



DIPARTIMENTO DI SCIENZE AGRARIE ALIMENTARI E AMBIENTALI

CORSO DI LAUREA: SCIENZE FORESTALI E AMBIENTALI (L-25)

TOC IN SUOLI DI BOSCHI MARCHIGIANI.
Soil TOC in Marche region woods.

Tesi sperimentale di:
LORIS LIZZI

Relatore:
PROF.SSA STEFANIA COCCO

Correlatori:
PROF. GIUSEPPE CORTI
DOTT. LORENZO CAMPONI

ANNO ACCADEMICO 2020-2021

INDICE

ACRONIMI E ABBREVIAZIONI	4
1. INTRODUZIONE.....	5
1.1 Il ciclo del carbonio	5
1.2 Il suolo	7
1.2.1 La natura trifasica	8
1.2.2 Le proprietà fisiche e morfologiche.....	10
1.2.2.1 Granulometria e tessitura.....	
1.2.2.2 Struttura	
1.2.2.3 Densità.....	
1.2.2.4 Consistenza.....	
1.2.2.5 Colore	
1.2.3 Gli organismi del suolo.....	16
1.2.4 Il pH del suolo	17
1.2.5 Gli orizzonti.....	18
1.2.5.1 Gli orizzonti organici.....	
1.2.5.2 Gli orizzonti organo-minerali	
1.2.5.3 L'orizzonte Albic	
1.2.5.4 Gli orizzonti minerali.....	
1.2.5.5 Gli orizzonti minerali "C".....	
1.2.5.6 Gli orizzonti di transizione	
1.3 Lo stock di carbonio nei suoli.....	22
1.3.1 Il carbonio organico del suolo	23
1.4 I suoli forestali	24
1.4.1 I fattori che influenzano i TOC dei suoli forestali	25
1.4.2 TOC e CRCO dei suoli forestali italiani e marchigiani	26
1.5 Il suolo nelle normative dell'UE.....	31
2. MATERIALI E METODI	32
2.1 Inquadramento dell'area di studio.....	32

2.2 Metodi di valutazione	35
2.2.1 Individuazione Area omogenea (AO) e Area di saggio (AdS)	36
2.2.2 Metodologia di campionamento	36
2.2.3 Valutazione della densità apparente del suolo	38
2.2.4 Trattamento del campione e analisi di laboratorio.....	39
2.2.4.1 Misurazione del pH.....	
2.2.4.2 Determinazione del contenuto di TOC	
2.3 Calcolo della CRCO	44
2.4 Valutazione della biomassa radicale	45
3. RISULTATI	46
4. CONCLUSIONI.....	87
BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA	89

ACRONIMI E ABBREVIAZIONI

C	Carbonio.
CRCO	Capacità Ritentiva del Carbonio Organico.
ha	Ettaro.
INFC	Inventario Nazionale delle Foreste e dei serbatoi forestali di Carbonio.
LULUCF	Land Use, Land Use Change and Forestry.
MT	Megatonnellate.
PAC	Politica agricola comune.
SOC	Soil organic carbon = Carbonio organico del suolo.
SOM	Soil organic matter = Sostanza organica del suolo.
T	Tonnellate.
TOC	Total organic carbon = Carbonio organico totale.

1. INTRODUZIONE

Negli studi sui cambiamenti climatici il ruolo del suolo risulta molto importante. I suoli, da soli, immagazzinano una quantità di carbonio (C) molto superiore rispetto ad atmosfera e vegetazione combinati, costituendo i più grandi serbatoi terrestri di C (Brevik et al., 2015; Jobbágy and Jackson, 2000) alimentati dalla biomassa vegetale e animale. Risulta estremamente importante preservare la salute dei suoli attraverso una gestione sostenibile degli ecosistemi (Lisky et al., 2002), per favorire l'incremento del loro stock del C e la riduzione delle emissioni di gas serra.

Questa tesi nasce con lo scopo di monitorare e quantificare lo stock di C organico nei suoli di boschi marchigiani, attraverso rilievi pedologici in campo e successive analisi in laboratorio.

1.1 Il ciclo del carbonio

Il ciclo globale del C è un ciclo biogeochimico che riguarda lo scambio di carbonio tra i principali serbatoi del pianeta (Fig. 1): atmosfera, oceani, ambienti terrestri e combustibili fossili. Questo scambio può avvenire in secondi, attraverso la fissazione della CO₂ nella fotosintesi clorofilliana, oppure in millenni, attraverso l'accumulazione di carbonio fossile (oli, gas, carbone) originatosi per la deposizione e diagenesi della sostanza organica.

Il ciclo del C è importante per alcuni motivi. Il primo, il C forma le strutture di tutti gli organismi viventi sul pianeta ed è il substrato energetico alla base della catena alimentare (produttori), è quindi indispensabile per la vita così come è conosciuta; il secondo, il ciclo del C definisce il flusso ed il bilancio di energia che attraversa la Terra, comprendendo il metabolismo dei sistemi naturali, umani e industriali; il terzo, l'aumento dell'utilizzo dei combustibili fossili ha portato all'aumento dei principali gas serra, tra i quali risulta l'anidride carbonica (CO₂), che contribuiscono naturalmente al mantenimento di una temperatura ideale per l'evoluzione e lo sviluppo della vita, ma un eccesso di concentrazione di questi gas dovuto soprattutto alle attività antropiche aumenta l'effetto serra, quindi la temperatura del pianeta. Se i processi con cui i principali serbatoi sottraggono carbonio dall'atmosfera avvengono velocemente, l'aumento di questi gas in atmosfera avverrà lentamente, e si avrà quindi un lento aumento della temperatura globale; al contrario, se questi processi diminuiranno si avrà un

veloce aumento di questi gas serra e quindi della temperatura. Alcuni dei processi che aggiungono o rimuovono carbonio atmosferico sono sotto il controllo dell'uomo, come appunto l'utilizzo dei combustibili fossili, altri processi invece, come l'accumulazione di C negli ambienti terrestri ed acquatici in risposta all'aumento delle temperature, non sono sotto il diretto controllo dell'uomo, se non appunto il flusso antropico di C emesso in atmosfera che determina l'aumento delle temperature (Houghton, 2003).

Tra i principali serbatoi (sink) terrestri, il suolo è quello con la maggior capacità e disponibilità nell'immagazzinare C, circa i 2/3 di tutto il C degli ecosistemi terrestri sono nel suolo (Kobak, 1988), il quale rappresenta il 60% dello stock di C totale nelle foreste temperate (Lal, 2005; Dixon et al., 1994). Perciò nello studio dei cambiamenti climatici si rende necessario comprendere il destino del C del suolo, poiché è stato anche osservato che un aumento della CO₂ atmosferica, a causa dei cambiamenti climatici, porti ad un aumento delle emissioni di metano (CH₄) da parte del suolo (van Groenigen et al., 2011).

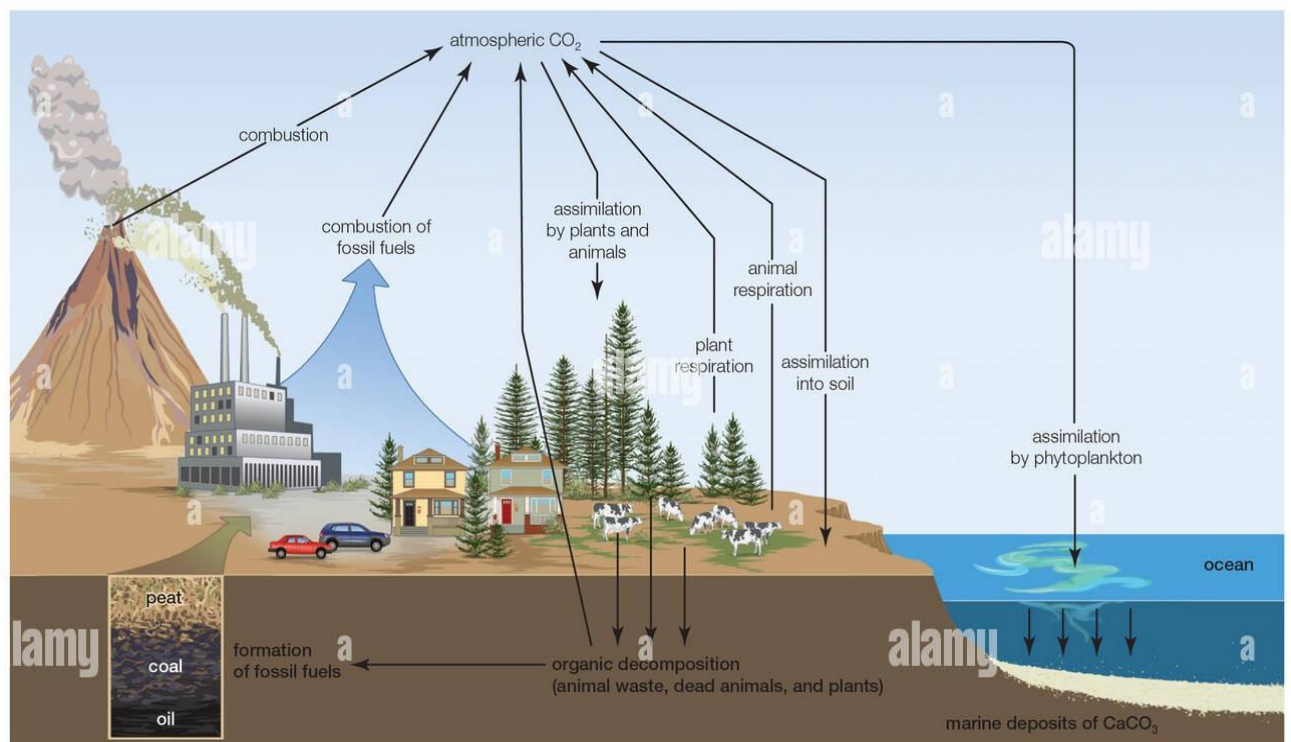


Fig. 1 – Il ciclo globale del Carbonio (fonte: Encyclopaedia Britannica).

1.2 Il suolo

Il suolo è un corpo naturale tridimensionale, formato da numerosi diversi individui tridimensionali (pedon) in correlazione, ma ognuno con caratteristiche proprie, i quali nell'insieme gli conferiscono continuità e lo definiscono (polypedon) (Brady e Weil, 2002). Una definizione completa ed universale di suolo è stata data dal *Soil Survey Staff* e presente nella *Soil Taxonomy*, il sistema di classificazione dei suoli dell'USDA (Soil Survey Staff, 1999): “Il suolo è un corpo naturale costituito da solidi (minerali e sostanza organica), liquidi e gas in diverse percentuali, che si trova alla superficie dei pianeti, che occupa spazio e che è caratterizzato da una o entrambe le seguenti caratteristiche: i) è costituito da orizzonti subparalleli distinguibili dal materiale iniziale come risultato di aggiunte, perdite, trasferimenti e trasformazioni di energia e materia; ii) ha l'abilità di mantenere la vita di piante radicanti in un ambiente naturale (Simonson, 1959)” (Fig. 2).

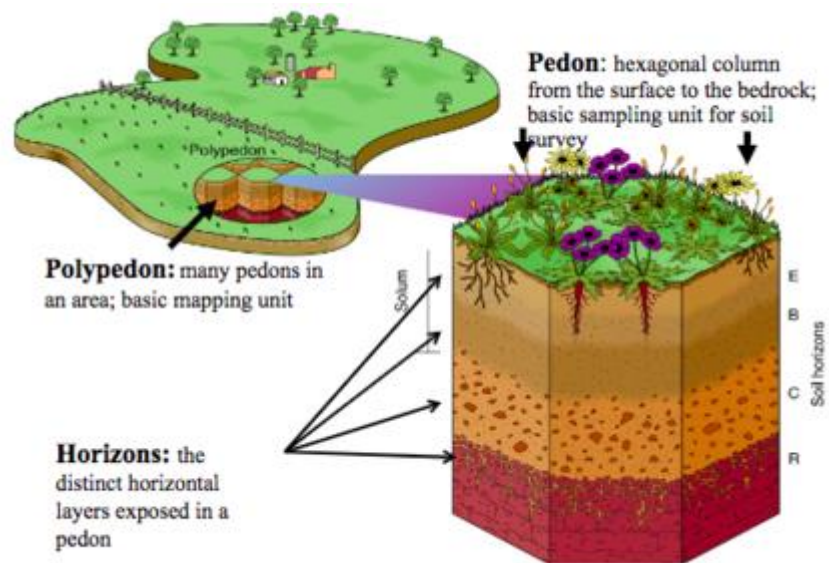


Fig. 2 – Suolo, unità tridimensionali ed orizzonti (fonte: McCool J.P.).

Nel 1941, l'austriaco Hans Jenny propone per la prima volta un modello meccanicistico che considera il suolo come il risultato dell'azione di 5 principali fattori o “forze” della pedogenesi, riconosciuti universalmente:

$$S = f(\text{cl, o, r, t, rm, ...})$$

Dove “S” è il suolo, rappresentato da: “cl” è il clima; “o” sono gli organismi; “r” è il rilievo ovvero la posizione fisiografica (altitudine, latitudine, esposizione); “t” è il tempo; “rm” è la roccia madre o materiale parentale, il suolo si origina e si organizza a partire dal substrato pedogenetico, ovvero quel materiale derivante dall’alterazione della roccia madre; “...” sono altri fattori, conosciuti e non, generalmente trascurabili, ma che possono avere importanza locale, generando anche dei biotipi (es. fuoco o terremoto).

Quindi, il suolo è un unico organismo naturale che si manifesta come sistema complesso, risultato della pedogenesi, ovvero dell’insieme delle innumerevoli interazioni tra fattori chimici, fisici e biologici (Minasny et al. 2008).

1.2.1 *La natura trifasica*

Il suolo non è uguale né nello spazio né nel tempo né con la profondità, ognuno si origina a seguito di processi particolari e ognuno con caratteristiche particolari, è un sistema complesso e dinamico in cui coesistono diverse fasi: i) fasi solide, tra le quali le componenti inorganiche o minerali, le componenti organiche e la biomassa; ii) fasi liquide, anche conosciuta come soluzione del suolo o soluzione circolante del suolo, è costituita da una soluzione acquosa di vari soluti in sospensione fine e in dispersione; iii) fase gassosa, definita anche atmosfera tellurica, è costituita dalle componenti tipiche dell’atmosfera ma in percentuali differenti (Miano et al., 2017).

Va ricordato che il suolo ha origine nella pedosfera (Fig. 3), il punto di contatto tra atmosfera, idrosfera e litosfera, tra loro in stretta relazione, ed è sede di tutti gli scambi di energia e materia che avvengono tra questi comparti limitrofi compresa la biosfera (pedofauna, microrganismi, vegetali), perciò la natura e la quantità dei costituenti delle diverse fasi è diversa in ogni suolo (Lal et al., 1998).

La fase solida del suolo costituisce circa il 40-60% del volume del suolo (Fig. 4), di cui la maggior parte delle volte il 90% è rappresentato dalle componenti inorganiche, ad eccezione dei suoli organici in cui la componente organica supera il 10%. A grandi linee, la componente inorganica del suolo è costituita da minerali primari e secondari, i primi sono quei minerali derivanti direttamente dalla roccia madre e sono residui di questa, mentre i minerali secondari sono minerali di neoformazione generati dall’alterazione dei minerali primari durante la pedogenesi e dalla successiva ricombinazione (Miano et al., 2017). I minerali primari più abbondanti sono i silicati, costituiti da silicio ed ossigeno, tutti gli altri minerali sono definiti non silicatici (carbonati, ossidi, fosfati ecc.). I minerali secondari presenti nel suolo sono minerali argillosi, ossidi e idrossidi di numerosi elementi, diversi a seconda del grado e durata dell’alterazione dei minerali primari (Volante, 2013). La componente organica del suolo è

invece costituita da un insieme complesso ed eterogeneo di composti organici diversi per composizione chimica e fisica, funzioni e dinamiche, risultati dai diversi processi che interessano i residui di vegetali, microrganismi e animali del suolo. Durante questi processi si ha la formazione delle sostanze umiche, composti di neoformazione a partire dal materiale organico presente e di diversa natura a seconda del materiale di partenza. Rappresentano la componente organica “stabile” che interagisce con le frazioni minerali per formare aggregati, le cui dimensioni e caratteristiche chimico-fisiche condizionano la struttura (Celi et al., 2017).

La fase liquida è costituita dall’acqua fornita dalle precipitazioni o con l’irrigazione, il suolo è in grado di assorbire quest’acqua in relazione alle forze di attrazione che le superfici delle componenti solide e i pori di piccole dimensioni esercitano. L’acqua è importante per sostenere la vita e la presenza di questa è ciò che distingue un suolo da un deposito geologico.

La fase gassosa è in rapporto con la fase liquida, dal momento che entrambe occupano gli spazi vuoti del terreno, ed in proporzioni variabili e complementari che cambiano nel tempo a seconda delle condizioni ambientali. Nel suolo la concentrazione percentuale di ossigeno è leggermente inferiore a quella dell’atmosfera, al contrario la percentuale di CO₂ è da 10 a 100 volte maggiore per la respirazione di microrganismi, pedofauna e radici vegetali; inoltre, l’aria tellurica è generalmente satura di vapore acqueo, per lo stretto contatto con la fase liquida (Bufo e De Nobili, 2017).

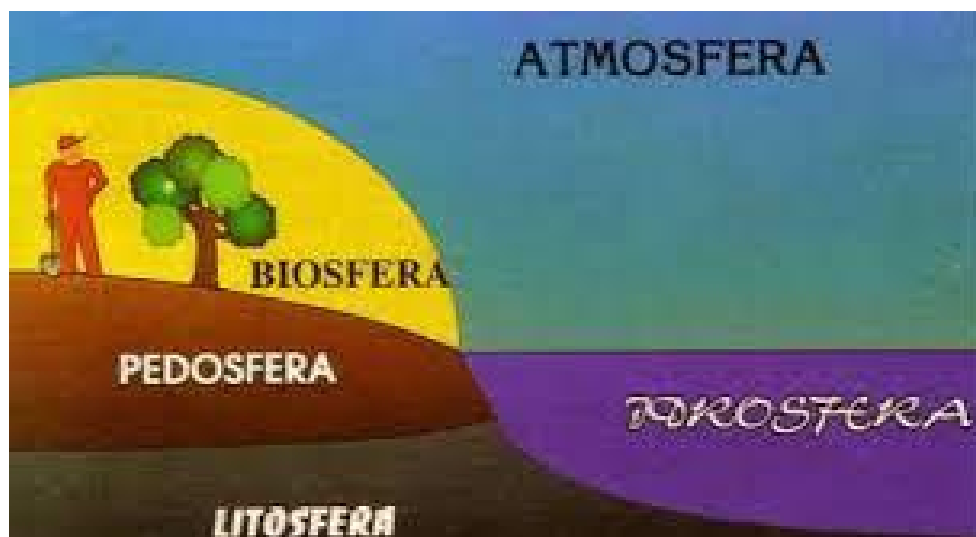


Fig. 3 – Rappresentazione della pedosfera (fonte: Unirc).

