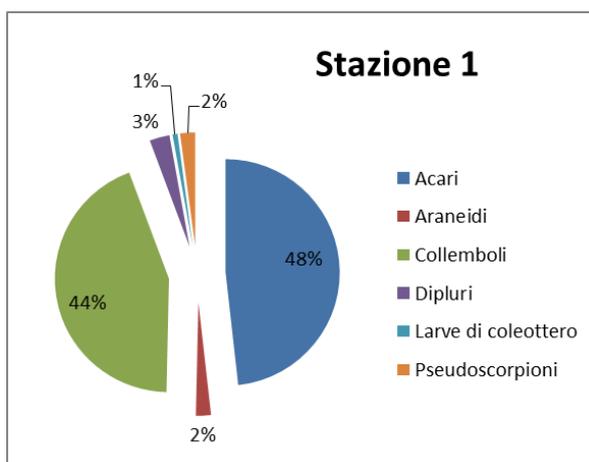
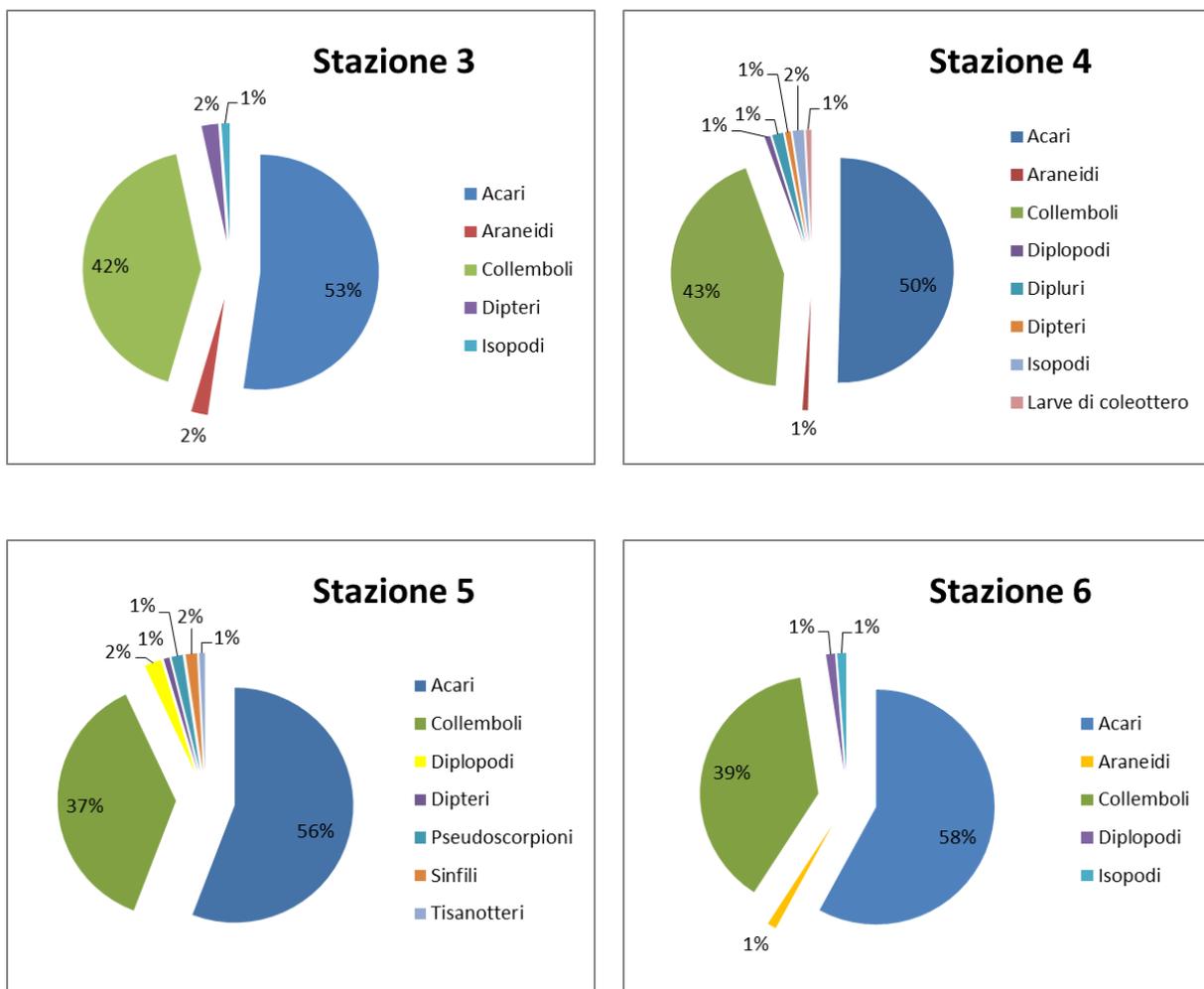


Grafico 2.4 - Grafico delle abbondanze assolute

Esaminando i dati in Tabella 4.10 e il Grafico 2.4, si osserva che c'è una variabilità in termini di numero complessivo di organismi tra le varie stazioni. Tuttavia risulta più significativo valutare le abbondanze percentuali, per comprendere quali sono i gruppi maggiormente rappresentati nei campioni. Esaminando i Grafici 2.5 si nota che a prescindere dalla tipologia del sito e dalle condizioni di stabilità, due gruppi, gli acari e i collemboli, presentano un'abbondanza percentuale particolarmente elevata, dimostrando di adattarsi molto bene alle diverse condizioni.

Inoltre è possibile osservare come nelle stazioni siano ricorrenti certe tipologie di taxa mentre molte altre risultano completamente assenti.





Grafici 2.5 – Grafici relativi alle abbondanze percentuali dei gruppi di microartropodi individuati nelle stazioni.

I punteggi EMI assegnati alle varie forme biologiche e i risultanti valori di QBS-ar ottenuti dalla loro sommatoria, vengono riportati in Tabella 4.11.

Tabella 4.11 – Punteggi EMI assegnati alle forme biologiche e valori di QBS-ar ottenuti.

GRUPPI	PUNTEGGIO EMI	C1	C2	C3	C4	C5	C6
Acari	20	20	20	20	20	20	20
Araneidi	1→5	5	5	5	5	-	5
Blattaria	5	-	-	-	-	-	-
Chilopodi	1→20	-	-	-	-	-	-
Coleotteri	1→20	-	-	-	-	-	-
Collemboli	1→20	20	20	20	20	20	10
Dermatteri	1	-	-	-	-	-	-
Diplopodi	1→20	-	20	-	20	20	20
Dipluri	20	20	20	-	20	-	-
Dipteri	1	-	1	1	-	1	-
Embiotteri	10	-	-	-	-	-	-
Emitteri	1→10	-	-	-	-	-	-

Imenotteri	1→5	-	-	-	-	-	-
Isopodi	10	-	-	10	10	-	10
Larve di coleottero	10	10	-	-	10	-	-
Larve di diptera	10	-	10	-	-	10	-
Opilioni	10	-	-	-	-	-	-
Ortotteri	1→20	-	-	-	-	-	-
Palpigradi	20	-	-	-	-	-	-
Paupodi	20	-	-	-	-	-	-
Pseudoscorpioni	20	20	20	-	-	20	-
Psocotteri	1	-	-	-	-	-	-
Proturi	20	-	-	-	-	-	-
Sinfili	20	20	20	-	-	20	-
Tisanotteri	1	-	-	-	-	1	-
Zygentoma	10	-	-	-	-	-	-
	QBS	115	136	56	105	112	65
	Classe QBS	5	5	3	5	5	3

I valori di QBS risultano superiori a 100 in quattro stazioni, mentre nei restanti due siti si attestano tra le 50 e le 100 unità. Ciò stabilisce che in quattro dei sei siti esaminati la qualità biologica del suolo risulta buona, in quanto secondo Parisi (2001), superata la soglia delle 100 unità si è in presenza di un suolo con una buona qualità biologica.

I valori del QBS-ar possono essere visualizzati e meglio confrontati nel Grafico 2.6.

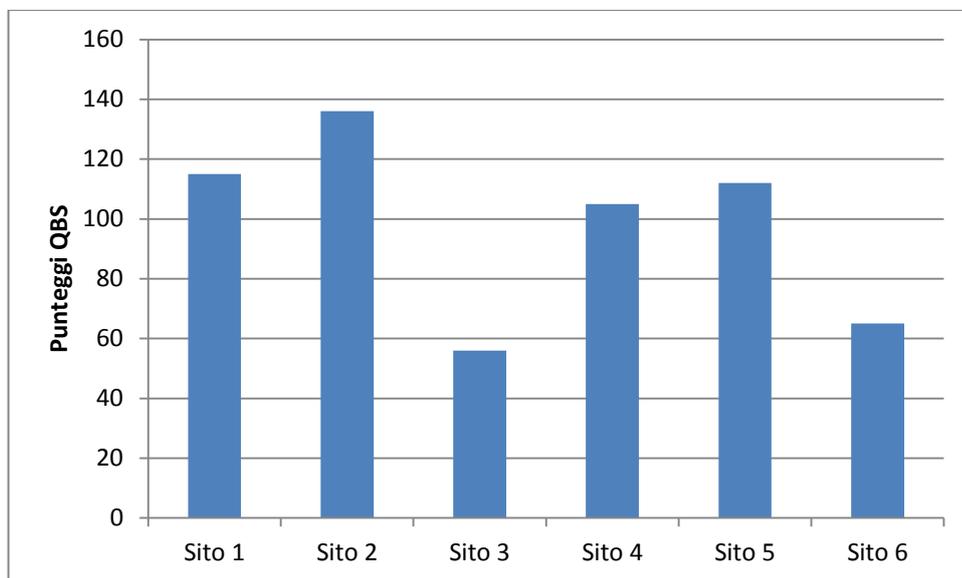


Grafico 2.6 - Valori del QBS-ar delle sei stazioni.

D'Avino (2003) e Menta (2009) in accordo con Parisi (2001), confermano che valori di QBS compresi tra 100 e 200, identificano degli ecosistemi edafici di buona qualità, ed in

particolare, quando il QBS supera i 130 tali ecosistemi possono considerarsi maturi. Questa affermazione vale per le latifoglie, mentre per le conifere possono essere considerati accettabili anche valori più bassi compresi tra 100 e 130 (Menta, 2009). Tale discriminazione è dovuta al fatto che la lettiera acidificante delle conifere provoca una diminuzione dell'appetibilità della lettiera e, di conseguenza, una riduzione in termini quantitativi e qualitativi della mesofauna del suolo (Zanella *et al.*, 2001; D'Avino *et al.*, 2003).

Attraverso la determinazione dei valori di QBS-ar sono state ricavate le classi di qualità biologica del suolo, così come proposte da Parisi (2001) e d'Avino (2002). Lo schema seguito è riportato in Figura 4.6, ed è costituito da 7 classi in ordine crescente di complessità e di caratteristiche di adattamento alla vita nel suolo.

Secondo tale classificazione è stata attribuita classe 5 ai siti C1, C2, C4 e C5 i quali risultano caratterizzati da una buona qualità biologica del suolo. Tuttavia va fatto notare che solamente gli ecosistemi presenti nella stazione C2 e C5 presentano dei valori tipici di suoli forestali maturi, cioè di quei suoli che mantengono una funzionalità ottimale nell'ambito del proprio ambiente (Gardi e Parisi, 2000), in quanto superano le soglie di QBS-ar descritte precedentemente (130 per le latifoglie e 100 per le conifere).

Le stazioni C1 e C4 invece, pur oltrepassando la soglia delle 100 unità, restano al di sotto del valore 130, indicando perciò la presenza di ecosistemi con una buona qualità biologica ma ancora non stabili.

Alle stazioni C3 e C6 viene invece attribuita la classe 3 indice di suoli con una qualità biologica non buona come le precedenti. I valori di QBS-ar in questi due casi si attestano abbondantemente al di sotto delle 100 unità, sintomo di ecosistemi disturbati e di conseguenza non stabili.

Nel sito C6, in cui è presente il prato da sfalcio prossimo al centro abitato, tale condizione è facilmente spiegabile poiché la tangibile presenza dell'uomo risulta fonte inevitabile di disturbo ed alterazione.

Anche per il sito C3 (faggeta) in realtà si è notata una maggior influenza dell'uomo, legata ad attività selvicolturali più intense che nelle altre tipologie forestali esaminate. Tuttavia non si è certi che tale situazione possa incidere così pesantemente sull'ecosistema edafico, perciò sarebbe necessario uno studio di approfondimento per comprenderne a pieno le cause.

5. CONCLUSIONI

Considerate le crescenti emissioni di diossido di carbonio in atmosfera e vista l'inverosimilità che tale tendenza subisca un inversione nel futuro prossimo (dato il costante aumento nella richiesta di combustibili fossili), l'interesse del mondo scientifico per le metodiche di stoccaggio del CO₂ è inevitabilmente cresciuto negli ultimi decenni.

Il suolo, come già visto, rappresenta uno dei principali serbatoi di carbonio del pianeta, ed è per questo motivo che, nel tentativo di mitigare le alterazioni climatiche indotte dall'uomo, risulta di fondamentale importanza lo studio delle dinamiche che regolano l'immagazzinamento del carbonio nel terreno.

Diversi studi dimostrano che nella porzione più superficiale del suolo (*episolium* umifero) è presente la concentrazione più elevata di sostanza organica, nella quale viene stoccato circa un terzo del carbonio immagazzinato nell'intero profilo del suolo.

Alla luce di queste considerazioni, e visto il recente interesse da parte della comunità scientifica per questa tematica, è stato scelto di approfondire questo argomento e di applicare delle metodologie scientifiche per la caratterizzazione degli humus, per la valutazione del carbon stock e per la valutazione della qualità biologica del suolo in un'area del nord-est Italia (Cesariis, UD), di cui attualmente non esistono dati in materia.

Dopo aver individuato nell'area di studio le stazioni più rappresentative per tipologia di suolo e copertura vegetale, è stata effettuata una caratterizzazione morfologica degli humus presenti.

Il sistema di classificazione francese è risultato adeguato per lo studio delle forme di humus riscontrate, tuttavia la presenza di orizzonti ologranici molto sottili nei siti C2 e C3 e la non sempre facile distinzione tra orizzonti ologranici con caratteristiche molto simili (o intermedie), ha reso l'identificazione non sempre agevole.

In relazione a quest'ultima affermazione, si è notato che in rari casi, in presenza di orizzonti ologranici con caratteristiche intermedie tra due tipologie, tra diversi studiosi è possibile giungere a classificazioni differenti. Ciò evidenzia una certa soggettività nell'interpretazione dei caratteri, che tuttavia non porta a confondere un mull con un mor ma può condurre per esempio a classificare una forma di humus come oligomull anziché come mésomull, alterando più o meno significativamente i risultati di una valutazione.