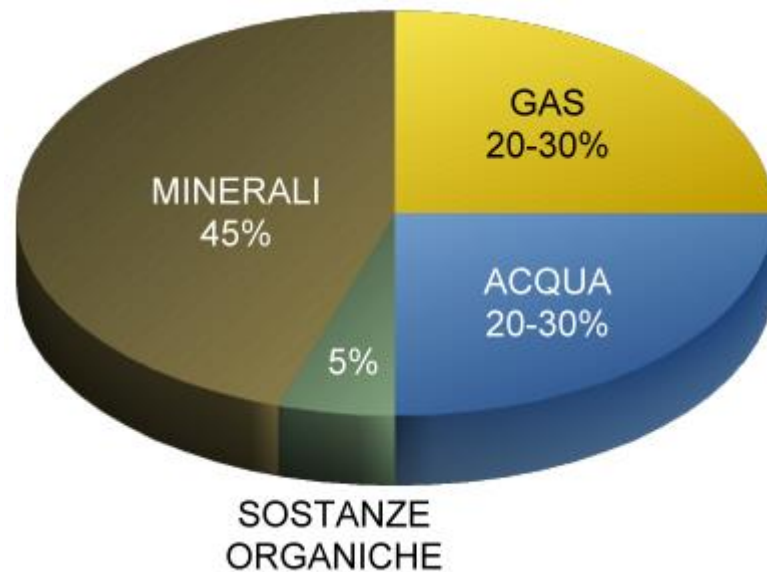


Fig. 4 – Ripartizione percentuale media delle diverse fasi del suolo (fonte: G.M.P.E.).

1.2.2 Le proprietà fisiche e morfologiche

Le proprietà fisiche del suolo influenzano il movimento dell'acqua e dei nutrienti ed eventuali contaminanti disciolti in essa, influenzano le proprietà chimiche e biologiche del suolo, di conseguenza influenzano anche la crescita delle piante e degli organismi del suolo.

Di seguito vengono riportate le principali proprietà fisiche utilizzate nell'analisi di campagna e di laboratorio.

1.2.2.1 Granulometria e tessitura

Il suolo è costituito da particelle solide minerali di diversa dimensione, USDA e IUSS hanno proposto un rispettivo sistema di classificazione, i quali raggruppano le particelle solide del suolo in classi granulometriche, sulla base di diversi valori. Le diverse classi granulometriche si comportano diversamente dal punto di vista fisico ma anche chimico; quindi, in funzione del loro comportamento e delle proprietà fisiche che impartiscono al suolo, le particelle solide minerali possono essere suddivise in: i) scheletro, tutte le particelle solide con diametro maggiore di 2 mm; ii) terra fine, tutte le particelle solide con diametro inferiore a 2 mm.

La terra fine è ulteriormente suddivisa in sabbia, limo e argilla, secondo l'USDA la sabbia è la componente di terra fine con diametro tra 2 mm e 0,05 mm, visibili ad occhio nudo; le particelle di terra fine con diametro compreso tra 0,05 mm e 2 μ m vengono definite limo, con

composizione molto simile alle particelle di sabbia ma non visibili ad occhio nudo; l'argilla è la classe granulometrica di terra fine che comprende particelle solide di diametro inferiore a 2 μm (Fig. 5). Tutte le particelle più fini di 1 nm fanno parte della frazione colloidale del suolo, la quale insieme all'argilla con diametro compreso tra 2 μm e 1 nm determina importanti proprietà per il suolo, sia chimiche che fisiche, come la capacità di trattenere acqua e nutrienti e rilasciarli nel momento di bisogno per piante e microrganismi e la capacità di mantenere inalterato il pH di un suolo. Della frazione colloidale fanno parte anche le sostanze umiche.

La diversa proporzione in peso (%) delle particelle minerali di terra fine separate definisce la tessitura del suolo, l'USDA definisce 4 principali classi tessiturali (Fig. 6), sabbiosa, limosa, argillosa e franca, all'interno delle quali vengono definite ulteriori classi per descrivere con maggiore precisione il concetto di tessitura del suolo e di conseguenza le sue proprietà (Volante, 2013; Bonifacio et al., 2017; *Soil Survey Staff*, 2017).

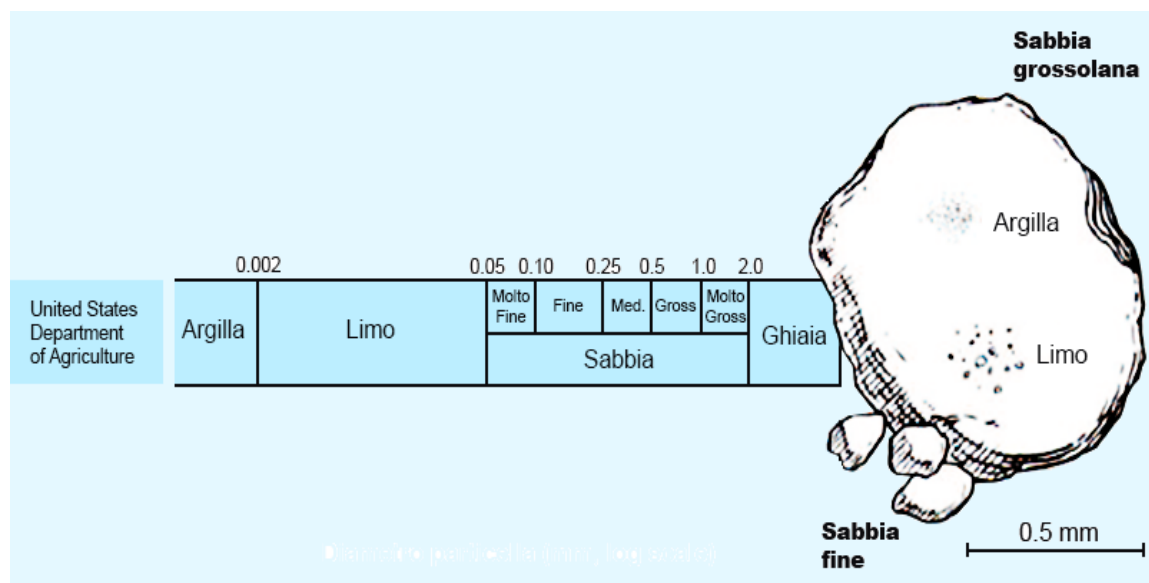


Fig. 5 – Classi granulometriche secondo USDA (fonte: AGRIMAG).

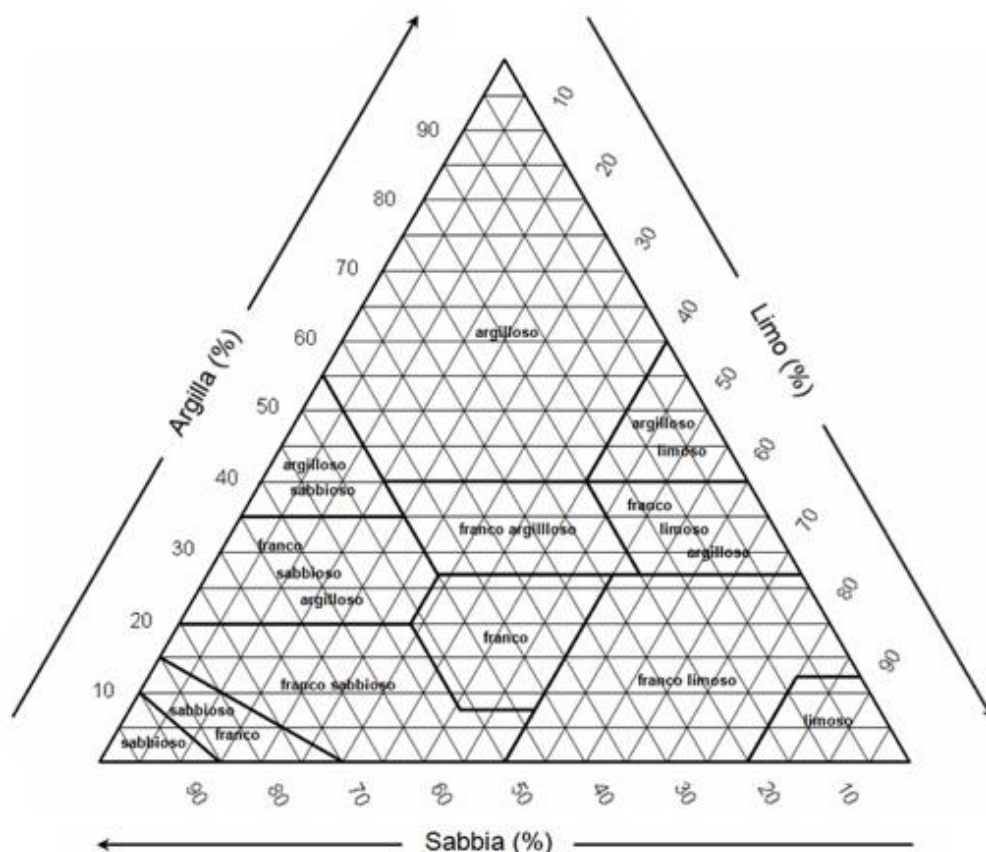


Fig. 6 – Triangolo per la determinazione della classe tessiturale secondo USDA (fonte: FERTILGEST).

1.2.2.2 Struttura

La struttura di un suolo definisce il modo in cui le particelle minerali di terra fine e quelle organiche si organizzano nel formare degli aggregati, di natura e dimensione differenti (Fig. 7). Gli aggregati più piccoli (microaggregati) in genere vanno a formare nel loro insieme aggregati più grandi (macroaggregati); all'interno e tra gli aggregati si formano i pori o spazi vuoti di diversa dimensione, caratteristica importante per il passaggio della fase liquida (micropori o porosità capillare) e gassosa nel suolo (macropori o macroporosità).

La formazione degli aggregati è dovuta a numerosi processi abiotici e biotici, ma quelli particolarmente rilevanti ed indispensabili sono i processi abiotici o chimico-fisici che riguardano la flocculazione dei colloidali minerali ed organici, favorita dalla presenza di cationi polivalenti che determinano la formazione di legami stabili tra argilla, sostanze umiche e ossidi/idrossidi (di Fe e Al). La struttura del suolo può essere considerata una proprietà

dinamica, poiché suscettibile alla disgregazione a causa degli agenti chimici, fisici e biologici, persino quelli più resistenti (Bonifacio et al., 2017).

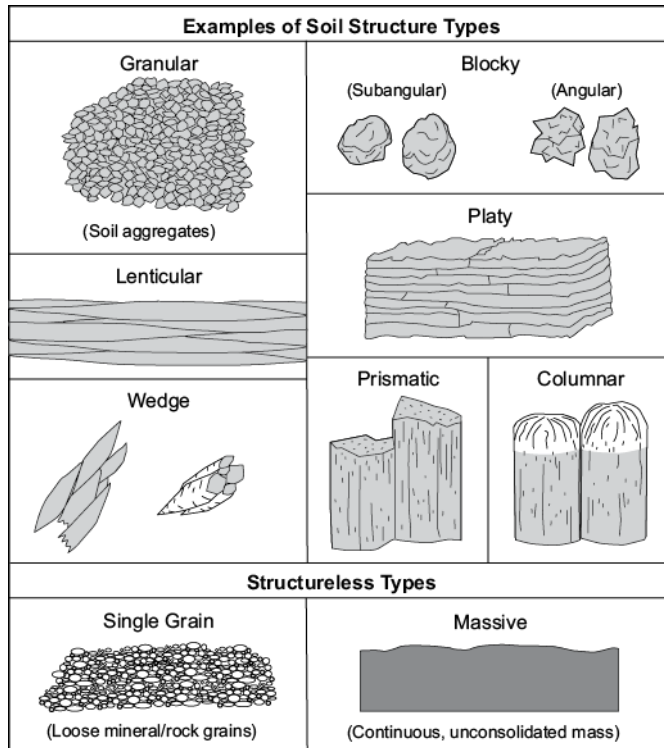


Fig. 7 – Alcuni esempi di struttura del suolo secondo USDA (fonte: *Soil Survey Staff.*, 2017).

1.2.2.3 Densità

La densità di una sostanza è espressa come la sua massa (kg o g) per unità di volume (m^3 o dm^3). Nel suolo si distingue la densità reale, intesa come il rapporto tra la massa delle sole componenti solide e il loro volume, e la densità apparente (*bulk density*), che al contrario della densità reale prende in considerazione il volume totale del suolo, comprendendo quindi anche la porosità.

La densità reale di un suolo dipende solo dalla natura chimica e mineralogica delle componenti solide; la densità apparente invece è influenzata dalla tessitura e dalla struttura e dalle loro interazioni, risulta un importante parametro per valutare la qualità dei suoli, tanto più sono inferiori i valori di densità apparente e tanto maggiore sarà la porosità (Bonifacio et al., 2017).

1.2.2.4 Consistenza

In senso generale, la consistenza del suolo si riferisce al grado di coesione e adesione oppure alla resistenza alla deformazione o alla rottura del materiale del suolo, è quindi una

proprietà strettamente correlata alla struttura del suolo. Essa dipende altamente dal contenuto d'acqua presente e in base a questo vengono eseguiti diversi test, ad esempio per suoli secchi o un po' umidi viene valutata la resistenza alla rottura, utilizzando termini differenti in base al contenuto d'acqua (*Soil Survey Staff*, 2017; Schoeneberger et al., 2012).

1.2.2.5 Colore

Il colore è la caratteristica fisica più evidente durante l'osservazione del suolo, esso fornisce informazioni riguardo la natura dei costituenti del suolo, dalle quali si può risalire ai processi pedogenetici avvenuti. I principali fattori che influenzano il colore del suolo sono: i) la sostanza organica humificata, la sua presenza conferisce una colorazione tendente al nero in relazione alla sua quantità, copre le particelle minerali mascherandone la brillantezza; ii) il contenuto d'acqua, suoli ad uno stato umido sono generalmente più scuri rispetto ad un loro stato essiccato; iii) il contenuto ed il tipo di ossidi e idrossidi di ferro e manganese, ad esempio ossidi di ferro con tripla valenza (ferrico) donano al suolo una colorazione tendente al rosso, mentre idrossidi dello stesso tipo di ferro determinano una colorazione giallo-bruna.

La descrizione del colore del suolo avviene per comparazione attraverso l'utilizzo delle *Munsell Soil Color Charts* (Fig. 8), un campionario di colorazioni ordinate sistematicamente. In queste tavole ogni colore viene classificato sulla base di tonalità (*hue*), luminosità (*value*) e saturazione (*chroma*). La tonalità indica un colore puro, ovvero con una sola lunghezza d'onda, in genere nei suoli la tonalità varia dal rosso (10R) al giallo (5Y); la luminosità indica la quantità di nero (0) o di bianco (10) presente nel colore percepito; la saturazione indica l'intensità del colore, varia da 0 a 8 (Figg. 9-10) (*Bonifacio et al.*, 2017; *Soil Survey Staff*, 2017).



Fig. 8 - *Munsell color soil charts*.

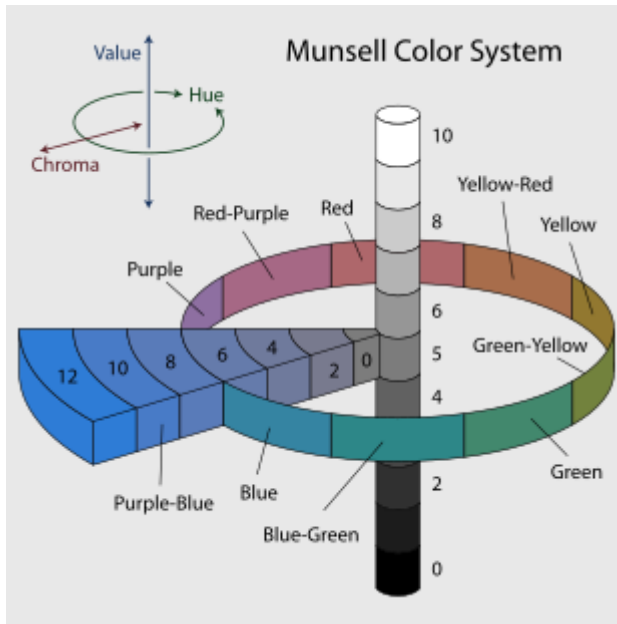


Fig. 9 – Sistema Munsell dei colori (fonte: Rus, 2007).

Page in a Munsell Color Book

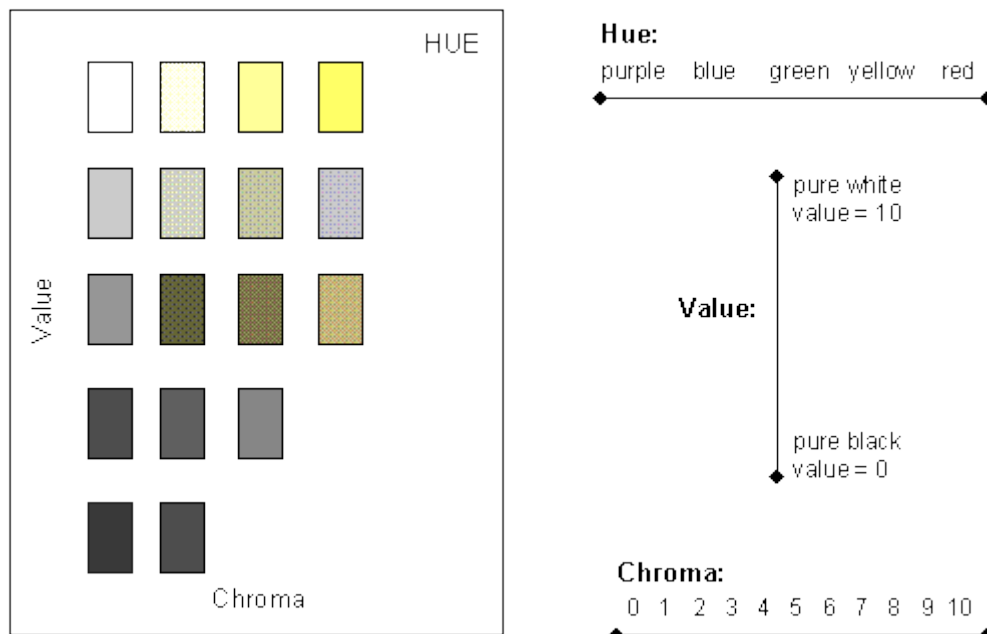


Fig. 10 – Lettura di una pagina nelle tavole Munsell (fonte: Earthy-Moony, 2010).