Nonostante queste considerazioni, le classificazioni effettuate risultano in linea con quanto ci si poteva aspettare sulla base delle coperture vegetali presenti, ovvero: il sito C5, che presenta l'unica copertura di conifera (pecceta), presenta la forma di humus

meno attiva tra quelle riscontrate, un *dysmoder*, risultato di una lettiera acidificante più difficile da degradare rispetto a quella delle latifoglie; gli altri siti invece, caratterizzati da diverse coperture di latifoglie (o copertura esclusivamente erbacea nel caso della stazione C6), presentano forme di humus più attive come *eumull*, *mèsommull*, *dysmull* ed *amphimus*, indice di una lettiera più facile da decomporre, che si traduce in un minor accumulo di materia organica negli orizzonti superficiali.

Per quanto riguarda la caratterizzazione chimico-fisica dei campioni, risultano degni di particolare nota l'elevato contenuto di carbonio organico e i valori medio-alti di TSB, riscontrati in tutti i campioni analizzati, che suggeriscono una buona fertilità chimica dei suoli studiati.

In particolare, gli orizzonti ologranici presentano un contenuto di carbonio organico decisamente superiore (mediamente il doppio) rispetto agli orizzonti organo-minerali, evidenziando la loro importanza nelle dinamiche di cattura del carbonio.

I valori di carbonio organico sono stati poi impiegati per la stima degli stock di carbonio degli *episolum* umiferi delle sei stazioni. Da queste valutazioni è emersa una significativa correlazione tra le forme di humus identificate e le capacità di stoccaggio degli orizzonti superficiali, infatti, alle tipologie di humus meno attive quali *dysmoder* ed *amphimus*, è corrisposta una capacità di stoccaggio maggiore rispetto alle forme più attive quali *mèsommull* ed *eumull*. Tale tendenza è dovuta non tanto ad un differente contenuto di carbonio organico tra le diverse stazioni, quanto ad un aumento di spessore degli *episolum* umiferi presenti nelle forme di humus meno attive, sintomo di un rallentamento dei processi di trasformazione della materia organica.

Inoltre è interessante notare come il sito C6, l'unico a presentare copertura esclusivamente erbacea, presenti il valore di carbon stock inferiore, così come il contenuto di carbonio organico. Ciò in accordo con diversi studi di (Xu et al., 2011; Petrella & Piazzì, 2005; Solaro & Brenna, 2005), conferma che i suoli forestali sono in grado di immagazzinare un quantitativo di carbonio organico superiore rispetto a coperture erbacee.

Tuttavia, attualmente nella regione Friuli Venezia Giulia mancano degli studi come quelli condotti da Garlato et al (2009) nei suoli di montagna del Veneto, da Solaro e Brenna (2005) nella montagna lombarda, e da Petrella e Piazzì (2005) nella montagna piemontese, per cui tali valori possono essere confrontati con realtà non totalmente simili a quella friulana. Le caratteristiche climatiche peculiari di questa zona (precipitazioni particolarmente abbondanti) possono infatti incidere fortemente sulla

decomposizione della sostanza organica e nel conseguente stoccaggio del carbonio. Infatti va ricordato che il clima è senz'altro la variabile più importante nel processo di trasformazione della sostanza organica, in quanto influenza la pedogenesi, la vegetazione, la durata e l'intensità delle attività della pedofauna.

Questo lavoro costituisce perciò una base su cui sviluppare uno studio più esteso sui suoli forestali della regione, in cui inserire e confrontare i dati emersi da questa ricerca, ed ottenere un quadro conoscitivo più completo su questo tema.

Per quanto riguarda il calcolo del QBS-ar si può affermare che quattro delle sei stazioni esaminate (C1, C2, C4 e C5) presentano un qualità biologica del suolo elevata e due di queste (C2 e C5) presentano dei valori tipici di suoli forestali maturi.

Le stazioni C3 e C6 presentano invece i valori di QBS-ar più bassi, alle quali è stata attribuita la classe 3 (su una scala da zero a sette), indice di una qualità biologica del suolo non buona come nelle altre stazioni. Nel caso della stazione C6 ciò è imputabile alla natura stessa del sito, che essendo un prato da sfalcio in prossimità di un centro abitato, risente notevolmente dell'influenza antropica. Anche nella stazione C3 (faggeta avviata all'alto fusto) è stata rilevata una maggior influenza dell'uomo legata ad attività selvicolturali più intense che nelle altre tipologie forestali riscontrate. Tuttavia non essendo certi che tale situazione possa influire così pesantemente sull'ecosistema edafico, si suggerisce uno studio approfondito per individuare le cause di tale sofferenza. Inoltre si può notare come non ci sia correlazione fra le diverse tipologie di lettiera e i valori di QBS-ar, mentre sembra esserci una relazione tra QBS-ar e contenuto di sostanza organica. Infatti, i siti C2 e C5, che presentano i valori di QBS più elevati, mostrano al contempo gli stock di carbonio più alti, viceversa il sito C6, caratterizzato dal valore più basso di QBS-ar, presenta lo stock di carbonio più esiguo. Tale lavoro costituisce una base su cui sviluppare uno studio più ampio della zona, che permetterebbe di ottenere un campione statistico più rappresentativo sia per la valutazione dello stato di salute dei suoli che per la verifica del trend QBS-carbon stock. Facendo una considerazione più generale sulla bioindicazione applicata ai suoli, si può affermare che tale metodica è risultata efficiente in quanto ha permesso di ottenere delle importanti indicazioni quali-quantitative sulla mesofauna di questi suoli, il tutto grazie all'utilizzo di metodiche semplici, poco costose e senza una conoscenza specializzata della fauna edafica.

Al termine di questo studio si consolida il pensiero che la figura dello scienziato ambientale ben si plasmi a lavori di carattere interdisciplinare come questo in cui è

necessario coniugare le conoscenze acquisite in campi differenti, che spaziano dalla pedologia alla tassonomia vegetale, passando per la chimica, la geologia e la biologia animale, le quali forniscono gli strumenti per una pianificazione dell'ambiente e per poter organizzare e gestire a 360 gradi ed in autonomia questo tipo di lavoro.

6. APPENDICE

Vengono riportati in questo capitolo i seguenti materiali utilizzati:

- La scheda di descrizione in campo;
- I parametri utilizzati per la descrizione dei profili;
- Le schede di descrizione di campo compilate durante i campionamenti;
- Le chiavi di riconoscimento dei principali invertebrati del suolo;
- Lo schema litologico delle Prealpi Giulie.

6.1 Scheda tipo di descrizione in campo

Parametri stazionali

Codice rilievo		Esposizione		Morfologia	
Località		Pendenza		Pietrosità	
Coordinate		Copertura vegetale		Forma di humus	
		Substrato			
Quota		Tipologia suolo			

Parametri per la descrizione del profilo

Tipo di orizzonte	Spessore	limite inferiore		umidità	colore Munsell (stato umido)	struttura		
		distinguibilità	forma			aggregazione	tipo	consistenza

radici			pedofauna	funghi		pH	effervescenza
abbondanza	orientamento	dimensioni	tipo	distribuzione	abbondanza		

6.2 Parametri per la descrizione dei profili.

Tipi di orizzonti: si effettua una suddivisione in orizzonti ologranici ed organo-minerali.

Il **limite inferiore** degli orizzonti si descrive attraverso la profondità, la distinguibilità e l'andamento.