1.2.3 Gli organismi del suolo

Dal punto di vista biologico, il suolo è un sistema estremamente complesso, nel quale migliaia di organismi interagiscono e partecipano ai cicli biogeochimici, compreso quello del carbonio. L'attività di questi organismi nella pedosfera è definita da reazioni enzimatiche, in particolare le popolazioni microbiche (principalmente batteri e funghi) sono i responsabili della degradazione di tutti i composti organici presenti nel suolo, di conseguenza sono responsabili della formazione della sostanza organica humificata e inoltre sono quelli maggiormente coinvolti nei cicli biogeochimici (Rutigliano et al., 2004; Delmont et al., 2012). La quantità in biomassa delle popolazioni microbiche è molto maggiore di quella degli altri organismi che vivono sul suolo e queste popolazioni sono caratterizzate da una notevole diversità. Oltre ai microrganismi, che non contengono solo batteri e funghi ma anche di attinomiceti, lieviti ed alghe, fanno parte degli organismi del suolo anche protozoi, nematodi, anellidi come i lombrichi, artropodi quali formiche, termiti, collemboli ed acari, radici delle piante e virus (Fig. 11). L'attività degli organismi del suolo è influenzata dalla temperatura, più è alta e maggiore è la loro attività, mentre il freddo la riduce, arrestandosi quando l'acqua presente nel suolo congela (Accordi et al., 1993). Lo stesso vale per le attività chimiche che avvengono nel suolo.

Tutti questi organismi attraverso la loro azione determinano effetti positivi sulla struttura e sui processi del suolo (Nannipieri et al., 2017; Volante, 2013).

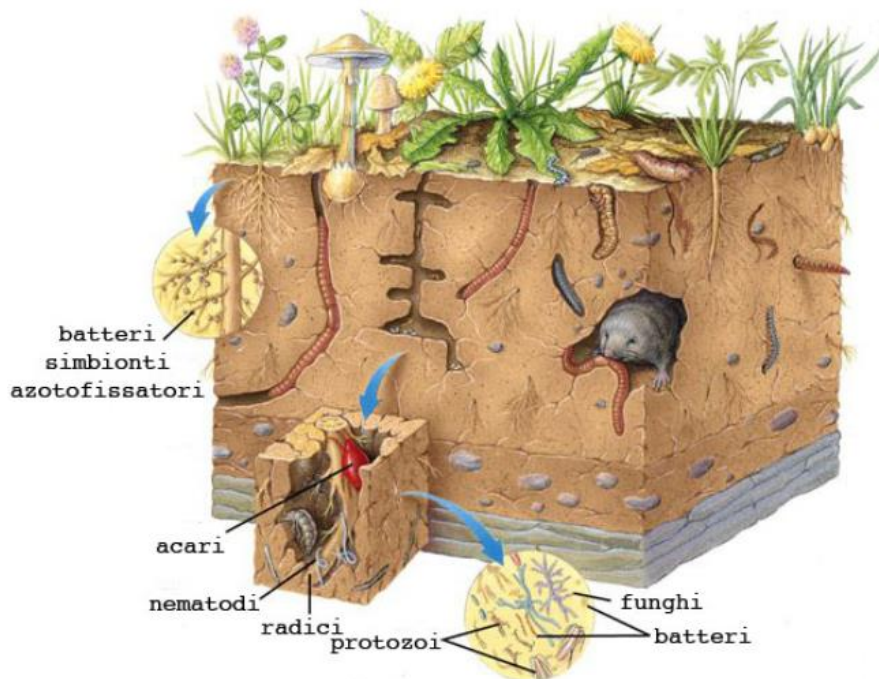


Fig. 11 – Gli organismi del suolo (fonte: SIPe, 2016).

1.2.4 Il pH del suolo

Una soluzione acquosa è costituita da ioni H_3O^+ e ioni OH^- per la presenza di sostanze acide e basiche in essa. La concentrazione degli H_3O^+ definisce l'acidità di una soluzione, ma essendo questa concentrazione una potenza decimale negativa e quindi espressa con numeri molto piccoli, si utilizza il pH, che sta per "potenziale idrogenionico", ed è l'operazione matematica "logaritmo decimale negativo della concentrazione di H_3O^+ " ($-\log[\text{H}_3\text{O}^+]$). In questo modo, l'acidità di una soluzione è esprimibile in un range da 0 a 14, dove 0 è la massima acidità e 14 la massima alcalinità; soluzioni con pH da 0 a 7 saranno acide, con pH da 7 a 14 saranno alcaline (o basiche), con pH uguale a 7 saranno neutre (Binaglia e Giardina, 2006).

Il pH del suolo definisce una sua proprietà definita reazione del suolo, in grado di influenzare le sue caratteristiche chimiche, fisiche e biologiche.

Il valore del pH del suolo dipende soprattutto dalla natura chimica della fase solida del suolo ed in particolare dalla frazione colloidale. Le particelle colloidali presentano cariche superficiali (nel suolo sono prevalentemente negative) in grado di attrarre elementi di carica opposta presenti nel suolo, le basi di scambio (K^+ , Na^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+}) o gli acidi di scambio (Al^{3+} e H_3O^+), rilasciandone altri per contrastare la variazione di pH della soluzione circolante (potere tampone del suolo); il numero di basi o acidi di scambio che i colloidi possono "sequestrare" (grado di saturazione del colloide) dipende sia dalla natura e quantità di questi elementi di scambio, sia dalla natura e quantità dei colloidi (Saviozzi et al., 2017; Marzadori et al., 2017).

Quindi il pH risulta variare in base:

- Alla presenza di H_3O^+ nella soluzione circolante.
- Al tipo e al grado di saturazione dei colloidi argillosi e organici.
- Alla natura delle basi e acidi di scambio.

Il pH del suolo influenza notevolmente (Marzadori et al., 2017):

- L'attività microbiologica. Il pH influisce sulla tipologia e la densità della popolazione microbica, la maggior parte dei batteri da cui dipendono la decomposizione della sostanza organica ed altri processi (azoto-fissazione, nitrificazione) esigono un ambiente sub-acido o leggermente alcalino (pH 6,8-7,2). Se il pH tende all'acidità viene favorito lo sviluppo dei funghi e ciò si ripercuote sia sulla disponibilità di elementi nutritivi sia sul processo di humificazione.
- La disponibilità di elementi minerali. Il pH del suolo condiziona la solubilità dei vari elementi minerali nel suolo, determinando il loro accumulo in forme più o meno

disponibili per le piante o la loro lisciviazione verso strati più profondi. Gli elementi nutritivi come Fe^{3+} , Zn^{2+} , Cu^{2+} , Mn^{2+} , si trovano liberi nella soluzione circolante quando questa ha bassi valori di pH; valori estremamente bassi di pH causano, però, un elevato aumento di disponibilità di questi ioni che si traduce in tossicità, mentre all'aumentare del pH, la loro concentrazione diminuisce per insolubilizzazione, provocando sintomi di carenza nelle piante, ad esempio la clorosi delle foglie dovuta a mancanza di ferro.

- La mobilità di ioni tossici. La progressiva diminuzione di pH determina la mobilità e la conseguente tossicità di alcuni elementi, quali ad esempio l'alluminio che si accumula sulle pareti cellulari delle radici, impedendo la traslocazione dei nutrienti e riducendo lo sviluppo delle radici stesse.

1.2.5 *Gli orizzonti*

Gli orizzonti di un suolo sono strati approssimativamente paralleli alla superficie del suolo stesso, che poggiano l'uno sopra l'altro, e sono tra loro distinguibili per alcuni specifici "set" di proprietà che sono la manifestazione dei processi pedogenetici, queste proprietà sono ad esempio spessore, colore, struttura, tessitura, ecc.; di conseguenza, la presenza di determinati orizzonti permette di comprendere la pedogenesi che ha interessato un particolare suolo e per questo, tali orizzonti vengono definiti "diagnostici", se ci sono allora in quel suolo sono avvenuti particolari processi i quali definiscono uno degli ordini di suoli definiti nella *Soil Taxonomy*. Il termine "orizzonte" viene sostituito da "strato" quando le proprietà sono ereditate dal materiale parentale, come ad esempio uno strato sedimentario, e non dai processi pedogenetici.

La successione degli orizzonti definisce il profilo del suolo (Fig. 12), esso si ottiene attraverso un taglio verticale del suolo ed è la rappresentazione in due dimensioni del *pedon*; lo studio del profilo include anche la determinazione delle proprietà del suolo stesso e la determinazione degli orizzonti che lo compongono (*Soil Survey Staff*, 2017), alcuni dei quali possono essere assenti in un suolo e definire diverse sequenze spaziali (Cremaschi e Rodolfi, 1991).

Gli orizzonti possono essere fisicamente e chimicamente impoveriti di composti colloidali (minerali ed organici) o di complessi organo metallici, che hanno quindi subito un impoverimento attraverso il trasporto di queste sostanze, in soluzione o in sospensione, e vengono definiti orizzonti **eluviali**. Gli orizzonti eluviali si trovano al di sopra di un orizzonte **illuviale**, il quale risulta arricchito in colloidali minerali, organici, organo-metallici o in una

combinazione di questi componenti che siano stati eluviati dall'orizzonte soprastante (Bonifacio et al., 2017).

Nella *Soil Taxonomy* gli orizzonti vengono suddivisi in: i) “*Epipedon*”, gli orizzonti che si formano in superficie o nei pressi di essa e nel quale molto del materiale parentale è stato distrutto, è annerito dalla sostanza organica o presenta segni di eluviazione o entrambi; ii) “*Endopedon*”, gli orizzonti al di sotto della superficie del suolo, sebbene in alcune aree possono trovarsi direttamente sotto lettiera, a causa ad esempio della perdita del suolo per erosione (*Soil Survey Staff*, 1999).

Gli orizzonti che sono tra loro correlati dallo stesso periodo di pedogenesi, quindi tutti quelli che sono in via di formazione, definiscono il “*solum*” (plurale “*sola*”). Nel classificare i suoli, la *Soil Taxonomy* di fatto classifica i “*sola*”, che comprendono gli *Epipedon* e gli *Endopedon* (*Soil Survey Staff*, 2017).



Fig. 12 – Esempio di profilo di suolo.

Di seguito vengono descritti gli orizzonti rilevati nell'analisi di campagna.

1.2.5.1 Gli orizzonti organici

La *Soil Taxonomy* definisce come orizzonti organici gli orizzonti dominati dal materiale organico del suolo, quindi da foglie, aghi, rami ecc., sono indicati con la lettera "O". In base allo stato di decomposizione della sostanza organica, si distinguono i seguenti orizzonti organici: i) **Oi**, dove "i" sta per "indecomposto", è il primo orizzonte organico, formato da materiale organico indecomposto nel senso di ancora riconoscibile per la quasi totalità, è ad un iniziale stadio d'attacco, utilizzato subito da funghi, batteri e gli altri organismi del suolo, è l'orizzonte definito spesso "lettiera"; ii) **Oe**, "e" indica "emic" ovvero "metà", è il secondo orizzonte, più scuro del precedente, e il materiale organico di cui è costituito è ad uno stato di decomposizione intermedio, con dimensioni più piccole rispetto a quello dell'orizzonte precedente, inoltre compaiono le sostanze humiche; iii) **Oa**, dove "a" indica "alterato", i materiali sono così fini da non essere riconoscibili, sono molto neri per le sostanze humiche che nel loro complesso danno una colorazione nera.

Alcuni orizzonti organici sono saturati d'acqua per un lungo periodo, altri erano saturati e successivamente drenati in modo artificiale, altri ancora non sono mai stati saturati (*Soil Survey Staff*, 2017).

1.2.5.2 Gli orizzonti organo-minerali

Indicati con la lettera "A", gli orizzonti organo-minerali sono orizzonti che hanno un'accumulazione di sostanza organica humificata strettamente miscelata alla frazione minerale, la quale quest'ultima risulta essere in quantità molto superiori rispetto alla controparte organica (Schoeneberger et al., 2012). Inoltre, mostrano la scomparsa di un po' o di tutta la struttura della roccia madre; spesso questi orizzonti possiedono caratteristiche derivanti dalle coltivazioni, dai pascoli ed attività simili.

In particolari ambienti, possono esserci alcuni di questi orizzonti di superficie con colore litocromico, non dovuto quindi alla sostanza organica, come ad esempio materiale vulcanico nei medesimi ambienti o solfuri di ferro presenti a causa di processi riduttivi (*Soil Survey Staff*, 2017; Bonifacio et al., 2017).

1.2.5.3 L'orizzonte *Albic*

Questi orizzonti sono indicati con la lettera "E", che significa "eluviale". Sono orizzonti caratterizzati da un'intensità di eluviazione considerevole, colloidali argillosi e complessi-

metallici vengono persi per eluviazione, rimanendo solo particelle di sabbia o limo. Assumono un colore tendente al “bianco”, da qui la denominazione di orizzonte albico o “*Albic*”.

È un orizzonte superficiale che si trova al di sotto degli orizzonti organici od organo-minerali e al di sopra degli orizzonti minerali (*Soil Survey Staff*, 2017).

Gli orizzonti fin qui descritti vanno a costituire gli *Epipedon*.

1.2.5.4 Gli orizzonti minerali

Questi orizzonti, indicati con la lettera “B”, sono situati al di sotto dei precedenti, sono considerati orizzonti sub-superficiali e per questo rientrano negli *Endopedon*; in alcuni casi possono trovarsi nei pressi della superficie.

Tra questi, ci sono orizzonti caratterizzati da illuviazioni di carbonati, gesso o silicati ad esempio, come risultato dei processi pedogenetici.

Particolarmente importante risulta l’orizzonte *Cambic*, in quanto è presente in molti profili riportati all’interno di questa tesi. Questo orizzonte minerale è indicato con “Bw”, dove “w” indica “*weathering*”, cioè “alterato”, ed è un orizzonte che, come suggerisce il nome, sta sviluppando le caratteristiche tipiche di uno o più orizzonti diagnostici già descritti, oppure semplicemente è in uno stadio in cui l’alterazione non avanza. Potendo sviluppare diverse proprietà diagnostiche, non tutti gli orizzonti *Cambic* sono uguali (*Soil Survey Staff*, 2017).

1.2.5.5 Gli orizzonti minerali “C”

Nonostante questi orizzonti non siano diagnostici ai fini delle classificazioni dei suoli, sono comunque interessati dai processi pedogenetici, seppur di lieve entità. Sono orizzonti minerali caratterizzati dalla mancanza di una qualsiasi proprietà descritta per gli altri orizzonti e il materiale che li compone può essere sia simile che diverso da quello da cui è formato il *solum*. Questo orizzonte può essere modificato dalla disgregazione fisica della roccia madre, senza che ci siano evidenti processi pedogenetici, il più delle volte infatti ha praticamente la stessa composizione del materiale parentale, solo con una superficie specifica maggiore (*Soil Survey Staff*, 2017).

1.2.5.6 Gli orizzonti di transizione

Alcune volte non si può definire in modo netto un orizzonte, perché non presenta caratteristiche diagnostiche sufficienti da annoverarli tra uno degli orizzonti descritti. In questi casi, gli orizzonti sono definiti di transizione e sono caratterizzati da alcune proprietà dominanti di un orizzonte e da altre proprietà subordinate di un altro. Saranno indicati con due lettere, ad esempio “AB”, “AE” o “BC”, dove la prima lettera indica le proprietà di

quell'orizzonte dominante nell'orizzonte di transizione, quindi un orizzonte "AB" avrà le caratteristiche dell'orizzonte "A" maggiormente espresse rispetto a quelle dell'orizzonte "B", ma non abbastanza da essere un orizzonte "A" (*Soil Survey Staff, 2017*).

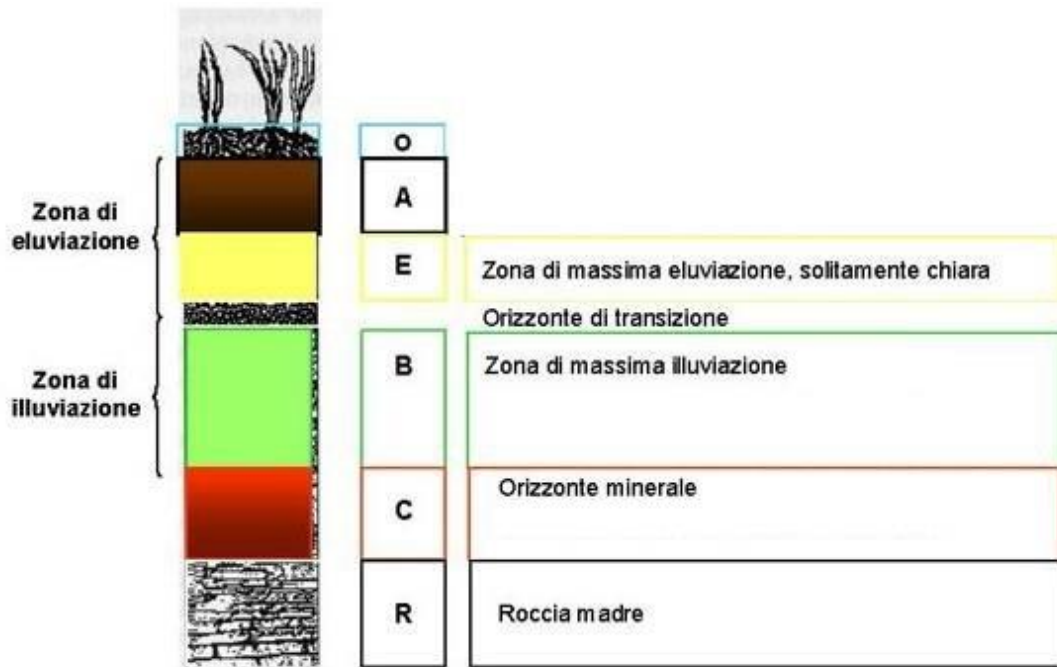


Fig. 13 – I diversi orizzonti lungo un profilo pedologico (fonte: Peresani, 2020-21).

1.3 Lo stock di carbonio nei suoli

Nei sistemi terrestri, il carbonio immagazzinato nell'atmosfera è di circa 750 Pg (1 Pg = 10^{12} kg), quello immagazzinato nella biomassa vegetale è di 550 Pg, quello immagazzinato nel primo metro di profondità del suolo ammonta a circa 2200-2300 Pg. Nel suolo sono presenti due tipi di serbatoi di carbonio, il carbonio inorganico del suolo (SIC) e il carbonio organico del suolo (SOC) (Lal et al., 1998), dei 2200-2300 Pg di carbonio immagazzinati nel suolo, circa 700-930 Pg sono dati dal carbonio inorganico, soprattutto carbonati, i restanti 1270-1500 Pg sono dati dal carbonio organico e di questa quantità, 900-1300 Pg sono immagazzinati nei suoli minerali (Corti et al., 2017). È stato stimato un aumento annuale fino al 2040 dei serbatoi di carbonio del suolo di 43 Tg (1 Tg = 10^9 kg) (Lisky et al., 2002). Il suolo quindi contiene circa tre volte il carbonio presente nell'atmosfera e quattro volte quello presente nella biomassa vegetale, e solo la massa globale di SOC è più grande della massa di carbonio contenuta in atmosfera e nelle piante insieme (Ciais et al., 2013).

Nonostante questi dati rappresentino delle stime, differenti in base alle diverse caratteristiche dei suoli, si comprende comunque meglio l'importanza e la capacità del suolo nell'immagazzinare carbonio.

Lo stock di carbonio del suolo può essere influenzato da innumerevoli fattori, ad esempio differenze di distribuzioni spaziali delle comunità microbiche del suolo possono influenzare il turnover del carbonio del suolo attraverso la loro interazione con la vegetazione e varie proprietà del suolo (Bayley et al., 2002; Deng et al., 2016).

1.3.1 *Il carbonio organico del suolo*

Dal punto di vista chimico, il carbonio può trovarsi nella forma inorganica, con numero di ossidazione generalmente uguale a +4 (CO₂, carbonati), oppure nella forma organica che costituisce gli organismi viventi, con numero di ossidazione che varia da +4 a -4 ma in media uguale a 0.

Per valutare la risposta dei suoli nei confronti dei cambiamenti climatici, sulla base dei dati precedentemente riportati, risulta ovvia la scelta della quantità totale di SOC (TOC) come parametro, oltre al fatto che piccoli (relativi) cambiamenti nella massa globale del SOC possono avere profondi effetti nella concentrazione di CO₂ in atmosfera e quindi nel cambiamento climatico (Myhre et al., 2013). La quantità totale di SOC è una delle misure delle proprietà del suolo più comuni che permette l'analisi delle condizioni edafiche ed è probabilmente il più importante indicatore del suolo per via del suo ruolo centrale in una serie di funzioni della pedosfera (Karlen et al., 2001; Koch et al., 2013).

Il SOC è una delle componenti della sostanza organica del suolo (SOM), rappresentandone circa il 60%, il processo attraverso il quale la CO₂ atmosferica viene stoccata nel suolo prende il nome di "sequestro del SOC" e prevede l'organizzazione della CO₂ da parte delle piante e il trasferimento del carbonio da queste al suolo come SOM morta, la quale viene decomposta dai diversi organismi del suolo (FAO, 2017). Lo stock di SOC è quindi controllato dal bilancio degli input di carbonio dalla produzione di piante e degli output attraverso la decomposizione della sostanza organica del suolo (Jenny 1941, Schlesinger 1977).

È stato più volte dimostrato nel corso degli anni come il mantenimento della concentrazione di questi stock sia fortemente collegato all'attività biologica e alla produttività agricola (Stockmann et al., 2013). Non solo, la distribuzione spaziale degli stock di SOC è fortemente influenzata dalle diverse specie di piante, in alcuni studi si è osservata la percentuale di SOC nei primi 20 cm di suolo, in relazione al primo metro di profondità, risultando del 33%, 42% e 50% per arbusteti, praterie e foreste rispettivamente; la quantità di SOC negli arbusteti, nel secondo e terzo metro è risultata il 77% di quello del primo metro; nelle foreste e nelle praterie

il totale è stato invece rispettivamente il 56% e il 43% sempre in relazione a quello del primo metro. Al contrario, la quantità assoluta di SOC ha un'associazione maggiore con il clima, è stata osservata una diminuzione del contenuto di TOC con la temperatura, per l'aumentata decomposizione da parte dei microrganismi (Keestrea et al., 2015), ed un aumento con le precipitazioni (Jobbágy e Jackson, 2000). Anche il contenuto di argilla contribuisce all'aumento del contenuto di TOC (Jobbágy e Jackson, 2000), ma è stato anche osservato che questa, insieme all'associazione con le particelle di limo fine, determina la capacità del suolo di preservare SOC (Hassink, 1997); quindi, in aggiunta al clima, la tessitura del suolo ha un ruolo importante nell'aumentare e conservare il SOC, poiché diminuiscono gli *outputs* di C attraverso i suoi effetti stabilizzanti sul SOC (Paul, 1984).

Recentemente è stato proposto un tempo di permanenza medio del SOC di 23 anni (Carvalhais et al., 2014), basato sulle informazioni globali dei profili di suolo derivanti da “*Harmonized World Soil Database*” (HWSD) ed utilizzando un approccio semplicistico con cui viene calcolato il tempo medio di turnover del C (in tonnellate) attraverso il rapporto tra carbonio stoccato nelle piante e nel suolo e il flusso in questo serbatoio di C.

Tutto questo può contribuire a proteggere e conservare le riserve esistenti di SOC, ma devono essere comunque conservati i depositi esistenti (prati permanenti, torbiere e foreste) ed attuate pratiche di gestione che conservino il carbonio nel suolo, poiché negli ultimi due secoli, il SOC ha registrato una perdita stimata dell'8% a livello globale (Comitato nazionale per la biosicurezza, le biotecnologie e le scienze della vita, 2020).

1.4 I suoli forestali

I suoli forestali hanno la particolarità di essere caratterizzati da attività antropica nulla o pressoché tale e, dal punto di vista morfologico, da orizzonti organici superficiali a diverso stato di decomposizione e spessore e orizzonti minerali ricchi di carbonio organico (Corti et al., 2017). Questi suoli sono formati da processi chimico-fisici e biotici complessi e per questo sono estremamente sensibili e vulnerabili ai diversi impatti antropici, non ultimo il riscaldamento attribuito ai cambiamenti climatici in atto. I suoli forestali, le cui caratteristiche dipendono sia dal substrato minerale sia dal bosco che vi vegeta, costituiscono una preziosa riserva idrica e nutritiva oltre ad essere habitat importanti per flora e fauna. Grazie ai processi di humificazione, stoccando il C organico sia negli orizzonti organici che in quelli minerali, i suoli forestali contribuiscono in modo rilevante alla riduzione di CO₂ atmosferica e svolgono un ruolo considerevole nel bilancio dei gas serra. In Italia la maggior parte dei suoli forestali ha subito nel tempo modificazioni per azioni antropiche ma il suolo forestale è fortemente

influenzato anche da un gran numero di eventi e processi naturali, alcuni dei quali hanno importanti ripercussioni sullo stock del C nel suolo (Comitato nazionale per la biosicurezza, le biotecnologie e le scienze della vita, 2020).

1.4.1 *I fattori che influenzano i TOC dei suoli forestali*

La quantità e concentrazione di SOC in suoli forestali sono influenzate da diversi fattori. Tra i fattori naturali che influenzano il SOC ci sono il clima e la morfologia del territorio, ad esempio intense precipitazioni insieme alla pendenza possono innescare fenomeni di erosione; altri fattori naturali sono l'evapo-traspirazione potenziale ed il rapporto tra evapo-traspirazione e precipitazioni annuali (Post et al., 1982), la capacità di scambio cationico (Chandler, 1939), la tessitura del suolo e aggregazione. Anche le diverse specie di piante influenzano il TOC del suolo, in particolare la profondità raggiunta dalle radici è importante per il contenuto di SOC, poiché la loro crescita è il modo più efficace per introdurre C nel suolo (Jobbágy e Jackson, 2000). È stato osservato che specie di conifere con apparato radicale superficiale tendono ad accumulare SOM in orizzonti superficiali, ma meno in quelli minerali, rispetto alle latifoglie. Popolazioni miste di pino e faggio hanno invece mostrato un maggior accumulo di C nelle parti più profonde del suolo minerale, questo perché il faggio con le sue radici raggiunge gli orizzonti minerali (Jandl et al., 2007).

I fattori antropici che possono influenzare il SOC totale nelle foreste includono attività di gestione forestale (Jandl et al., 2007), come deforestazione, afforestazione di suoli agricoli e successiva gestione di piantagioni forestali (Lal, 2005), diradamenti, influenzando la caduta della sostanza organica dalle piante viventi. Le foreste rappresentano il 31% dell'area terrestre globale e immagazzinano il 70% del SOC (Six et al., 2002; Carvalhais et al., 2014), ne consegue quindi che anche il minimo impatto della gestione forestale può influenzare il ciclo globale del C (Davidson and Janssens, 2006; Lal, 2020); comunque, a causa delle lente dinamiche del SOC, è necessario del tempo prima che i cambiamenti relativi alla gestione forestale abbiano il loro pieno effetto sul carbonio del suolo (Lisky et al., 2002).

La deforestazione riduce lo stock di C (Poeplau et al., 2011; Wei et al., 2014), così come può diminuirlo il prelievo di biomassa forestale, anche se temporaneamente (Lal, 2005). Ad esempio è vero che il prelievo di biomassa durante i diradamenti forestali può ridurre temporaneamente la quantità di SOM a terra e quindi lo stock di C, ma si è osservato che se questi diradamenti sono di media e bassa intensità (< 55%) promuovono l'aumento di SOC (Gong et al., 2021), poiché viene stimolata la produttività primaria delle piante che si traduce in successivo aumento di SOM a terra per qualità e quantità, aumento della densità di radici fini e del turnover (Saunders et al., 2012; Pang et al., 2016); inoltre, questi diradamenti

stimolano l'attività dei microrganismi attraverso l'aumento della temperatura del suolo e di umidità, catalizzando la biodegradazione di lettiera e radici e quindi l'accumulo di SOC (Waldrop et al., 2003; Adamczyk et al., 2015; Wu et al., 2019).

Per quanto riguarda le pratiche di afforestazione, è stato evidenziato come queste abbiano aumentato il sequestro di C da parte del suolo, oltre all'aumento di copertura vegetale e di altri importanti servizi ecosistemici (Liu et al., 2008; Deng et al., 2014), perciò con queste pratiche si può migliorare la capacità di un territorio di stoccare C (Poeplau et al., 2011; Wei et al., 2014).

1.4.2 TOC e CRCO dei suoli forestali italiani e marchigiani

Secondo l'inventario forestale nazionale (INFC 2005), l'ammontare complessivo di C all'anno di riferimento nelle foreste italiane è pari a 1,24 miliardi di tonnellate (cioè 1,24 Pg), in media $141,8 \text{ Tha}^{-1}$, corrispondenti a 4,5 miliardi di tonnellate di CO_2 assorbita dall'atmosfera. Di questo contenuto totale di C organico, la maggior parte è accumulato nei suoli, che contengono il 57,6% del totale pari a 715,7 MT, di cui 51,5 MT negli orizzonti organici, 315,5 MT nello strato minerale superficiale (tra 0 e 10 cm di profondità) e 348,7 Mt nello strato minerale profondo (10-30 cm), nella lettiera (Oi) sono accumulati 28,3 MT di carbonio organico, pari al 2,3% del C totale.

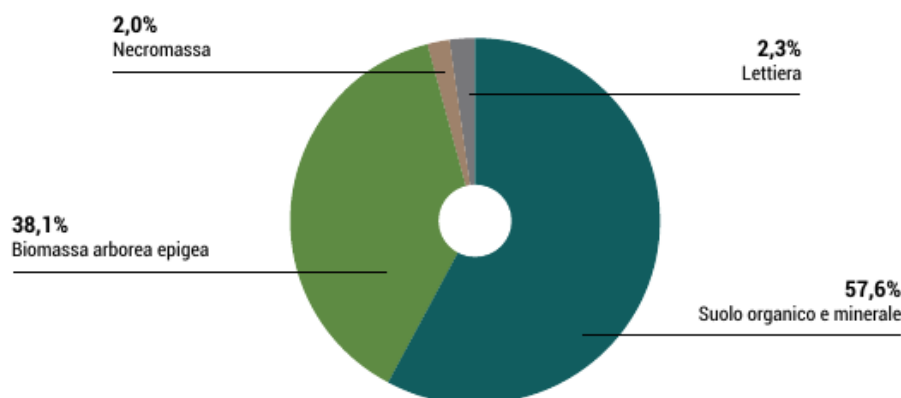


Fig. 14 – Ripartizione percentuale del C accumulato nei pool forestali riferiti al 2005 (fonte: Rapporto sullo stato delle foreste e del settore forestale in Italia, 2017-18).

Nei boschi delle Marche lo stock totale di C è di circa 38,2 MT, di cui circa 26,2 MT è il quantitativo di TOC del suolo, in riferimento ad ogni ettaro sono $131,2 \text{ Tha}^{-1}$ di C totale nelle foreste e $90,1 \text{ Tha}^{-1}$ di TOC del suolo. Di questo quantitativo di stock di C, 516.942 T sono

presenti nella lettiera ($1,8 \text{ Tha}^{-1}$) e $25,7 \text{ MT}$ sono presenti negli altri orizzonti organici e in quelli minerali ($88,3 \text{ Tha}^{-1}$). Lo stock totale di C organico viene tecnicamente definito “Capacità Ritentiva del C Organico (CRCO)”, ovvero la capacità di assorbire ed immobilizzare la CO_2 atmosferica espressa come densità superficiale di C organico (Tha^{-1}).

Questi dati sono i risultati ottenuti a seguito della raccolta di informazioni durante la Fase 3+ del campionamento per l'INFC 2005, finalizzata alla misura diretta del C organico che è stata utilizzata per la stima della CRCO nei principali serbatoi forestali. Per quanto riguarda il suolo, in questa fase sono stati raccolti dei campioni ed inviati a dei laboratori, il totale dei campioni ammonta ad oltre 18.500, corrispondenti a più di 28 T di materiale.

La lettiera è stata campionata su un'area quadrata di $30 \times 30 \text{ cm}$ delimitata da una cornice metallica (Fig. 15). La cornice metallica è stata posizionata e fissata al suolo tramite dei chiodi, tenendo due lati della stessa orientati nella direzione della massima pendenza del terreno. Successivamente si è proceduto al taglio del perimetro interno mediante una spatola o un coltello e alla raccolta di tutto il materiale classificabile come lettiera. Il prelievo degli orizzonti organici è stato eseguito per sfogliatura progressiva del materiale classificabile come tale sulla stessa superficie di campionamento della lettiera, misurando poi lo spessore a metà di ogni lato del profilo con superficie 20×20 aperto all'interno dell'area di campionamento della lettiera. Gli orizzonti minerali sono stati invece prelevati dal piccolo profilo aperto fino alla profondità di 30 cm (Fig. 16), individuato all'interno dell'area di $30 \times 30 \text{ cm}$ utilizzata per il prelievo della lettiera e degli altri orizzonti organici. Per determinare la densità apparente del suolo minerale necessaria a stimare la densità superficiale di C organico è stato prelevato un volume di suolo di 100 cm^3 , mediante l'utilizzo di cilindretti metallici (Rodeghiero, 2013).



Fig. 15 – Cornice metallica $30 \times 30 \text{ cm}$ per il campionamento di lettiera ed orizzonti organici (fonte: Rodeghiero, 2013).



Fig. 16 – Raccolta degli orizzonti minerali in profili 20x20 cm di superficie e 30 cm di profondità (fonte: Rodeghiero, 2013).

Dopo la raccolta dei campioni, questi sono stati inviati presso il laboratorio di fisica del suolo del Centro di Ricerca per l'Agrobiologia e la Pedologia di Firenze, del Consiglio per la Ricerca e la Sperimentazione in Agricoltura (CRA-ABP), dove sono stati determinati il peso secco delle diverse componenti (terra fine, scheletro, radici, ecc.) attraverso trattamenti di essiccazione, per stimarne le quantità per unità di superficie, e la massa volumica apparente. In seguito alla determinazione dei caratteri fisici, sono stati preparati dei sotto-campioni da sottoporre alle analisi chimiche per la determinazione dei TOC di lettiera, orizzonti organici e minerali: i campioni arrivati in laboratorio sono stati sottoposti a trattamento con acido cloridrico (HCl) per rimuovere l'eventuale presenza di C inorganico derivante dal carbonato di calcio presente nel suolo, dopo aver verificato la presenza dei carbonati con l'aggiunta di una goccia di HCl ad un quantitativo minimo di campione. Successivamente, per determinare il TOC è stato utilizzato il metodo della combustione istantanea, secondo "Metodi di analisi chimica del suolo, Ministero delle politiche agricole e forestali, DM 13/09/1999, Gazzetta Ufficiale n° 248 21/10/1999 – Determinazione del carbonio totale o organico e dell'azoto totale con analizzatore elementare.". Il metodo prevede la completa ed istantanea ossidazione del campione per combustione istantanea, con conseguente trasformazione delle sue componenti organiche ed inorganiche in gas che vengono separati per gascromatografia; successivamente un sensore a conducibilità termica provvede a rilevare tra questi gas la CO₂ proveniente dal materiale organico del campione ossidato, esprimendo il TOC in percentuale sul peso del campione analizzato con analizzatore elementare (Frizzera, 2013). Queste analisi sono state effettuate presso il laboratorio di analisi chimica del suolo nel Centro di Ecologia Alpina del Monte Bondone (TN), della Fondazione Edmund Mach (FEM).