- **Spessore:** Si misura ponendo lo zero del metro alla sommità dell'orizzonte OF o in sua assenza, alla base dell'orizzonte OL, procedendo nella misurazione verso l'alto per l'orizzonte OL, verso il basso per gli orizzonti OF, OH, A e per gli orizzonti minerali.
- **Distinguibilità:** misura dello spazio in cui avviene il passaggio tra due orizzonti.

	Orizzonti ologranici	Orizzonti organo-minerali
Abrupto	<5 mm	<2 mm
Chiaro	5-10 mm	2-5 mm
Graduale	10-20 mm	5-15 mm
Diffuso	>20 mm	>15 mm
Sconosciuto	Non è stato raggiunto il limite inferiore	

- **Andamento**

Lineare	Senza ondulazioni
Ondulato	Più largo che profondo
Irregolare	Più profondo che largo
Discontinuo	Con interruzioni

- **Umidità**

Secco	Umidità non visibile
Umido	Umidità visibile, senza acqua libera
Bagnato	Con acqua libera

Colore: rilevato attraverso l'uso delle Tavole Munsell.

Struttura: viene definita attraverso grado di aggregazione, tipo e consistenza.

- **Grado di aggregazione:** percentuale di materiale aggregato.

Nulla	Assenza di materiali aggregati
Debole	Materiali aggregati <20%
Moderato	Materiali aggregati tra il 20 e il 60%
Forte	Materiali aggregati >60%

- **Tipo:** forma e disposizione del materiale.

ORIZZONTI OLOGANICI	
Se nell'orizzonte prevalgono i residui:	
Sciolto	Singole particelle senza aggregazione
A pacchetti, non compattato	Materiali distribuiti su piani orizzonti senza compattazione
A pacchetti, compattato	Materiali distribuiti su piani orizzontali con compattazione
Residui riuniti in gruppi	Materiali distribuiti in gruppi
Se nell'orizzonte prevale la S.O. fine:	
Sciolto	Singole particelle senza aggregazione
Granulare	Aggregati costituiti da particelle sferoidali, dette GRANI
Grumoso	Grani riuniti in aggregati detti GRUMI
Glomerulare	Grumi di aspetto "gibboso" detti GLOMERULI

ORIZZONTI ORGANO MINERALI E MINERALI	
Sciolto	Singole particelle senza aggregazione
Massivo	Massa coerente senza aggregazione
Granulare	Aggregati costituiti da particelle sferoidali dette GRANI
Grumoso	Grani riuniti in aggregati detti GRUMI
Glomerulare	Grumi di aspetto "gibboso" detti GLOMERULI
Lamellare	Aggregati a forma di lamelle
Poliedrico sub-angolare	Aggregati poliedrici con vertici smussati
Poliedrico angolare	Aggregati poliedrici con vertici aguzzi
Prismatico	Aggregati di forma allungata, con facce ben distinguibili e vertici spigolosi
Colonnare	Aggregati di forma allungata, con vertici arrotondati
Fluffy	Struttura micro-grumosa di consistenza relativamente soffice

- **Consistenza:** forza del legame di aggregazione.

Incoerente	Assenza del legame di aggregazione
Molto friabile	Si rompe con una pressione molto lieve, ma è coerente quando tenuto in mano
Friabile	Si rompe con una pressione da lieve a moderata tra il pollice e l'indice, ed è coerente quando è tenuto in mano
Resistente	Si rompe con una pressione moderata tra il pollice e l'indice, esiste un'evidente resistenza
Molto resistente	Si rompe con una forte pressione tra il pollice e l'indice
Estremamente resistente	Si rompe con una forte pressione; non si può rompere tra il pollice e l'indice
Plastico	Il materiale non si rompe ma non riprende a forma iniziale quando cessa la pressione
Elastico	Il materiale riprende la forma iniziale quando cessa la pressione

Radici: la superficie di riferimento ha le dimensioni di 2,5 x 2,5 cm per radici sottili o molto sottili, di 25 x 25 cm per radici da medie a molto grosse; se ne stima l'abbondanza, le dimensioni e l'orientamento.

▪ **Abbondanza:**

Molto poche	<3
Poche	3-10
Comuni	11-20
Numerose	21-30
Abbondanti	>30

▪ **Dimensioni:**

Molto fini	<1 mm
Fini	1-2 mm
Medie	3-10 mm
Grosse	11-25 mm
Molto grosse	>25 mm

▪ **Orientamento:**

Sub-orizzontale
Sub-verticale

Pedofauna: viene descritta attraverso il tipo.

Microfauna (protozoi, acari, nematodi)	<0,2 mm
Mesofauna (acari, collemboli, nematodi)	0,2-4 mm
Macrofauna (enchitreidi, diplopodi, ispodi)	4-80 mm
Megafauna (lombrichi, vertebrati)	>80 mm

Funghi: vengono descritti riferendosi all'abbondanza e alla distribuzione.

▪ **Abbondanza:**

Nessuno	Non rilevabili
Pochi	Presenza occasionale
Abbondanti	Presenza frequente

▪ **Distribuzione:**

Casuale
In gruppi
In strati

pH: stimato attraverso l'utilizzo di un reagente, per confronto con scala colorimetrica.

Effervescenza: reazione all'HCl diluito 1:1.

	udito	vista
Nulla	Nessuno	Nessuno
Molto debole	Scarsamente udibile	Nessuno
Debole	Mediamente udibile	Appena visibile
Notevole	Facilmente udibile	Bolle < 3 mm
Violenta	Facilmente udibile	Bolle tra 3 e 7 mm

6.3 Schede di descrizione di campo compilate durante i campionamenti

STAZIONE C1

Parametri stazionali

Codice rilievo	C2	Esposizione	nord	Morfologia	versante rettilineo
Località	Cesariis	Pendenza	40%	Pietrosità	1-5%
Coordinate	46°16'20"N	Copertura vegetale	orno-ostrieto tipico	Forma di humus	Dysmull
	13°14'51"E	Substrato	calcari e dolomie		
Quota	570m	Tipologia suolo	Eutric Cambisol		

Parametri per la descrizione del profilo

Tipo di orizzonte	Spessore	limite inferiore		umidità	colore Munsell (stato umido)	struttura		
		distinguibilità	forma			aggregazione	tipo	consistenza
OLn	0-1	abrupto	ondulato	/	/	/	/	/
OLt	1-2	abrupto	ondulato	umido	5YR 4/2	debole	A pacchetti, non compattato	friabile
OF	2-3	chiaro	ondulato	umido	5YR 4/2	debole	A pacchetti, non compattato	friabile
A	3-8	chiaro	ondulato	umido	10YR 7/4	forte	poliedrico sub-angolare	resistente
B	8-17 e più	/	/	umido	10YR 7/3	forte	poliedrico sub-angolare	resistente

Tipo di orizzonte	radici			pedofauna	effervescenza	funghi		pH
	abbondanza	orientamento	dimensioni	tipo		distribuzione	abbondanza	
OLn	/	/	/	/	/	/	/	/
OLt	comuni	misto	molto fini-fini	artropodi, macrofauna	molto debole	in gruppi	pochi	5
OF	comuni	misto	molto fini-fini	artropodi/enchitreidi	molto debole	in gruppi	pochi	5
A	comuni	misto	fini-medie	artropodi, lombrichi	molto debole	non osservati		5
B	poche	misto	fini	non osservata	molto debole			5