Infine, con le percentuali di TOC determinate sono state stimate le CRCO di lettiera, orizzonti organici e suolo minerale. Per quanto riguarda la lettiera, è stato prima moltiplicato

il peso secco in g di ogni componente della lettiera per la rispettiva percentuale di TOC, per i campioni analizzati si è utilizzata la percentuale di TOC ottenuta dall'analisi mentre si è utilizzata una percentuale ottenuta dalla letteratura scientifica per il materiale legnoso e carbone vegetale presenti nella lettiera (precedentemente separati), per poi sommare i singoli valori. Si ottiene così la quantità di TOC riferita alla lettiera esaminata che successivamente è stata estesa alla superficie unitaria attraverso una proporzione ed utilizzando un coefficiente di correzione, ottenendo così le CRCO delle lettiere. Per la determinazione delle CRCO degli altri orizzonti organici si è proceduto come per la lettiera, utilizzando le percentuali di TOC analizzate dai campioni costituiti dagli orizzonti organici.

Per la determinazione delle CRCO dei suoli minerali, sono stati utilizzati i pesi secchi delle diverse componenti del suolo minerale (scheletro, terra fine, radici, ecc.), le loro rispettive percentuali di TOC, derivanti dall'analisi per la terra fine e dalla letteratura per le altre componenti, e la ripartizione dei volumi dei singoli componenti del suolo minerale rispetto al volume totale del profilo, ottenuti conoscendo le rispettive densità apparenti. Come fatto per lettiera e suolo organico, è stato calcolato il TOC del suolo minerale in g moltiplicando il peso secco di ogni componente per la rispettiva percentuale di TOC e sommandoli; successivamente è stato ottenuto il volume totale del suolo minerale sommando i volumi delle singole componenti precedentemente ottenuti per poi moltiplicare questo risultato per un coefficiente di correzione, tenendo conto così della pendenza del suolo. Si ottiene la superficie del suolo minerale scavato dividendo questo volume totale per lo spessore medio del suolo minerale, poi utilizzata per ottenere la CRCO del suolo minerale in riferimento alla superficie unitaria (Gregori, 2013).

Vengono di seguito riportate una tabella relativa alla CRCO dei suoli forestali italiani e marchigiani ed una tabella relativa alla CRCO dei suoli sotto alcuni popolamenti forestali marchigiani, secondo quanto riportato nei risultati dell'INFC 2005 (Gasparini et al., 2013). Le tipologie di cenosi forestale riportate sono quelle scelte per l'analisi sperimentale dei TOC e delle CRCO di suoli forestali all'interno di questa tesi.

	Superficie	CRCO		CRCO		CRCO		CRCO	
	forestale (totale)	suolo organico		suolo minerale		suolo (totale)		forestale totale	
	ha	T	T ha ⁻¹	T	T ha ⁻¹	T	T ha ⁻¹	T	T ha ⁻¹
Totale boschi	308.076	1.375.365	4,8	24.868.421	85,3	26.243.785	90,1	38.229.801	131,2
Marche									
Totale boschi	10.467.533	79.841.51	9,1	664.155.094	75,8	743.996.607	84,9	1.241.577.258	141,8
Italia		3							

Tab. 1 – CRCO dei suoli forestali italiani e marchigiani (INFC 2005).

	Superficie	CRCO		CRCO		CRCO	
	forestale nelle	suolo organico		suolo minerale		suolo (totale)	
	Marche						
	ha	T	T ha ⁻¹	T	T ha ⁻¹	T	T ha ⁻¹
Faggete	17.837	194.870	10,9	1.536.734	86,2	1.731.604	97,1
Querceti	63.530	228.371	3,6	4.521.977	71,2	4.750.348	74,8
Cerrete	27.484	169.803	6,2	2.061.819	75	2.231.622	81,2
Ostrieti, carpineti	76.908	327.091	4,2	8.650.539	112,5	8.977.630	116,7

Tab. 2 – CRCO dei suoli marchigiani sotto alcune tipologie di popolamento forestale (INFC 2005).

Da questi dati si può osservare che la CRCO, sia assoluta che per ettaro, è maggiore nei suoli sotto ostrieti, poiché tra le tipologie forestali riportate sono quelli con maggiore estensione superficiale nella Regione, a seguire ci sono i suoli sotto faggete, quelli sotto cerrete e infine i suoli sotto querceti. I querceti si estendono per una superficie molto maggiore rispetto a faggete e cerrete ma sono caratterizzati da una CRCO del suolo per ettaro più basso, quindi si può concludere che i suoli sotto querceti riescono a stoccare meno SOC per unità di superficie rispetto alle altre tipologie riportate.

1.5 Il suolo nelle normative dell'UE

Per la sua importanza nel sequestrare ed immagazzinare C, il suolo è presente nelle politiche dell'Unione Europea per il controllo del clima.

Per raggiungere gli obiettivi stabiliti con l'*European Green Deal*, dal 2021 l'UE ha deciso di rivedere ed includere nelle sue politiche di riduzioni nette di gas serra il settore LULUCF, il quale riguarda le emissioni e assorbimenti netti di CO₂ ed altri gas serra derivanti dalla gestione dei territori, delle foreste e della biomassa, per il periodo 2021-2030. Il suolo non è singolarmente considerato nelle politiche climatiche europee, ma in associazione con altri comparti, vengono adottate categorie contabili di suoli combinati, che registrano le emissioni nette totali e gli assorbimenti netti totali (Parlamento e Consiglio UE, 2018). Ad esempio, il suolo forestale fa parte della categoria "terreni imboschiti" e, per valorizzare il suo operato, bisogna promuovere azioni di gestione forestale, che come già detto influiscono sul quantitativo di TOC del suolo. L'UE nella Strategia Europea Foreste per il 2030 ha inserito l'impegno di piantare 3 miliardi di piante aggiuntive, per aumentare la copertura forestale europea; questo permetterà quindi di estendere l'utilizzo del suolo forestale, incentivando con dei crediti per l'assorbimento di CO₂ equivalente (CO₂eq) quando questo assorbimento risulta maggiore rispetto al limite minimo fissato, che per il settore LULUCF è -225 MtCO₂eq all'anno, fino ad un massimo di -280 MtCO₂eq (Commissione Europea, luglio 2021).

Recentemente, la Commissione Europea ha pubblicato il *Sustainable Carbon Cycle* (Commissione Europea, dicembre 2021), nel quale vengono inserite le attività sostenibili di uso del suolo agricolo (*Carbon farming*) per il sequestro del C e la conseguente riduzione delle emissioni di CO₂. Per raggiungere questo obiettivo verrà istituito un mercato del carbonio per certificare gli assorbimenti e rilasciare dei crediti e queste attività verranno promosse nell'ambito della PAC ed altri programmi dell'UE come "*A Soil Deal for Europe*". Nelle pratiche di *Carbon farming* rientrano forestazione ed afforestazione, lo sviluppo del comparto agroforestale e tutte quelle azioni in contesto agrario che proteggono il suolo, riducono la perdita di suolo per erosione ed aumentano e conservano il SOC.

2. MATERIALI E METODI

2.1 Inquadramento dell'area di studio

Le aree scelte per effettuare i campionamenti pedologici e le successive analisi fisico-chimiche in laboratorio sono situate all'interno del territorio comunale di San Severino Marche (MC), nella catena del Monte San Vicino (Figg. 17-18) ed in particolare nella fascia bioclimatica altocollinare e montana del macrobioclima temperato che contraddistingue questa zona (Allegrezza, 2003), secondo la classificazione di Rives-Martinez (Rives-Martinez et al., 1999). Il territorio è quindi caratterizzato da inverni con basse temperature, precipitazioni maggiori ed abbondanti in autunno e primavera ed aridità estiva praticamente assente.

La catena del M. San Vicino (1484 m s.l.m.) fa parte della dorsale marchigiana e si estende in direzione NNO-SSE. Dal punto di vista geologico, è caratterizzata dalla serie Umbro-marchigiana (Centamore et al., 1979; 1991), costituita, in ordine dalla più recente, dalle seguenti formazioni:

- Depositi torbiditici miocenici del Bacino della Laga e del Bacino di Camerino (Associazione Arenaceo-conglomeratica, Ass. Arenaceo-pelitica, Ass. Pelitico-arenacea, Peliti, Formazione Gessoso-solfifera);
- Schlier;
- Bisciario;
- Scaglia Cinerea;
- Scaglia Variegata, Scaglia Rosata e Scaglia Bianca;
- Marne a Fucoidi;
- Maiolica;
- Calcari diasprini umbro-marchigiani;
- Formazione del Bosso;
- Corniola;
- Calcare Massiccio.

La dorsale è costituita in prevalenza da litotipi calcarei, quindi dalla Scaglia Variegata, Scaglia Rosata e Scaglia Bianca al Calcare Massiccio.

I bordi esterni della dorsale, che corrispondono con la zona alto-collinare, sono delimitati dalle formazioni della Scaglia Cinerea, del Bisciario e dello Schlier, costituite da marne, marne argillose e argille marnose.

Per quanto riguarda la morfologia della catena del S. Vicino, le azioni dei principali agenti atmosferici (acqua, vento, escursioni termiche) nel corso del tempo, in relazione a litologia e grado di erosione dei substrati ed alla tettonica, hanno eroso e modellato le superfici esposte determinando le tipiche forme delle aree montuose ed alto-collinari dell'Appennino centrale.

In riferimento all'idrografia, della dorsale fanno parte i bacini idrografici di tre corsi d'acqua principali: il Fiume Esino (porzione occidentale e settentrionale), il Fiume Potenza (settore meridionale) ed il Fiume Musone (settore orientale). Oltre a tali corsi d'acqua, spesso i rilievi calcarei sono incisi da un reticolo idrografico caratterizzato da breve lunghezza, elevata pendenza, andamento rettilineo e regime prettamente torrentizio.

I siti scelti presentano tutti un'esposizione Nord/Nord-Ovest (Fig. 19) e, oltre alle caratteristiche appena descritte, sono caratterizzati dalla seguente vegetazione forestale (Allegrezza, 2003):

- Faggeta, presente dai 900-1000 m di altitudine, quindi nella fascia bioclimatica montana. La maggior parte delle faggete presenti nel territorio sono boschi cedui invecchiati e pascolati.
- Querceto, boschi a dominanza di *Quercus pubescens* Willd., nella maggior parte dei casi sono governati a ceduo.
- Cerreta, presente nella fascia submontana e collinare della dorsale calcarea. Le cerrete presenti sono boschi misti a prevalenza di *Quercus cerris* L. governate a ceduo semplice e matricinato, è presente qualche nucleo di bosco ceduo invecchiato avviato ad alto fusto. Si rinviene su morfologie leggermente acclivi e sub-pianeggianti con suolo profondo, nelle aree dove i turni di ceduzione sono più prolungati.
- Ostrio-cerreta, è governata a ceduo, presente in generale sui versanti acclivi con suolo poco profondo, nei settori sottoposti a brevi turni di ceduzione, caratterizzata dalla codominanza nello strato arboreo di *Ostrya carpinifolia* Scop. e *Quercus cerris* L.
- Orno-ostrieto, presente come bosco misto a prevalenza di *Ostrya carpinifolia* Scop., è la cenosi forestale più diffusa nel piano collinare ed alto collinare di questo territorio. Questi orno-ostrieti sono tutti governati a ceduo semplice e matricinato.

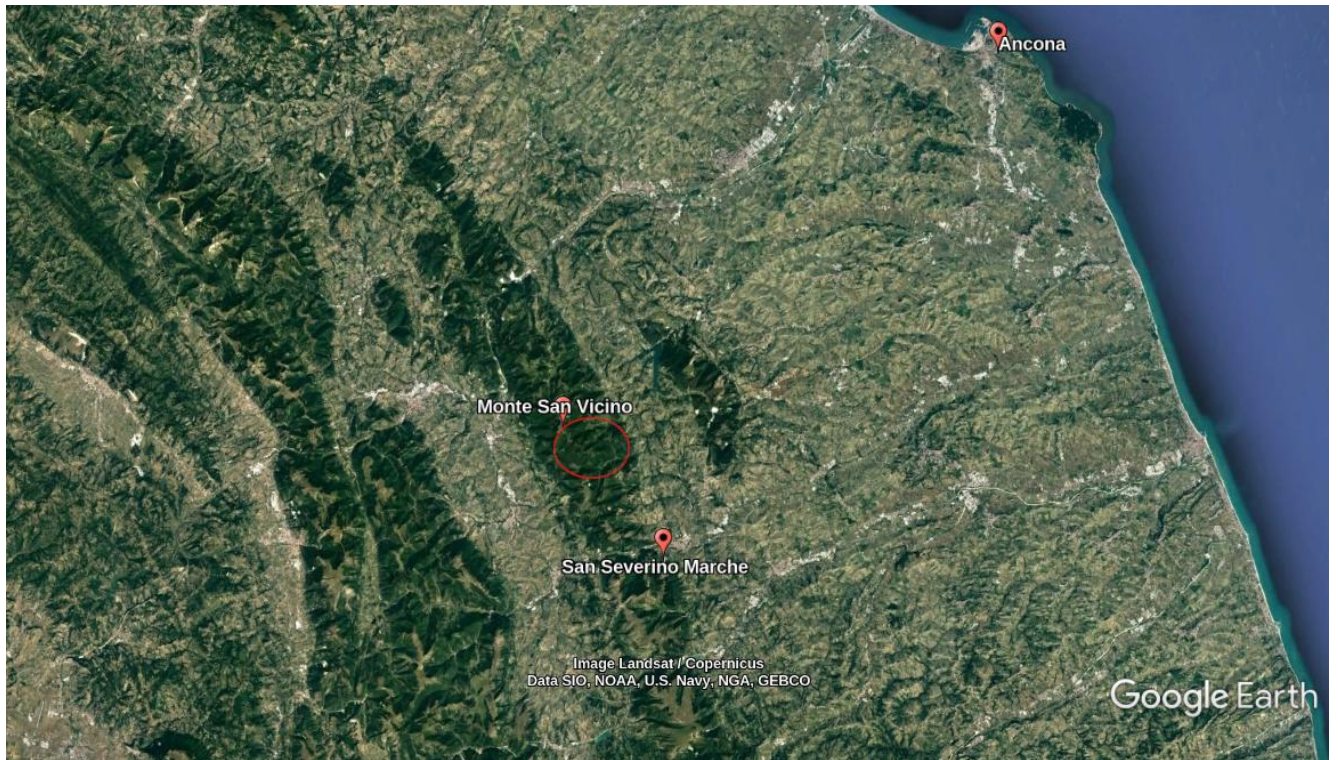


Fig. 17 – Inquadramento dell’area di studio nella dorsale marchigiana (fonte: Google Earth).

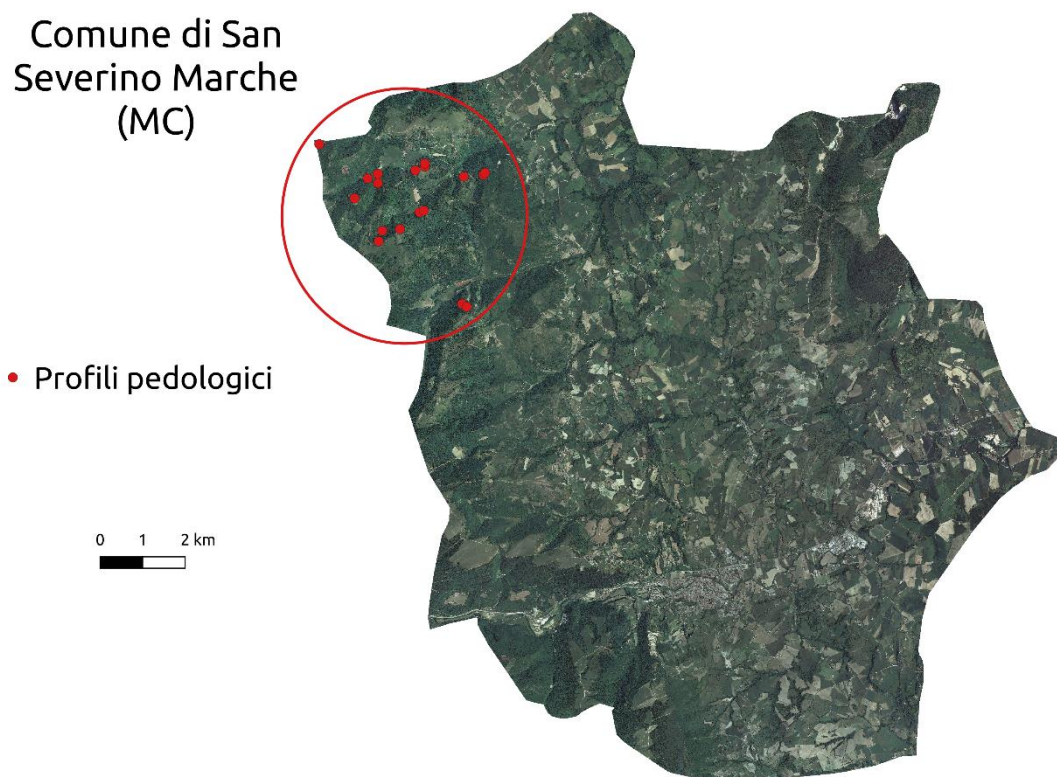


Fig. 18 - Inquadramento dell’area di studio nel comune di S. Severino Marche (MC).

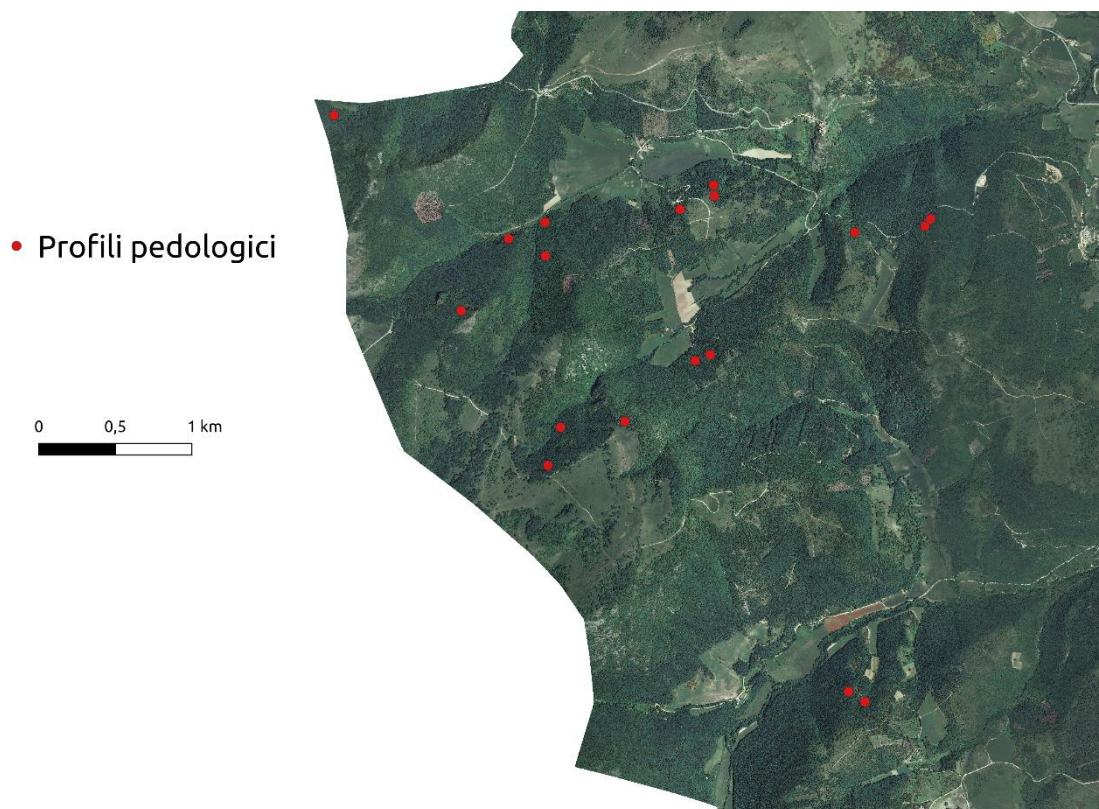


Fig. 19 – Posizione dei siti di studio con esposizione NNO.

2.2 Metodi di valutazione

Il lavoro svolto nella valutazione dei TOC e della CRCO dei suoli forestali analizzati, che ha visto anche la determinazione del contenuto di radici nel suolo minerale in Tha^{-1} , ha preso in considerazione i seguenti punti cardine:

1. Individuazione dell'area omogenea (AO) e conseguente area di saggio (AdS) dove svolgere il campionamento pedologico volto alla valutazione di tali parametri.
2. Metodologia di campionamento del suolo che si adatti alle finalità precedentemente citate.
3. Trattamento dei campioni prelevati in campo e preparazione di questi per la successiva fase di analisi.
4. Metodologia di quantificazione del contenuto di radici nei campioni prelevati in campo.
5. Analisi dei parametri fisico-chimici necessari per la valutazione della CRCO a partire dai campioni prelevati in campo.
6. Metodologia di calcolo della CRCO.

2.2.1 Individuazione Area omogenea (AO) e Area di saggio (AdS)

Tenute in considerazione le caratteristiche genetico-morfologiche e fisico-chimiche dei suoli e la loro estrema variabilità spaziale, è stato adottato, al fine di un corretto campionamento e successiva attività di elaborazione del materiale prelevato, un approccio standardizzato e ripetibile, così da ottenere campioni di suolo che siano rappresentativi sia delle differenti tipologie forestali presenti nell'area interessata dalla pianificazione, sia delle differenti tipologie di suoli che in esse insistono.

L'individuazione dell'AO tiene conto delle indicazioni presenti nell'elaborato "Guida per i rilievi in campo" (INFC 2015) per l'individuazione delle *unità di campionamento* (UdC) per la parte riguardante il soprassuolo forestale, combinate ai dati relativi ai substrati pedogenetici (es. carta geologica ISPRA 1:100000) per la parte suolo. Tale incrocio di indicazioni ha dato la possibilità di costituire delle AO per i principali parametri in grado di influenzare la CRCO (es. tipo di copertura arborea, substrato pedogenetico, uso del suolo ecc.).

Tenuto conto della metodologia atta all'individuazione delle AO, l'identificazione delle AdS ha preso in considerazione tutti i parametri geomorfologici potenzialmente influenti sui processi pedogenetici e di conseguenza sulla CRCO, in particolare:

- Giacitura.
- Esposizione.
- Quota.
- Rocciosità affiorante.
- Particolarità geologiche visibili solo in campo (es. facies di diversa natura rispetto alla componente geologica principale).
- Idrografia (reticolo primario, reticolo minore).
- Attività della fauna (domestica e/o selvatica).

Le dimensioni delle AdS dipendono dalle condizioni stazionali e dalla variabilità interna dei sopracitati parametri.

Per ogni AdS sono stati aperti 2 profili pedologici.

2.2.2 Metodologia di campionamento

L'attività di descrizione e campionamento pedologico finalizzata alla valutazione dei succitati parametri ha visto l'individuazione delle principali caratteristiche pedologiche che li influenzano, in particolare:

- Identificazione dello strato di suolo organico con relativi orizzonti genetici.

- Identificazione dello strato di suolo minerale con relativi orizzonti genetici fino a profondità richiesta.
- Identificazione e quantificazione dello scheletro del suolo.
- Campionamento dello strato di suolo organico.
- Campionamento del suolo minerale fino a profondità richiesta o a contatto litico.
- Campionamento dello scheletro del suolo.

L'attività preliminare alla descrizione e al campionamento del suolo ha visto l'apertura di un profilo pedologico di larghezza tale da poter permettere un'osservazione adeguata e la giusta ergonomia nell'attività di campionamento (Fig. 20). Il profilo, ove possibile, è stato aperto con il fronte perpendicolare alle linee di massima pendenza ad una distanza di circa 1 m dal fusto della pianta arborea di caratteristiche morfologiche medie così da non risentire in maniera eccessiva della sua attività biologica (es. attività delle radici).

Il campionamento del suolo all'interno del profilo ha seguito un percorso verticale che ha previsto inizialmente il prelievo del suolo organico e successivamente del suolo minerale in modo tale da non contaminare il campione sottostante.

Lo strato di suolo organico campionabile per le valutazioni in oggetto comprende tutto il materiale vegetale morto al suolo a vari livelli di degradazione a partire da quello morto e ancora riconoscibile di dimensione centimetrica fino ad arrivare al materiale altamente degradato e non più riconoscibile a contatto con il suolo minerale. Il campionamento del suolo organico è stato effettuato nell'intorno del profilo in maniera randomizzata come suggerito da Baize et al., 2008 in un'area circolare di raggio 2 m. Per le valutazioni in oggetto non si è resa necessaria l'identificazione delle forme di humus né degli orizzonti che la costituiscono.

Il suolo minerale campionabile al fine delle valutazioni in oggetto comprende tutto il materiale prelevabile e distinguibile dalla lettiera fino a profondità richiesta (30 cm) o fino al contatto con il substrato roccioso parentale qualora non fosse stato possibile raggiungere tale profondità. Il campionamento ha previsto l'asportazione del suolo (200 g circa) da tutta la faccia del profilo per la profondità richiesta in maniera da avere un campione rappresentativo della situazione presa in esame.

Lo scheletro, in base alla tipologia (arenaceo, calcareo ecc.) e alle dimensioni, è stato quantificato in percentuale rispetto al totale del materiale minerale presente nel profilo ed eventualmente (quantità > del 5% sulla quantità totale di suolo) di un campionamento rappresentativo volto alla valutazione del contenuto di C organico.



Fig. 20 – Apertura di un profilo pedologico per effettuare descrizioni e campionamenti del suolo.

2.2.3 *Valutazione della densità apparente del suolo*

Per la valutazione della CRCO dei suoli forestali in esame si è reso necessaria la valutazione della densità apparente secondo le seguenti procedure:

- Valutazione in campo.
- Valutazione tramite pedotransfer functions.

La prima metodologia, applicata per il suolo minerale, prevede un approccio con strumenti di misura metallici di varia fattura (cilindrica, rettangolare ecc.) come da metodi “Ministero per le Politiche Agricole (1997). Metodi ufficiali di analisi fisica del suolo. D.M. del 1° agosto 1997, Gazzetta Ufficiale n. 204 del 2.09.97”.

Nella valutazione della densità apparente dei suoli organici sono state utilizzate funzioni matematiche basate su osservazioni pratiche (*pedotransfer function*), come proposto da Hollis et al., 2012, in grado di restituire un risultato con una percentuale di confidenza accettabile per il livello di sensibilità richiesto dal tipo di valutazione.

2.2.4 *Trattamento del campione e analisi di laboratorio*

I campioni prelevati in campo sono stati essiccati a temperatura ambiente (Fig. 21) ed esclusivamente il suolo minerale è stato setacciato a 2 mm di dimensioni e macinato (Figg. 22-23) come da “*Metodi di analisi chimica del suolo – 3^a versione*” (Colombo e Miano, 2015), mentre i campioni di suolo organico sono stati macinati fino a granulometria polverulenta per la valutazione del contenuto di TOC (Fig. 24).

Sui campioni trattati come sopra è stato valutato il pH e il contenuto di carbonio organico con l'utilizzo del metodo di ossidazione a caldo secondo *Allison, 1965*.



Fig. 21 – Essiccamento a temperatura ambiente dei campioni pedologici.



Fig. 22 – Frantumazione in mortaio e setacciatura a 2 mm del suolo minerale.



Fig. 23 – Macinazione del suolo minerale setacciato in mortaio d'agata.

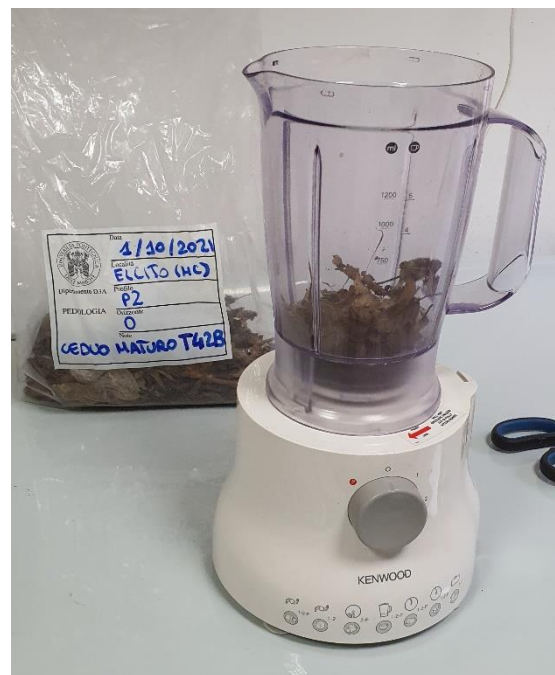


Fig. 24 – Macinazione del suolo organico.

2.2.4.1 Misurazione del pH

La misurazione del pH del suolo ha visto il prelievo di un'aliquota di campione poi posta in un contenitore con l'aggiunta di acqua deionizzata, mantenendo il rapporto 1:2,5 per il suolo minerale e 1:12 per il suolo organico, agitata per 8-10 h e lasciata a riposo per circa 30 minuti prima di procedere alla lettura del pH. All'atto della misurazione, la sospensione è stata mantenuta in agitazione mediante agitatore ad ancora magnetica. Nel caso in esame sono stati utilizzati 4 g di suolo minerale e 3 g di suolo organico per ogni campione (Fig. 25).

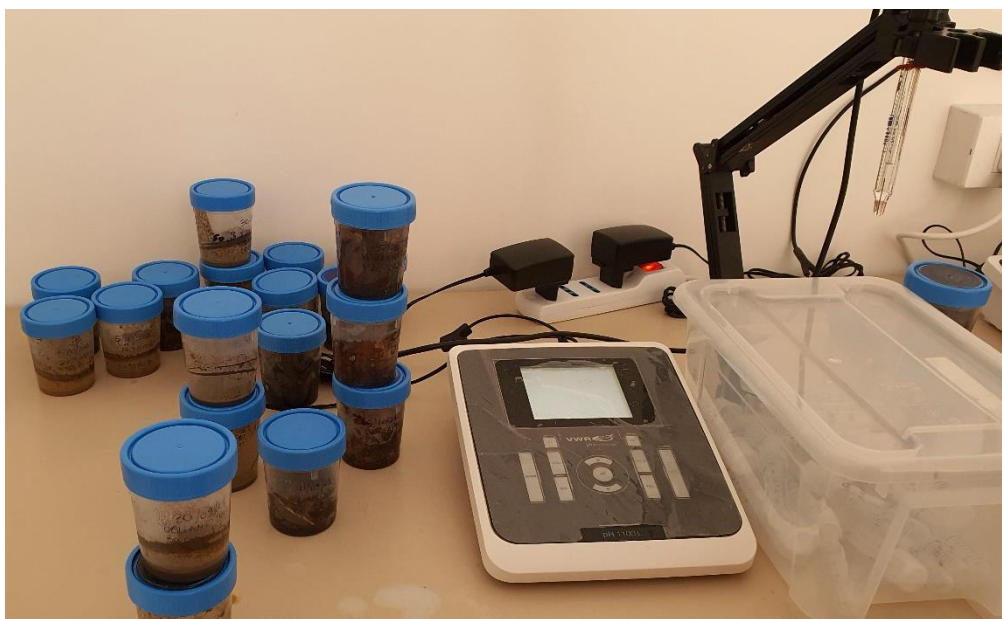


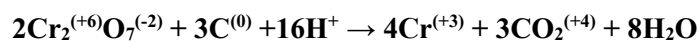
Fig. 25 – A sinistra i contenitori con campioni, a destra strumentazione per la misura del pH.

2.2.4.2 Determinazione del contenuto di TOC

Per la determinazione del TOC dei campioni trattati come sopra è stato utilizzato il metodo Allison (1965), detto anche “determinazione del C organico *a caldo*”.

Il metodo prevede l'ossidazione del carbonio organico ad anidride carbonica con soluzione di potassio bicromato in presenza di acido solforico. L'uso del calore (160°C per 30 minuti) consente la completa ossidazione di tutto il C organico presente nel campione da parte del dicromato, così da poterne determinare il valore totale.

Il dicromato, riducendosi, ossida il C organico da 0 (valore medio) a +4 (della CO₂, la forma più ossidata) secondo la reazione:



La quantità di dicromato che non ha reagito con il C organico, viene quantificata mediante titolazione con una soluzione di ferro ammonio solfato, detta sale di Mohr $[\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}]$, in presenza di acido fosforico e dell'indicatore difenilammina (1 g di difenilammina in 100 ml di acido solforico concentrato). La titolazione con sale di Mohr è descritta dalla seguente reazione:



La fase preliminare alla determinazione del TOC del suolo organico e del suolo minerale consiste nel preparare i seguenti reagenti (Fig. 26):

- Potassio bicromato soluzione 1/6 mol/l: in un matraccio tarato da 1000 ml contenente 600 ml di acqua distillata sciogliere 49,032 g di essiccato in stufa a 130-140°C, portare a volume con acqua ed omogeneizzare.
- Ferro ammonio solfato esaidrato $[\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}]$ soluzione 0,5 N: in un matraccio tarato da 1000 ml contenente 600 ml di acqua sciogliere 196,06 g di $[\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}]$. Aggiungere 15 ml di H_2SO_4 , portare a volume con acqua ed omogeneizzare.

Dopodiché si procede come segue.

Il metodo di determinazione del TOC prevede l'utilizzo di 0,5 g di componente minerale e 0,05 g di quella organica in proporzione inversa alla quantità del contenuto atteso, per evitare che tutto il bicromato reagisca ed assicurandosi invece il suo eccesso. Dopo essere stati pesati, i campioni vengono trasferiti in una beuta (Fig. 27) con l'aggiunta successiva di 10 cc di $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ 1 N e 20 cc di H_2SO_4 concentrato al 96%.

Dopo trenta minuti passati in stufa, la reazione viene spenta con l'aggiunta di 200 ml circa di acqua deionizzata e la quantità di potassio bicromato che non ha reagito viene determinata per titolazione. Si aggiungono 5 ml di H_3PO_4 concentrato, circa 30 gocce di difenilammina, e si titola con la soluzione di ferro ammonio solfato esaidrato 0,5 N, mantenendo il campione in agitazione, fino al viraggio dal viola al verde (Fig. 28). Parallelamente si esegue una prova in bianco, nella quale è stato omesso il campione, per avere lo zero del viraggio.

Il titolo delle soluzioni di ferro ammonio solfato, o Sale di Mohr, non è stabile e deve essere controllato per ogni serie di analisi.

Ogni qual volta la titolazione del campione minerale abbia mostrato risultati di dubbia veridicità, escludendo la preparazione dei reagenti, è stato ripetuto tutto il procedimento per un secondo tentativo con una quantità di campione di 0,2 g, fino ad un terzo tentativo con una quantità di campione di 0,1 g.



Fig. 26 – A destra la soluzione di potassio bicromato (in arancione), a sinistra il sale di Mohr.

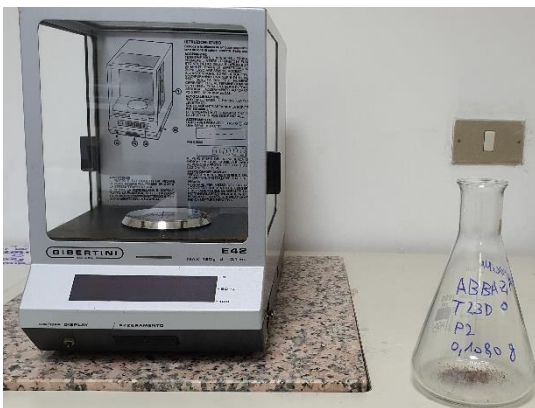


Fig. 27 – A sinistra la bilancia per la pesata dei campioni, trasferiti poi in beute.



Fig. 28 – Titolazione con sale di Mohr.