STAZIONE C2

Parametri stazionali

Codice rilievo	C2	Esposizione	nord	Morfologia	versante convesso
Località	Cesariis	Pendenza	5%	Pietrosità	5-10%
Coordinate	46°16'20"N	Copertura vegetale	orno-ostrieto tipico	Forma di humus	Amphimus
	13°14'53"E	Substrato	calcari e dolomie		
Quota	575 m	Tipologia suolo	Eutric Cambisol		

Parametri per la descrizione del profilo

Tipo di orizzonte	Spessore	limite inferiore		umidità	colore Munsell (stato umido)	struttura		
		distinguibilità	forma			aggregazione	tipo	consistenza
OLn	0-1	abrupto	lineare	/	/	/	/	/
OF	1-2	abrupto	lineare	umido	5YR 4/3	debole	A pacchetti, non compattato	friabile
OH	2-3	chiaro	lineare	umido	5YR 4/1	moderato	A pacchetti, non compattato	friabile
A	3-10	chiaro	ondulato	umido	10YR 5/5	moderato	poliedrico sub-angolare	resistente
B	10-25 e più	/	/	umido	10YR 5/4	forte	poliedrico sub-angolare	resistente

Tipo di orizzonte	radici			pedofauna tipo	effervescenza	funghi		pH
	abbondanza	orientamento	dimensioni			distribuzione	abbondanza	
OLn	/	/	/	/	/	/	/	/
OLt	comuni	misto	molto fini-fini	artropodi, macrofauna	molto debole	casuale	pochi	6
OF	comuni	misto	molto fini-fini	artropodi/enchitridei	molto debole	casuale	pochi	6
A	poche	misto	fini	artropodi/lombrichi	molto debole	non osservati		6
B	poche	misto	fini	lombrichi	debole			7

STAZIONE C3

Parametri stazionali

Codice rilievo	C3	Esposizione	nord	Morfologia	versante rettilineo
Località	Cesariis	Pendenza	40%	Pietrosità	1%
Coordinate	46°16'29"N	Copertura vegetale	Faggeta submontana dei suoli acidi	Forma di humus	dysmull
	13°14'43"E	Substrato	marne ed arenarie		
Quota	545	Tipologia suolo	Dystric Cambisol		

Parametri per la descrizione del profilo

Tipo di orizzonte	Spessore	limite inferiore		umidità	colore Munsell (stato umido)	struttura		
		distinguibilità	forma			aggregazione	tipo	consistenza
OLn	0-1	abrupto	lineare	/	/	/	/	/
OF	1-2	abrupto	lineare	umido	10YR 4/3	debole	A pacchetti, non compattato	friabile
A	2-10	chiaro	ondulato	umido	10YR 5/6	moderato	poliedrico sub-angolare	resistente
B	10-25 e più	/	/	umido	10YR 4/4	forte	poliedrico sub-angolare	molto resistente

Tipo di orizzonte	radici			pedofauna	effervescenza	funghi		pH
	abbondanza	orientamento	dimensioni	tipo		distribuzione	abbondanza	
OLn	/	/	/	/	/	/	/	/
OF	comuni	subverticale	molto fini-fini	artropodi, macrofauna	assente	casuale	pochi	5
A	poche	subverticale	molto fini-medie	artropodi	assente	non osservati		5
B	poche	subverticale	fini-grosse	artropodi	assente			5

STAZIONE C4

Parametri stazionali

Codice rilievo	Sito 4	Esposizione	nord	Morfologia	versante rettilineo
Località	Cesariis	Pendenza	30%	Pietrosità	1-5%
Coordinate	46°16'35" N	Copertura vegetale	Acer frassinetto tipico	Forma di humus	Eumull
	13°14'26" E	Substrato	marne ed arenarie		
Quota	570	Tipologia suolo	Dystric Cambisol		

Parametri per la descrizione del profilo

Tipo di orizzonte	Spessore	limite inferiore		umidità	colore Munsell (stato umido)	struttura		
		distinguibilità	forma			aggregazione	tipo	consistenza
OLn	0-2	abrupto	lineare	/	/	/	/	/
A	2-10	abrupto	lineare	umido	7.5YR 4/2	forte	grumosa	resistente
B	10-24 e più	/	/	umido	10YR 7/3	forte	grumosa	molto resistente

Tipo di orizzonte	radici			pedofauna	effervescenza	funghi		pH
	abbondanza	orientamento	dimensioni	tipo		distribuzione	abbondanza	
OLn	/	/	/	/	/	/	/	/
A	comuni	misto	molto fini-fini	artropodi, lombrichi	assente	non osservati		6
B	poche	misto	fini-medie	lombrichi	assente			7

STAZIONE C5

Parametri stazionali

Codice rilievo	Sito 5	Esposizione	nord	Morfologia	versante rettilineo
Località	Cesariis	Pendenza	50%	Pietrosità	10-15%
Coordinate	46°16'40" N	Copertura vegetale	pecceta d'impianto	Forma di humus	Dysmoder
	13°14'26" E	Substrato	marne ed arenarie		
Quota	580	Tipologia suolo	Dystric Cambisol		

Parametri per la descrizione del profilo

Tipo di orizzonte	Spessore	limite inferiore		umidità	colore Munsell (stato umido)	struttura		
		distinguibilità	forma			aggregazione	tipo	consistenza
OLn	0-1,5	abrupto	lineare	/	/	/	/	/
OF	1,5-3	abrupto	lineare	umido	10YR 2/1	debole	A pacchetti, non compattato	friabile
OH	3-5	chiaro	lineare	umido	5YR 3/2	moderato	A pacchetti, non compattato	friabile
A	5-17	chiaro	lineare	umido	10YR 5/2	forte	poliedrico sub-angolare	resistente
B	17-26 e più	/	/	umido	10YR 7/4	forte	poliedrico sub-angolare	molto resistente

Tipo di orizzonte	radici			pedofauna tipo	effervescenza	funghi		pH
	abbondanza	orientamento	dimensioni			distribuzione	abbondanza	
OLn	/	/	/	/	/	/	/	/
OF	comuni	misto	molto fini-fini	artropodi, macrofauna	assente	casuale	pochi	6
OH	poche	misto	molto fini-fini	artropodi, macrofauna	assente	non osservati		6
A	poche	subverticale	molto fini-medie	artropodi, lombrichi	assente			6
B	molto poche	subverticale	molto fini-medie	lombrichi	assente			6

STAZIONE C6

Parametri stazionali

Codice rilievo	Sito 6	Esposizione	nord	Morfologia	versante concavo
Località	Cesariis	Pendenza	5%	Pietrosità	25%
Coordinate	46°16'50" N	Copertura vegetale	prato da sfalcio	Forma di humus	mesomull
	13°14'49" E	Substrato	calcari e dolomie		
Quota	490	Tipologia suolo	Eutric Cambisol		

Parametri per la descrizione del profilo

Tipo di orizzonte	Spessore	limite inferiore		umidità	colore Munsell (stato umido)	struttura		
		distinguibilità	forma			aggregazione	tipo	consistenza
OLn	0-2	abrupto	lineare	/	/	/	/	/
A	2-12	abrupto	lineare	umido	10YR 3/2	debole	granulare	friabile
A/C	12-20 e più	/	/	umido	10YR 4/1	debole	granulare	friabile

Tipo di orizzonte	radici			pedofauna	effervescenzaa	funghi		pH
	abbondanza	orientamento	dimensioni	tipo		distribuzione	abbondanza	
OLn	/	/	/	/	/	/	/	/
A	abbondanti	misto	molto fini-fini	macrofuni, artropodi	violenta	non osservati		7
A/C	numerose	misto	molto fini-fini	artropodi	violenta			7