Il contenuto di C organico si ricava dall'equazione:

$$C = 1000 \cdot (B - B_1) \cdot 10 \cdot 0,003 \cdot B^{-1} \cdot P^{-1}$$

Dove:

C = contenuto di C organico (g/kg);

B = ml di sale di Mohr consumati per titolare la prova in bianco;

B₁ = ml di sale di Mohr consumati per titolare il campione;

10 = ml di bicromato di potassio utilizzati per la reazione;

0,003 = peso equivalente del carbonio considerato a valenza zero (g)

P = aliquota di campione sottoposto ad analisi (ml, g)

2.3 Calcolo della CRCO

La metodologia di valutazione della CRCO totale dei suoli forestali in oggetto ha visto l'utilizzo dei valori ottenuti dall'attività di campo (densità apparente e spessore dello strato campionato) e dei valori ottenuti mediante l'analisi dei campioni (TOC) seguendo i seguenti passaggi fondamentali:

- Calcolo della CRCO della terra fine;
- Calcolo della CRCO dello scheletro;
- Media ponderata dei valori delle CRCO di terra fine e scheletro.

Il calcolo della CRCO (T ha⁻¹) della terra fine prevede l'applicazione della seguente formula:

$$CRCO_{tf} = TOC_{tf} \cdot DA \cdot SP \cdot CC$$

Dove TOC_{tf} sta per contenuto di carbonio organico totale della terra fine espresso in g kg⁻¹, DA per il valore di densità apparente espresso in kg dm⁻³, SP per spessore dello strato prelevato espresso in cm e CC per coefficiente di correzione pari a 0,1, volto alla normalizzazione dell'unità di misura.

Il calcolo della CRCO (T ha⁻¹) dello scheletro prevede l'applicazione della seguente formula:

$$CRCO_{sc} = TOC_{sc} \cdot DA \cdot SP \cdot CC$$

Dove TOC_{sc} sta per contenuto di carbonio organico totale dello scheletro espresso in g kg⁻¹, DA per il valore di densità apparente espresso in kg dm⁻³, SP per spessore dello strato prelevato espresso in cm e CC per coefficiente di correzione pari a 0,1, volto alla normalizzazione dell'unità di misura.

Il valore totale della CRCO ($T\ ha^{-1}$) del suolo prevede il calcolo della media ponderata dei sopracitati valori secondo la seguente formula:

$$CRCO_{TOT} = (CRCO_{fr} * TF + CRCO_{sc} * SC)$$

Dove TF e SC sono rispettivamente il contenuto percentuale di terra fine e scheletro valutato in campo.

Per la valutazione dei dati ottenuti in questo lavoro, i valori numerici ottenuti divisi per suolo organico e suolo minerale sono stati categorizzati in 3 classi partendo dal valore massimo osservato come segue:

- CRCO suolo organico:
 - $CRCO < 130\ T\ ha^{-1}$ Basso \rightarrow (B);
 - $130\ T\ ha^{-1} < CRCO < 260\ T\ ha^{-1}$ Medio \rightarrow (M);
 - $CRCO > 260\ T\ ha^{-1}$ Alto \rightarrow (A).
- CRCO suolo minerale:
 - $CRCO < 50\ T\ ha^{-1}$ Basso \rightarrow (B);
 - $50\ T\ ha^{-1} < CRCO < 100\ T\ ha^{-1}$ Medio \rightarrow (M);
 - $CRCO > 100\ T\ ha^{-1}$ Alto \rightarrow (A)

2.4 Valutazione della biomassa radicale

Per la quantificazione della biomassa radicale a ettaro, i campioni di suolo prelevati sono stati pesati, così come sono state pesate le radici contenute nel campione. La massa del campione di suolo ottenuta permette di risalire al volume del campione stesso conoscendo la densità apparente del suolo, partendo quindi dalla formula:

$$V_c = M_c * BD^{-1}$$

Questo volume ottenuto è stato rapportato al volume (in dm^3) di $1\ dm^2$ di suolo relativo alla profondità di campionamento (es. un profilo profondo 3 dm corrisponde ad un volume di $3\ dm^3$) e moltiplicato per il contenuto in g di radici nel campione analizzato per estendere il dato al dm^2 .

Infine, attraverso un'equivalenza, il valore espresso in gdm^{-2} è stato trasformato in Tha^{-1} .

3. RISULTATI

In questa sezione della tesi verranno mostrati e commentati i risultati dei campionamenti dei suoli e i dati relativi alle valutazioni di TOC e CRCO. Di seguito i risultati dei campionamenti.

Tab. 3 - Caratteristiche generali e morfologia dei profili di suoli nei boschi dell'area del M. San Vicino, Marche, Italia. Per i simboli vedere la legenda.

Orizzonti ^a	Profondità cm	Spessore cm	Limite ^b	Colore ^c	Scheletro ^d % a vista e dimensioni	Tessitura ^e	Struttura ^f	Consistenza ^g	Radici ^h	Altre osservazioni
Particella: L26c. Profilo n° 1. Coordinate: Monte Mario → 2366633 E, 4794678 N, Valdiola. Pendenza: 35%. Esposizione: NO. Gestione: Ceduo al taglio (47 anni). Copertura arborea: 90%, <i>Quercus cerris</i> L. (40%), <i>Ostrya carpinifolia</i> Scop. (30%), <i>Quercus pubescens</i> Willd. (15%), <i>Fraxinus ornus</i> L. (15%), <i>Sorbus aria</i> (L.) Crantz (sporadico). Copertura arbustiva: 35%, <i>Juniperus communis</i> L. (40%), <i>Cornus mas</i> L. (25%), <i>Rubus</i> L. (20%), <i>Rosa</i> L. (15%). Copertura erbacea: 30%, <i>Poaceae</i> , <i>Hedera helix</i> L., <i>Helleborus</i> Tourn., <i>Cyclamen</i> L. (20%), <i>Viola</i> L. Lettiera: 90%, foglie, rami, corteccia, ghiande. Rocciosità: Scheletro sporadico, mm e cm. Calcare rosa e bianco. Carbonaie: 3.										
Suolo (Soil Survey Staff, 2014):										
(M. nere)										
Oi	3-1	1-3	A, W	-	-	-	-	-	-	
Oa	1-0			-	-	-	-	-	-	
A	0-2	2-3	C, B	5 YR 3/2	-	FA	3 vf, f, m, sbk	fr	3 vf, f	Orizzonte interrotto da lente più rossiccia
Bw1	2-9	4-6	C, W	5 YR 3/4	20% mm, cm	FA	3 vf, f, m, sbk	fr	3 vf, f; 2 m	Linea più rossa a destra con radici arancioni, ife fungine
Bw2	9-17	5-9	C, W	5 YR 3/4	40% mm, cm, dm	FA	3 vf, f, m, sbk	fr	3 vf, f; 2 m	
BC	17-26+	-	-	-	65% mm, cm, dm	FA				
Particella: L26c. Profilo n° 2. Coordinate: Monte Mario → 2366633 E, 4794678 N, Valdiola. Pendenza: 35%. Esposizione: NO. Gestione: Ceduo al taglio (47 anni). Copertura arborea: 90%, <i>Quercus cerris</i> L. (40%), <i>Ostrya carpinifolia</i> Scop. (30%), <i>Quercus pubescens</i> Willd. (15%), <i>Fraxinus ornus</i> L. (15%), <i>Sorbus aria</i> (L.) Crantz (sporadico). Copertura arbustiva: 35%, <i>Juniperus communis</i> L. (40%), <i>Cornus mas</i> L. (25%), <i>Rubus</i> L. (20%), <i>Rosa</i> L. (15%). Copertura erbacea:										

30%, *Poaceae*, *Hedera helix* L., *Helleborus* Tourn., *Cyclamen* L. (20%), *Viola* L. **Lettiera**: 90%, foglie, rami, corteccia, ghiande. **Rocciosità**: Scheletro sporadico, mm e cm. Calcare rosa e bianco. **Carbonaie**: 3.

Suolo (Soil Survey Staff, 2014):

(M. nere)										
Oi	5-2		-	-	-	-	-	-	-	-
Oa	2-0	4-5	C, W	-	-	-	3 gr	-	-	
A	0-3	2-3	C, W	10 YR 3/2	-	FA	3 vf, f, m, sbk	fr	3 vf, f	
Bw	3-14	10-18	C, W	10 YR 3/4	30% mm, cm	FA	3 vf, f, m, sbk	fr	3 vf, f; 2 m; 1 c, vc	Roccia marcia, presenza di carbonati secondari
CB	14-27+	-	-	7.5 YR 4/2	75% cm, dm	FA	-	-	3 vf, f; 1 m	Calcare rosa

Particella: L30b. **Profilo n° 1**. **Coordinate**: Monte Mario → 2366741 E, 4794611 N, Ugliano. **Pendenza**: 30%. **Esposizione**: N. **Gestione**: Cerreta mesoxerofila giovane. **Copertura arborea**: 60-70%, *Quercus cerris* L. (60%), *Ostrya carpinifolia* Scop. (30%), *Acer opalus* Mill., *Fagus sylvatica* L., *Fraxinus ornus* L., *Prunus avium* L., *Sorbus domestica* L. **Copertura arbustiva**: 60%, *Corylus avellana* L. (30%), *Cornus mas* L. (20%), *Coronilla* L. (5%), *Cytisus* L. (5%), *Rosa* L. (20%), *Rubus* L. (20%). **Copertura erbacea**: 60%, *Poaceae* (30%), *Cyclamen* L. (20%), *Hedera helix* L. (20%), *Helleborus* Tourn. (20%), *Daphne* L. (5%), *Mentha* L. (5%). **Lettiera**: 70% di *Quercus cerris* L., *Ostrya carpinifolia* Scop., *Acer opalus* Mill., *Helleborus* Tourn. **Rocciosità**: 10%, calcare rosa.

Suolo (Soil Survey Staff, 2014):

Oi + Oa	1-0	0.5-2	A, S	5 YR 2/2	< 2% mm Sub-rounded, sub-prismoidal	-	-	-	2 vf	
A	0-7	6.5-9	C, W	5 YR 3/2	2% mm, cm Rounded, sub- discoidal	FA	3 vf, f, m, sbk	fr	3 vf, f; 1 m	

AB	7-14	6-10	G, W	5 YR 3/2	15% mm, cm Sub-rounded	FA	3 vf, f, m, sbk	fr	3 vf, f; 2 m	
Bw	14-35+	-	-	5 YR 3/3	40% mm, cm, Sub-rounded, sub-angolar	-	3 vf, f, m, sbk	fr	3 vf, f; 2 m	Linea di pietre

Particella: L30b. **Profilo n° 2.** **Coordinate:** Monte Mario → 2366741 E, 4794611 N, Ugliano. **Pendenza:** 30%. **Esposizione:** N. **Gestione:** Cerreta mesoxerofila giovane. **Copertura arborea:** 60-70%, *Quercus cerris* L. (60%), *Ostrya carpinifolia* Scop. (30%), *Acer opalus* Mill., *Fagus sylvatica* L., *Fraxinus ornus* L., *Prunus avium* L., *Sorbus domestica* L. **Copertura arbustiva:** 60%, *Corylus avellana* L. (30%), *Cornus mas* L. (20%), *Coronilla* L. (5%), *Cytisus* L. (5%), *Rosa* L. (20%), *Rubus* L. (20%). **Copertura erbacea:** 60%, *Poaceae* (30%), *Cyclamen* L. (20%), *Hedera helix* L. (20%), *Helleborus* Tourn. (20%), *Daphne* L. (5%), *Mentha* L. (5%). **Lettiera:** 70% di *Quercus cerris* L., *Ostrya carpinifolia* Scop., *Acer opalus* Mill., *Helleborus* Tourn. **Rocciosità:** 10%, calcare rosa.

Suolo (Soil Survey Staff, 2014):

Oi	1.5-1	0.5	-	-	-	-	-	-	-	
Oa	1-0	0.5-3	V, W	10 YR 2/2	2% cm, rounded, sub-discoidal	-	3 gr	-	3 vf, f	
A	0-6	5-10	A, W	10 YR 3/2	2% cm, rounded, sub-discoidal	FA	3 vf, f, sbk	fr, ms	3 vf, f	
Bw	6-29	18-22	C, W	10 YR 3/3	50% mm, cm, dm, angolar, sub- angolar	FA	3 vf, f, sbk	fr, ms	3 vf, f; 1 m	Linea di pietre, scheletro orientato
Bw_b	29-40+	-	-	10 YR 3/3	40% mm, cm	FA	3 vf, f, sbk	fr, ms	3 vf, f; 1 m	Roccia frammentata, tritume

Particella: T2d. **Profilo n° 1.** **Coordinate:** Monte Mario → 2363270 E, 4798441 N, Fonte Trocchi. **Pendenza:** 40%. **Esposizione:** N. **Gestione:** Fustaia transitoria di faggio. **Copertura arborea:** 100%, *Fagus sylvatica* L., *Sorbus aria* (L.) Crantz (sporadico). **Copertura arbustiva:** Localizzata a margine con il prato, *Crataegus*

monogyna Jacq., *Prunus spinosa* L., *Rosa* L., *Rubus* L. **Copertura erbacea:** 60%, *Cyclamen* L., *Daphne* L. **Lettiera:** 100%, foglie, rami, corteccia, faggioline, micelio.

Rocciosità: 2%. **Carbonaie:** 2.

Suolo (Soil Survey Staff, 2014):

Oi	7-3			-	-	-	-	-	-	
Oa	3-0	5-7	A, S	-	-	-	-	-	-	Ife fungine
A	0-4	2-3	C, S	10 YR 3/2	5% mm	FS	3 vf, f, m, sbk	vfr	3 vf, f	Ife fungine
Bw1	4-23	19-22	G, W	10 YR 4/3	30% mm, cm	FS	2 vf, f, sbk	vfr, br	3 vf, f; 2 m	Presenza di carboncini in frammenti mm
Bw2	23-48	23-27	C, W	10 YR 5/3	60% mm, cm	FS	2 vf, f, m, sbk	vfr, br	3 vf, f; 1 m	
Bw3	48-54+	-	-	10 YR 5/4	60% mm, cm	FS	2 vf, f, sbk	vfr, br	1 vf, f	

Particella: T2d. **Profilo n° 2. Coordinate:** Monte Mario → 2363270 E, 4798441 N, Fonte Trocchi. **Pendenza:** 40%. **Esposizione:** N. **Gestione:** Fustaia transitoria di faggio. **Copertura arborea:** 100%, *Fagus sylvatica* L., *Sorbus aria* (L.) Crantz (sporadico). **Copertura arbustiva:** Localizzata a margine con il prato, *Crataegus monogyna* Jacq., *Prunus spinosa* L., *Rosa* L., *Rubus* L. **Copertura erbacea:** 60%, *Cyclamen* L., *Daphne* L. **Lettiera:** 100%, foglie, rami, corteccia, faggioline, micelio.

Rocciosità: 2%. **Carbonaie:** 2.

Suolo (Soil Survey Staff, 2014):

Oi	4-2			-	-	-	-	-	-	
Oa	2-0	4-8	A, W	-	-	-	-	-	-	
Bw1	0-8	5-8	C, W	10 YR 4/2	15% mm, cm	FS	3 vf, f, sbk	vfr, br	3 vf, f	
Bw2	8-16	4-8	G, W	10 YR 4/3	30% mm, cm	FS	2 vf, f, sbk	vfr, br	3 vf, f; 2 m	
Bw3	16-26	10-12	C, W	10 YR 5/6	40% mm, cm	FS	2 vf, f, sbk	vfr, br	3 vf, f;	

									2 m; 1 c
Bw4	26-42	15-20	C, W	10 YR 5/6	60% mm, cm	FS	2 vf, f, sbk	vfr, br	2 vf, f
BC	42-51+	-	-	10 YR 6/3	70% mm, cm	FS	-	-	1 vf, f

Particella: T12c. **Profilo n° 1. Pendenza:** 55%. **Esposizione:** N. **Gestione:** Ceduo al taglio/querceta mista. **Copertura arborea:** 90%, *Quercus cerris* L. (60%), *Quercus pubescens* Willd. (20%), *Fraxinus ornus* L. (10%), *Ostrya carpinifolia* Scop. (10%), *Acer opalus* Mill. (sporadico), *Acer campestre* L. (sporadico). **Copertura arbustiva:** 60%, *Rubus* L. (60%), *Lonicera caprifolium* L. (30%), *Prunus spinosa* L. (10%), *Crataegus monogyna* Jacq. (sporadico). **Copertura erbacea:** 40%, *Poaceae*, *Hedera helix* L. **Lettiera:** 60%, foglie, corteccia, rami, ghiande. **Rocciosità:** 10% scheletro mm, cm.

Suolo (Soil Survey Staff, 2014):

(M. nere)										
Oi	11-4		-	-	-	-	-	-	-	
Oa	4-0	7-11	A, W	-	2% mm, cm	-	-	-	-	Ife fungine e corpi fruttiferi
Bw1	0-10	8-11	C, W	5 YR 4/2	40% mm, cm, dm	FA	2 vf, f, sbk	fr	3 vf, f; 1 m, c	
Bw2	10-18	5-7	C, W	5 YR 3/4	45% mm, cm, dm	FA	2 vf, f, sbk	fr	3 vf, f; 1 m, c	
C	18-27+	-	-	-	-	FA	-	fr	2 vf, f; 1 c, vc	

Particella: T12c. **Profilo n° 2. Pendenza:** 55%. **Esposizione:** N. **Gestione:** Ceduo al taglio/querceta mista. **Copertura arborea:** 90%, *Quercus cerris* L. (60%), *Quercus pubescens* Willd. (20%), *Fraxinus ornus* L. (10%), *Ostrya carpinifolia* Scop. (10%), *Acer opalus* Mill. (sporadico), *Acer campestre* L. (sporadico). **Copertura arbustiva:** 60%, *Rubus* L. (60%), *Lonicera caprifolium* L. (30%), *Prunus spinosa* L. (10%), *Crataegus monogyna* Jacq. (sporadico). **Copertura erbacea:** 40%, *Poaceae*, *Hedera helix* L. **Lettiera:** 60%, foglie, corteccia, rami, ghiande. **Rocciosità:** 10% scheletro mm, cm.