6.4 Chiavi per il riconoscimento dei principali invertebrati del suolo

(Chiavi dicotomiche semplificate)

Chiave A

- 1 Animali del tutto privi di arti ambulacrali o altre appendici corporee articolate.....2
- 1' Animali sempre forniti di appendici articolate e di tegumento più o meno sclerificato (phylum **ARTHROPODA**.....5
- 2 Corpo non segmentato, privo di qualsiasi sclerificazione, protetto oppure no da un nicchio calcareo a struttura elicoidale; apparato oculare (se presente) portato in cima ad appendici estroflettibili del capoordine **STYLOMMATOPHORA**
- 2' Corpo più o meno nettamente segmentato e/o suddiviso in "regioni"3
- 3 Presenza in numero variabile di appendici non articolate e/o di peli e/o di tubercoli. Almeno la capsula cefalica è chiaramente sclerificata, talvolta retrattile e allora poco visibile.....ordine **DIPTERA** (larve)
- 3' Assenza di appendici, peli, sclerificazioni; presenza di serie longitudinali di setole rigide infisse nel tegumento.....4
- 4 Dimensioni < 25 mm, clitello poco evidente sui segmenti 10-12, setole per lo più bastoncellari, raramente sigmoidi, disposte a gruppi di 2-6.....famiglia **ENCHYTRAEIDAE**
- 4' Dimensioni > 25 mm, clitello ben evidente posteriore al 15° segmento, setole brevi, sigmoidi, disposte a gruppi di due.....famiglia **LUMBRICIDAE**
- 5 Più di quattro paia di arti ambulacrali (zampe "vere")..... **CHIAVE B**
- 5' Quattro paia di arti ambulacrali (**ARACHNIDA**)..... **CHIAVE C**
- 5" Tre paia di arti ambulacrali (**EXAPODA**).....**CHIAVE D**

Chiave B

- 1** Due paia di antenne, corpo depresso..... **ISOPODA**
- 1'** Un solo paio di antenne **2**
- 2** Due paia di arti per segmento, corpo più spesso allungato, talora accorciato, per lo più a sezione circolare, raramente depresso..... **DIPLOPODA**
- 2'** Un solo paio di arti per segmento **3**
- 3** Presenza di evidenti piedi mascellari (massillipedi) veleniferi di forma uncinata; corpo allungato, depresso, variamente pigmentato..... **CHILOPODA**
- 3'** Massillipedi assenti, animali nettamente depigmentati **4**
- 4** Antenne trifurcate, corpo di 9-11 segmenti oltre il capo, con nove paia di arti; lunghezza totale fra 1 e 2 mm; presenza di pseudo-occhi sensibili alle vibrazioni (organo di Tömôsvary)..... **PAUROPODA**
- 4'** Antenne moniliformi, corpo di 15-22 segmenti con dodici paia di arti, lunghezza totale fino a 8 mm; animali privi di occhi..... **SYMPHYLA**

Chiave C: Arachnida

- 1** Animali di lunghezza inferiore ai 3 mm, ciechi e depigmentati con un lungo flagello addominale estremamente fragile..... **PALPIGRADI**
- 1'** Animali non come sopra, senza flagello..... **2**
- 2** Animali forniti di lunghissimi pedipalpi a chela, spesso lunghi quanto l'intero corpo o anche di più **PSEUDOSCORPIONIDA**
- 2'** Animali non come sopra..... **3**
- 3** Animali piccoli o piccolissimi (anche < 1 mm), con pedipalpi e cheliceri brevi, talora conformati a chela oppure parzialmente fusi a formare un rostro caratteristico; corpo non suddiviso né visibilmente segmentato **ACARI**

3' Animali più grandi, con pedipalpi pluriarticolati ben visibili; corpo suddiviso in "regioni" e/o segmenti più o meno visibili.....4

4 Corpo nettamente suddiviso in prosoma ed opistosoma, presenza di cheliceri veleniferi ad uncino e di pedipalpi che terminano con unghie o altrimenti conformati, particolarmente complessi negli individui di sesso maschile; gli arti ambulacrali del secondo paio non sono di norma più lunghi degli altri.....ordine **ARANEAE**

4' Corpo non suddiviso in prosoma ed opistosoma ma almeno in parte segmentato, presenza di cheliceri terminanti a chela e di pedipalpi allungati, simili per conformazione agli arti ambulacrali: questi ultimi, in genere, molto lunghi, quelli del secondo paio più degli altri.....**OPILIONES**

Chiave D: Exapoda

1 Animali sempre privi di ali, anche rudimentali.....2

1' Animali con due o quattro ali ben sviluppate, oppure rudimentali oppure ancora atteri secondariamente.....7

2 Animali con o senza occhi, muniti sul 4° segmento addominale di un organo ventrale del salto (furca) ben sviluppato o almeno di un abbozzo del retinacolo sul 1° sternite addominale; antenne sempre presenti**COLLEMBOLA**

2' Animali sempre senza furca e retinacolo, antenne presenti oppure no.....3

3 Animali molto piccoli (< 2 mm), completamente ciechi e depigmentati, senza antenne, con estremità addominale semplice, senza cerci, il primo paio di zampe tipicamente proteso in avanti.....**PROTURA**

3' Animali più grandi (fino a 10 mm), completamente ciechi e depigmentati, estremità addominale foggiate a "pinza", antenne moniliformi e piuttosto lunghe.....**DIPLURA**

3'' Animali con o senza occhi, depigmentati o meno, con cerci semplici e variamente articolati oppure assenti (ma in questo caso si tratta di organismi non ciechi), antenne

sempre	
presenti.....	4
4 Animali vermiformi o eruciformi o campodeiformi, almeno in parte sclerificati o pigmentati; occhi semplici, con o senza cerci.....	ordine COLEOPTERA (larve)
4' Animali di aspetto diverso, interamente pigmentati, con occhi composti e cerci costituiti da due soli articoli.....	EMBIOPTERA (individui di sesso femminile)
4" Animali di aspetto diverso, con cerci multiarticolati, con o senza occhi.....	5
5 Animali ciechi e depigmentati; antenne e cerci moniliformi..	DIPLURA (tipo Campodea)
5' Animali con occhi e con pigmento più o meno evidente; corpo allungato, ricoperto di scaglie o squame caduche; fra i due cerci addominali è presente un "paracercio"	6
6 Aspetto del corpo nettamente appiattito	ZYGENTOMA
6' Aspetto del corpo nettamente convesso e "gibboso".....	MICROCORYPHIA
7 Animali con il primo paio di ali completamente membranose ed il secondo trasformato in bilanceri	DIPTERA (adulti)
7' Animali con due paia di ali sempre presenti, talvolta, ridotte o caduche oppure atteri (ma in questo caso con apparato boccale pungente e succhiante o rostro)	8
8 Animali con ali assenti o, se presenti, esclusivamente membranose- rostro presente....	9
8' Animali con il primo paio di ali completamente o parzialmente sclerificato e il secondo membranoso.....	12
9 Apparato boccale masticatore.....	10
9' Apparato boccale di tipo pungente e succhiante (rostro)	11
10 Cerci ridotti, antenne molto lunghe, corpo più o meno tondeggianti e depresso, talvolta con ali vestigiali.....	PSOCOPTERA
10' Cerci assenti (ali caduche nella fam. FURMICIDAE).....	HYMENOPTERA
10" Cerci biarticolati.....	EMBIOPTERA (individui di sesso maschile)

- 11** Ali di aspetto normale, trasparenti o variamente pigmentate.....**HEMIPTERA (HOMOPTERA)**
- 11'** Ali strette e vistosamente frangiate ai margini (talora assenti secondariamente); tarsi costituiti da non più di due articoli.....**THYSANOPTERA**
- 12** Entrambe le paia di ali presentano una venatura molto fitta; il primo, con evidente funzione coprente (tegmene), è sclerificato moderatamente ma uniformemente su tutta la superficie**BLATTARIA**
- 12'** Il primo paio di ali, con venatura normale o assente, è intensamente sclerificato, il secondo (se non è atrofizzato) è ripiegato sotto il primo e presenta venature di normale densità.....**13**
- 13** Ali anteriori con la sola parte anteriore sclerificata e quella posteriore membranosa (emielitre); apparato boccale pungente-succhiante (rostro).....**HEMIPTERA (HETEROPTERA)**
- 13'** Ali anteriori completamente e intensamente sclerificate (elitre); apparato boccale masticatore **14**
- 14** Addome terminante con caratteristici cerci a “pinza”, elitre ricoprenti solo parzialmente l’addome, assenti o ridotte negli stadi preimaginali**DERMAPTERA**
- 14'** Addome senza cerci o con cerci pluriarticolati semplici, elitre ricoprenti o meno tutto l’addome.....**COLEOPTERA**

6.5 Schema litologico delle Prealpi Giulie.

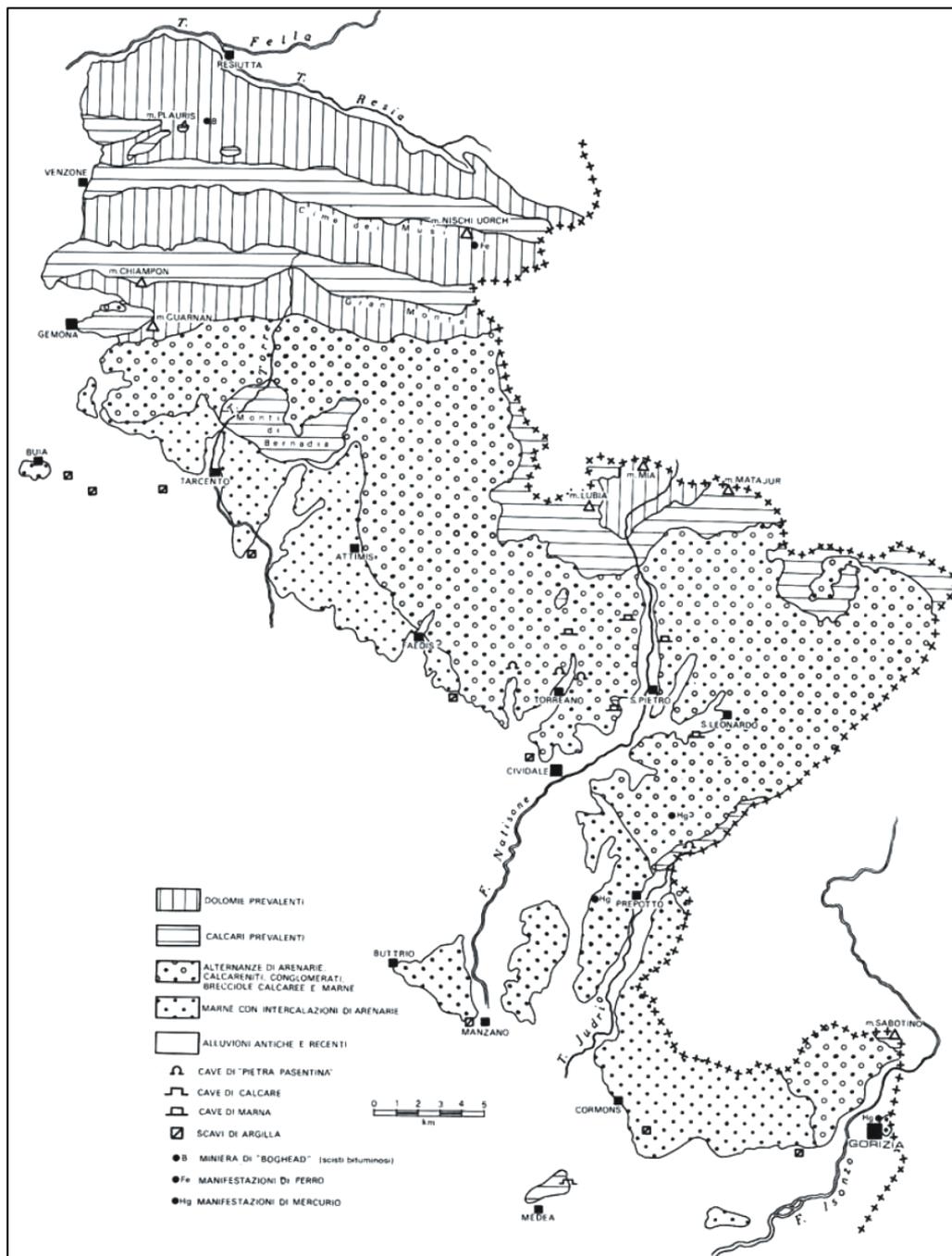


Figura 6.1 - Schema litologico delle Prealpi Giulie (Carulli, 1971).

7. Bibliografia

A.F.E.S. (Association Française pour l'Étude du Sol). (1995). *Référentiel Pédologique*. INRA Éditiones, Paris.

A.F.E.S. (Association Française pour l'Étude du Sol). (2008). *Référentiel Pédologique 2008*. Quae Éditiones, Paris.

Andres R.J., Fielding D.J., Marland G., Boden T., Kumar N., Kearney A.T. (1999). *Carbon dioxide emissions from fossil-fuel use, 1751-1950*. *Tellus B*, 51:759-765.

ARPA Piemonte (2002). *Tecniche di biomonitoraggio della qualità del suolo*. Alzani Editore, Torino.

Bater J.E. (1996). *Methods for examination of organismal diversity in soil and sediments*. CAB International: pp. 304.

Calabrese M.S., Sartori G., Zanella A. (1997). *Confronto tra due recenti sistemi di classificazione degli humus: il Référentiel Pédologique e la tassonomia di Green*. *Monti e Boschi*, 6:4-10.

Carulli G.B. (1971). *Le rocce, i minerali e le pietre utili*. *Enciclopedia Monografica Friuli Venezia Giulia*, Udine: 197-266.

Carulli G.B & Galli M. (2013). *La storia geologica delle Giulie*. Società Alpina delle Giulie, Trieste: 72-125.

Codurri M., Truzzi A., Bertonazzi M. C. (2005). *Microartropodi del terreno: manuale da campo per il riconoscimento dei microartropodi del terreno come indicatori della qualità biologica del suolo (metodo QBS-ar)*, Consorzio del Parco Naturale dell'Oglio Sud, Calvatone.

Coteaux M., Bottner P., Berg B. (1995). *Litter decomposition, climate and litter quality*. *Trends in Ecology & Evolution*. 10: 63-66

D'Avino L. (2002). *Esposizione del metodo di Vittorio Parisi per la valutazione della Qualità Biologica del Suolo (QBS) e proposta di standardizzazione delle procedure*. Museo di Storia Naturale dell'Università di Parma, Parma.

D'Avino L., Ferri L., Gardi C., Menta C., Parisi V., Peretti P. (2003). *Tre anni di applicazione del QBS. Sperimentazione di un metodo basato sui microartropodi del suolo*. Bollettino della Società Italiana della Scienza del Suolo, 52: 253-264.

Davis S. J., Caldeira K., Matthews D. H. (2010). *Future CO2 emissions and climate change from existing energy infrastructure*. Science, 329: 1330-1333.

Del Favero R., Poldini L., Bortoli P.L., Dreossi G., Lasen C., Vanone G. (1998). *La vegetazione forestale e la selvicoltura nella regione Friuli Venezia Giulia, Vol. I e II*. Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia, Direzione Regionale delle Foreste, Servizio di Selvicoltura, Udine.

Faggian V. (2009). *Caratterizzazione degli humus di cinque tipologie forestali della conca ampezzana e valutazione del "carbon stock" potenziale*.

Faggian V., Bini C., Zilioli D. (2012). *Carbon stock evaluation from topsoil of forest stands in NE Italy*. International Journal of Phytoremediation. 14: 415-428.

Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2006). *World reference base for soil resources 2006: A framework for international classification, correlation and communication*.

Friedlingstein P., Solomon S. (2005). *Contributions of past and present human generations to committed warming caused by carbon dioxide*. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America. 102: 10832-10836.

Galbraith J.M., Kleiman J.A., Bryant R.B. (2003). *Sources of uncertainty affecting soil organic carbon estimates in northern New York*. Soil Sciences Society of America Journal. 67: 1206- 1212.

Gardi C., Parisi V. (2000). *Confronto tra bioindicatori e parametri chimico-fisici nella valutazione della qualità dei suoli soggetti a diverse forme d'uso*. Rendiconti Accademia Nazionale delle Scienze. Memorie di Scienze Naturali. 24: 341-349

Garlato A., Obber s., Vinci I., Sartori G., Manni G. (2009). *Stock attuale di carbonio organico nei suoli di montagna del Veneto*. Studi Trentini di Scienze Naturali. Museo tridentino di Scienze Naturali, Trento, 85: 69-81.

Green R.N., Klinka K., Trowbridge R.L. (1993). *Towards a taxonomic classification of humus forms*. *Forest Science Monograph*, 29: 1-49.

IPCC (2003). *Good Practice Guidance for Land Use, Land Use Change and Forestry*. Institute for Global Environmental Strategies (IGES) for the IPCC. Publisher Institute for Global Environmental Strategies. Japan.

Jabiol B., Brethes A., Brun J.J., Ponge J.F., Toutain F. (1995). *Classification of forest humus forms: a French proposal*. *Annals of Forest Science*, 52: 535-546.

Keeling C.D. (1973). *Industrial production of carbon dioxide from fossil fuels and limestone*. *Tellus*, 25: 174-198.

Lal R. (2005). *Forest soil and carbon sequestration*. *Forest Ecology and Management*. 220: 242-258.

Matthey W., Della Santa E., Wannemacher C. (1992). *Guida pratica all'ecologia*. Zanichelli, Bologna: 230.

Menta C. (2009). *Il contributo dei microartropodi edafici nella valutazione della qualità biologica del suolo*. Congresso internazionale "Air, water and soil quality": 189-198.

Menta C. (2012). *Valutazione della biodiversità del suolo: l'indice di qualità QBS-ar*. Veneto agricoltura.

MiPAAF (Ministero delle Politiche Agricole e Forestali). (2000). *Metodi d'analisi chimica del suolo*, Franco Angeli, Milano.

MiPAAF (2006). *Metodi di valutazione dei suoli e delle terre*. Osservatorio Nazionale Pedologico e per la Qualità del Suolo Agricolo e Forestale. Edizione Cantagalli, Siena.

Munsell Color Company Inc. (1992). *Munsell Soil Color Charts*. Revised edition. Newburgh, New York.

Parisi V. (1974). *Biologia e ecologia del suolo: tecniche di ricerca*. Boringhieri Editrice, Torino, Italia.

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

Parisi V., Menta C., Gardi C., Jacomini C., Mozzanica E. (2005). *Microarthropod communities as a tool to assess soil quality and biodiversity: a new approach in Italy*, Agriculture Ecosystem & Environment, 105: 323-333.

Petrella F., Piazzini M. (2005). *Il carbonio organico negli ecosistemi agrari e forestali del Piemonte: misure ed elaborazioni*. Atti della giornata di studio: Protocollo di Kyoto: il ruolo del suolo nella cattura della CO₂ atmosferica". Associazione Italiana Pedologi, 1-3: 33-34.

Poldini L., Oriolo G., Vidali M., Tomasella M., Stoch F., Orel G. (2006). *Manuale degli habitat del Friuli Venezia Giulia. Strumento a supporto della valutazione d'impatto ambientale (VIA), ambientale strategica (VAS), e d'incidenza ecologica (VIEc)*. Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia - Direzione Centrale ambientale e lavori pubblici - Servizi Valutazione Impatto Ambientale, Università Studi di Trieste - Dipartimento Biologia.

Prichard J. S., Peterson D.L., Hammer R.D. (2000). *Carbon distribution in subalpine forests and meadows of the Olympic Mountains*. Washington. Soil Sciences Society of America Journal. 64: 1834-1845.

Schulp C.J.E., Nabuurs G.J., Verburg P.H., Waal R.W. (2008). *Effect of tree species on carbon stocks in forest floor and mineral soil implications for soil carbon inventories*. Forest Ecology and Management. 256: 482-490.

Schulze K., Borken W., Muhr J., Matzner E. (2009). *Stock, turnover time and accumulation of organic matter in bulk and density fractions of a Podzol soil*. European Journal of Soil Science. 58: 108-114.

Selli R. (1973). *Alpi e Prealpi Carniche e Giulie*. Geologia dell'Italia. U.T.E.T., Torino.

Simonetti G. (1983). *Erbe e piante legnose: Guida alla identificazione delle piante erbacee e legnose più comuni della regione Friuli Venezia Giulia*. Istituto per l'Enciclopedia del Friuli Venezia Giulia, Udine.

Soil Survey Staff (1993), *Soil Survey Manual*. United States Department of Agriculture (USDA), Washington D.C., USA.

Soil Survey Staff, (2006). *Keys to soil taxonomy (tenth edition)*. United States Department of Agriculture (USDA), Natural Resources Conservation Service, Washington D.C., USA.

Solaro S., Brenna S., (2005). *Il carbonio organico nei suoli e nelle foreste della Lombardia*. Atti della giornata di studio "Protocollo di Kyoto: il ruolo del suolo nella cattura della CO₂ atmosferica". Associazione Italiana Pedologi, 1-3: 24-28.

Solomon S., Plattner G.K., Knutti R., Friedlingstein P. (2008). *Irreversible climate change due to carbon dioxide emission*. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 106: 1704-109.

Van Straalen N.M. (1998). *Evaluation of biondicators systems derived from soil arthropod communities*. Applied soil ecology, 9 Special Issues, 429-437.

Wolf U. (1972). *Carta dei suoli del settore occidentale delle Prealpi Giulie*. I.R.T.E.F., Firenze.

Xu X., Liu W., Zhang C., Kiely G. (2011). *Estimation of soil organic carbon stock and its spatial distribution in the Republic of Ireland*. British Society of Soil Science. Soil Use and Management.

Zanella A., Tomasi M., De Siena C., Frizzera L., Jabiol B., Nicolini G. (2001). *Humus Forestali: Manuale di ecologia per il riconoscimento e l'interpretazione*. Edizioni Centro di Ecologia Alpina. Trento.