Suolo (Soil Survey Staff, 2014):

(M. nere)									
Oi	8-2.5		-	-	-	-	-	-	-
Oa	2.5-0	5-9	C, W	-	-	-	-	-	-

A	0-3	2-3	C, W	5 YR 2/2	20% mm, cm	FA	2 vf, f, m, sbk	fr	3 vf, f	Ife fungine
Bw	3-12	10-12	C, W	5 YR 3/4	45% mm, cm	FA	3 vf, f, sbk	fr	3 vf, f; 1 m	Ife fungine
C	12-33+	-	-	-	-	FA	-	fr	-	

Particella: T12e. **Profilo n° 1. Coordinate:** Monte Mario → 2365757 E, 4797915 N. **Pendenza:** 20-30%. **Esposizione:** N-NE. **Gestione:** Ceduo matricinato. **Copertura arborea:** 80%, *Ostrya carpinifolia* Scop. (55%), *Quercus cerris* L. (40%), *Acer campestre* L. (5%), *Fraxinus ornus* L., *Acer opalus* Mill. **Copertura arbustiva:** 30%, *Crataegus monogyna* Jacq., *Juniperus oxycedrus* L., *Cytisus* L., *Lonicera caprifolium* L., *Rosa* L., *Rubus* L., rinnovazione arborea. **Copertura erbacea:** 20%, *Poaceae*, *Daphne* L., *Hedera helix* L., *Helleborus* Tourn., *Viola* L. **Lettiera:** 90%

Suolo (Soil Survey Staff, 2014):

Oi + Oa	3-0	1-3	C, W	-	-	-	-	-	-	
A	0-5	2-5	C, W	10 YR 2/2	-	FA	3 vf, f, gr	fr	2 vf	
Bw1	5-10	3-6	C, W	10 YR 3/2	30%	FA	3 vf, f, m, sbk	fr	1 vf, f	Presenza di mesofauna
Bw2	10-20	7-10	C, W	10 YR 4/2	50%	FA	3 vf, f, m, sbk	fr	2 f, m; 1 c	
BC	20-30	6-10	C, W	10 YR 4/3	70%	FA	1 vf, f, m, sbk	fr	3 vf, f, m	
C/R	30-36+	-	-	-	-	-	-	-	-	

Particella: T12e. **Profilo n° 2. Coordinate:** Monte Mario → 2365757 E, 4797915 N. **Pendenza:** 20-30%. **Esposizione:** N-NE. **Gestione:** Ceduo matricinato. **Copertura arborea:** 80%, *Ostrya carpinifolia* Scop. (55%), *Quercus cerris* L. (40%), *Acer campestre* L. (5%), *Fraxinus ornus* L., *Acer opalus* Mill. **Copertura arbustiva:** 30%, *Crataegus monogyna* Jacq., *Juniperus oxycedrus* L., *Cytisus* L., *Lonicera caprifolium* L., *Rosa* L., *Rubus* L., rinnovazione arborea. **Copertura erbacea:** 20%, *Poaceae*, *Daphne* L., *Hedera helix* L., *Helleborus* Tourn., *Viola* L. **Lettiera:** 90%

Suolo (Soil Survey Staff, 2014):

Oi	3-1		-	-	-	-	-	-	-	-
Oe + Oa	1-0	3	C, W	-	-	-	-	-	-	-
A	0-2	2	C, W	10 YR 2/1	2%	FA	3 f, sbk	fr	-	
AB	2-4	2.5	C, W	10 YR 3/2	5%	FA	3 f, m, sbk	fr	1 f	
Bw	4-15	10	C, W	10 YR 3/2	10-15%	FA	2 f, sbk	fr	2 f; 1 c	Presenza di mesofauna
BC	15-19	5.5	C, W	-	75%	FA	1 vf, f, m sbk	fr	1 f; 2 m; 1 c	
C/R	19-32+	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Particella: T12f. **Profilo n° 1.** **Coordinate:** Monte Mario → 2365752 E, 4797985 N. **Pendenza:** 30-40%. **Esposizione:** N. **Gestione:** Fustaia transitoria. **Copertura arborea:** 80%, *Quercus cerris* L. (60-70%), *Acer opalus* Mill. (20%), *Ostrya carpinifolia* Scop. (10%), *Acer campestre* L., *Fraxinus ornus* L., *Prunus avium* L., *Quercus pubescens* Willd. **Copertura arbustiva:** 60-70%, *Crataegus monogyna* Jacq. (50%), *Rubus* L. (40%), *Cornus mas* L., *Euonymus europaeus* L., *Rosa* L., novellame di *Acer opalus* Mill., *Acer campestre* L., *Fagus sylvatica* L. (10%). **Copertura erbacea:** 20%, *Poaceae*, *Daphne* L., *Hedera helix* L., *Primula* L. **Lettieria:** 90%. **Rocciosità:** 0%

Suolo (Soil Survey Staff, 2014):

Oi + Oe	2-1	1	C, W	-	-	-	-	-	-	
Oa	1-0	1-2	C, W	-	-	-	-	-	-	
AB	0-3	3-5	C, W	7.5 YR 3/2	1-5%	FA	3 vf, f, m, abk, sbk	fr	1 vf; 2 f; 1 m	Presenza di mesofauna
Bw1	3-21	18-20	C, W	7.5 YR 3/2	60%	FA	2-3 vf, f, m, abk, sbk	fr	1 vf, f; 2 m	
Bw2	21-35+	-	-	7.5 YR 3/2	40%	FA	2-3 vf, f, m abk, sbk	fr	2 f; 1 m	Presenza di mesofauna

Particella: T12f. **Profilo n° 2.** **Coordinate:** Monte Mario → 2365752 E, 4797985 N. **Pendenza:** 30-40%. **Esposizione:** N. **Gestione:** Fustaia transitoria. **Copertura arborea:** 80%, *Quercus cerris* L. (60-70%), *Acer opalus* Mill. (20%), *Ostrya carpinifolia* Scop. (10%), *Acer campestre* L., *Fraxinus ornus* L., *Prunus avium* L., *Quercus pubescens* Willd. **Copertura arbustiva:** 60-70%, *Crataegus monogyna* Jacq. (50%), *Rubus* L. (40%), *Cornus mas* L., *Euonymus europaeus* L., *Rosa* L.,

novellame di *Acer opalus* Mill., *Acer campestre* L., *Fagus sylvatica* L. (10%). **Copertura erbacea:** 20%, *Poaceae*, *Daphne* L., *Hedera helix* L., *Primula* L. **Lettiera:** 90%. **Rocciosità:** 0%

Suolo (Soil Survey Staff, 2014):

Oi	3-1	2	C, W	-	-	-	-	-	-	-
Oe + Oa	1-0	1	C, W	-	-	-	-	-	-	-
A	0-3	3-4	C, W	7.5 YR 2/2	2-5%	FA	3 f, m, sbk	fr	2 f	Presenza di mesofauna
Bw1	3-8	4.5-5	C, W	10 YR 3/3	25%	FA	3 vf, f, m, abk, sbk	fr	2 vf, f	
Bw2	8-20	12-13.5	C, W	10 YR 3/3	60%	FA	2 vf, f, abk	fr	2 f, m; 1 c	
BC	30-36+	-	-	10 YR 3/4	80%	FA	2 vf, f, abk	fi	2 f, m	Calcare selcifero

Particella: T12h. **Profilo n° 1. Pendenza:** 35%. **Esposizione:** N. **Gestione:** Fustaia transitoria. **Copertura arborea:** 85%, *Quercus pubescens* Willd. (40%), *Fraxinus ornus* L. (20%), *Ostrya carpinifolia* Scop. (20%), *Acer campestre* L. (10%), *Acer opalus* Mill. (10%), *Prunus avium* L. (sporadico), *Sorbus aria* (L.) Crantz (sporadico), *Sorbus domestica* L. (sporadico). **Copertura arbustiva:** 70%, *Cornus mas* L. (30%), *Juniperus communis* L. (30%), *Genista* L. (20%), *Euonymus europaeus* L. (10%), *Prunus spinosa* L. (10%), *Lonicera* L. (sporadico). **Copertura erbacea:** 80%, *Poaceae*, *Daphne* L., *Hedera helix* L. **Lettiera:** 50%, foglie, rami, corteccia. **Rocciosità:** 30% scheletro mm e cm (abbondante), 2% dm (sporadico).

Suolo (Soil Survey Staff, 2014):

(M. nere)										
Oi	6-3		-	-	-	-	-	-	-	-
Oa	3-0	2-6	A, W	-	-	-	-	-	3 vf, f; 1 vc	
A	0-6	4-12	C, I	5 YR 3/2	20% mm, cm	A	3 vf, f, sbk	fr	3 vf, f; 2 m; 1 vc	

Bw1	6-21	4-15	C, W	5 YR 4/2	35% mm, cm	A	3 vf, f, m, sbk	fr	2 vf, f; 1 m, vc
Bw2	21-30	9-10	C, W	5 YR 4/4	45% mm, cm	A	3 vf, f, sbk	fr	2 vf, f; 1 c, vc
BC	30-34+	-	-	-	-	A	-	-	-

Particella: T12h. **Profilo n° 2.** **Pendenza:** 35%. **Esposizione:** N. **Gestione:** Fustaia transitoria. **Copertura arborea:** 85%, *Quercus pubescens* Willd. (40%), *Fraxinus ornus* L. (20%), *Ostrya carpinifolia* Scop. (20%), *Acer campestre* L. (10%), *Acer opalus* Mill. (10%), *Prunus avium* L. (sporadico), *Sorbus aria* (L.) Crantz (sporadico), *Sorbus domestica* L. (sporadico). **Copertura arbustiva:** 70%, *Cornus mas* L. (30%), *Juniperus communis* L. (30%), *Genista* L. (20%), *Euonymus europaeus* L. (10%), *Prunus spinosa* L. (10%), *Lonicera* L. (sporadico). **Copertura erbacea:** 80%, *Poaceae*, *Daphne* L., *Hedera helix* L. **Lettiera:** 50%, foglie, rami, corteccia. **Rocciosità:** 30% scheletro mm e cm (abbondante), 2% dm (sporadico).

Suolo (Soil Survey Staff, 2014):

(M. nere)									
Oi	8-3		-	-		-	-	-	
Oa	3-0	7-9	C, W	-	2% mm	-	-	-	3 vf, f
A	0-8	6-9.5	C, W	7.5 YR 3/2	25% mm, cm	A	3 vf, f, sbk	fr	3 vf, f; 2 m,
Bw1	8-26	8-17	C, W	7.5 YR 5/4	40% mm, cm	A	3 vf, f, m, sbk	fr	2 vf, f; 1 m
Bw2	26-31	5-6	C, W	7.5 YR 4/4	60% mm, cm	A	3 vf, f, sbk	fr	2 vf, f
BC	31-36+	-	-	7.5 YR 4/4	-	A	2 vf, f, sbk	fr	1 vf, f

Particella: T13b. **Profilo n° 1.** **Coordinate:** Monte Mario → 2365533 E, 4797826 N. **Pendenza:** 40%. **Esposizione:** NO. **Gestione:** Ceduo matricinato maturo. **Copertura arborea:** 90%, *Quercus cerris* L. (40%), *Quercus pubescens* Willd. (30%), *Ostrya carpinifolia* Scop. (20%), *Acer opalus* Mill. (5%), *Fraxinus ornus* L. (5%), *Fagus sylvatica* L. (sporadico). **Copertura arbustiva:** 40%, (20%) *Coronilla* L., *Juniperus oxycedrus* L., *Lonicera caprifolium* L., *Rosa* L., (80%) novellame di *Acer opalus* Mill., *Fagus sylvatica* L., *Fraxinus ornus* L., *Ostrya carpinifolia* Scop., *Quercus cerris* L. **Copertura erbacea:** 70%, (70%) *Poaceae*, (10%) *Daphne* L.,

Hedera helix L., *Hepatica nobilis* Schreb., *Viola* L., (20%) rinnovazione di *Acer campestre* L., *Acer opalus* Mill., *Fagus sylvatica* L., *Fraxinus ornus* L., *Ostrya carpinifolia* Scop., *Quercus cerris* L., *Sorbus aria* (L.) Crantz. **Lettiera:** 80%. **Rocciosità:** 0%.

Suolo (Soil Survey Staff, 2014):

Oi	8-2	4-7	C, W	-	-	-	-	-	-	-
Oa	2-0	1-3	C, W	-	-	-	-	-	-	-
Bw1	0-4	3-5	C, W	7.5 YR 4/6	10% mm, cm	A	3 vf, f, m, sbk	sh, br	3 vf, f; 1 m	Dry
Bw2	4-23	18-20	C, W	7.5 YR 3/4	50% mm, cm, dm	A	3 vf, f, m, sbk	mp	1 vf, f; 1 m, c	
Bw3	23-37+	-	-	7.5 YR 4/6	70% mm, cm, dm	A	3 vf, f, m, sbk	mp	2 f, c; 1 vc	

Particella: T13b. **Profilo n° 2.** **Coordinate:** Monte Mario → 2365533 E, 4797826 N. **Pendenza:** 40%. **Esposizione:** NO. **Gestione:** Ceduo matricinato maturo. **Copertura arborea:** 90%, *Quercus cerris* L. (40%), *Quercus pubescens* Willd. (30%), *Ostrya carpinifolia* Scop. (20%), *Acer opalus* Mill. (5%), *Fraxinus ornus* L. (5%), *Fagus sylvatica* L. (sporadico). **Copertura arbustiva:** 40%, (20%) *Coronilla* L., *Juniperus oxycedrus* L., *Lonicera caprifolium* L., *Rosa* L, (80%) novellame di *Acer opalus* Mill., *Fagus sylvatica* L., *Fraxinus ornus* L., *Ostrya carpinifolia* Scop., *Quercus cerris* L. **Copertura erbacea:** 70%, (70%) *Poaceae*, (10%) *Daphne* L., *Hedera helix* L., *Hepatica nobilis* Schreb., *Viola* L., (20%) rinnovazione di *Acer campestre* L., *Acer opalus* Mill., *Fagus sylvatica* L., *Fraxinus ornus* L., *Ostrya carpinifolia* Scop., *Quercus cerris* L., *Sorbus aria* (L.) Crantz. **Lettiera:** 80%. **Rocciosità:** 0%.

Suolo (Soil Survey Staff, 2014):

Oi + Oa	3-0	3	A, W	-	2% mm, sub- rounded, sub- discoidal	-	-	-	3 vf; 2 f
Bw	0-8	5-8	C, W	7.5 YR 4/6	10% mm, cm, angular, spherical	A	3 vf, f, sbk	mp	2 vf, f; 1 m

Bw1_b	8-12	4-7	C, W	7.5 YR 4/6	20% mm, cm, sub-rounded, spherical	A	3 vf, f, sbk	mp	2 vf, f, vc; 1 m
Bw2_b	12-24	12-14.5	C, W	7.5 YR 4/6	50% cm, dm, rounded, sub- discoidal	A	3 vf, f, sbk	mp	2 vf, vc; 1 m
BC_b	24-38+	-	-	7.5 YR 4/6	70% mm, cm, dm, sub-rounded, sub-discoidal	A	3 vf, f, sbk	mp	2 vf, f; 1 m, vc

Particella: T16d. **Profilo n° 1. Coordinate:** Monte Mario → 2364411 E, 4797635 N, Abbazia Valfucina. **Pendenza:** 10-15%. **Esposizione:** N. **Gestione:** Fustaia transitoria. **Copertura arborea:** 90%, *Quercus cerris* L. (40%), *Acer opalus* Mill. (30%), *Ostrya carpinifolia* Scop. (20%), *Acer campestre* L. (5%), (5%) *Carpinus betulus* L., *Fraxinus ornus* L., *Prunus avium* L., *Quercus pubescens* Willd. **Copertura arbustiva:** 40%, *Corylus avellana* L. (60%), *Cornus mas* L. (20%), (20%) *Crataegus monogyna* Jacq., *Prunus spinosa* L., *Rosa* L., *Rubus* L. **Copertura erbacea:** -, *Poaceae*, *Pteridophyta*, *Hedera helix* L., *Viola* L., **Lettiera:** -, foglie, corteccia, rami, galle di *Quercus cerris* L., ife fungine. **Rocciosità:** 2%

Suolo (Soil Survey Staff, 2014):

(M. nere)									
Oi	7-3		-	-	-	-	-	-	-
Oa	3-0	6-9	A, S	-	-	-	-	-	-
Bw1	0-7	6-9	C, W	7.5 YR 4/2	5-10% mm	FA	3 vf, f, m, sbk	fr	3 vf, f; 1 m
Bw2	7-37	26-30	C, W	7.5 YR 4/2	50% mm, cm	FA	3 vf, f, m, sbk	fr	3 vf, f; 2 m; 1 c
Bw3	37-48+	-	-	7.5 YR 4/4	10% mm, cm	FA	3 vf, f, m, sbk	fr	2 vf, f 1% frammenti di carbone

Particella: T16d. **Profilo n° 2. Coordinate:** Monte Mario → 2364411 E, 4797635 N, Abbazia Valfucina. **Pendenza:** 10-15%. **Esposizione:** N. **Gestione:** Fustaia transitoria. **Copertura arborea:** 90%, *Quercus cerris* L. (40%), *Acer opalus* Mill. (30%), *Ostrya carpinifolia* Scop. (20%), *Acer campestre* L. (5%), (5%) *Carpinus*

betulus L., *Fraxinus ornus* L., *Prunus avium* L., *Quercus pubescens* Willd. **Copertura arbustiva:** 40%, *Corylus avellana* L. (60%), *Cornus mas* L. (20%), (20%)
Crataegus monogyna Jacq., *Prunus spinosa* L., *Rosa* L., *Rubus* L. **Copertura erbacea:** -, *Poaceae*, *Pteridophyta*, *Hedera helix* L., *Viola* L., **Lettieria:** -, foglie, corteccia, rami, galle di *Quercus cerris* L., ife fungine. **Rocciosità:** 2%

Suolo (Soil Survey Staff, 2014):

(M. nere)										
Oi	4-2		-	-	-	-	-	-	-	-
Oa	2-0	2-4	A, S	-	-	-	-	-	-	-
Bw1	0-7	7-9	C, W	5 YR 4/2	5-10% mm	FA	3 vf, f, m, c, sbk	fr	3 vf, f; 2 m	
Bw2	7-32	20-25	C, W	5 YR 4/2	45% mm, cm	FA	3 vf, f, m, sbk	fr	3 vf, f; m	
Bw3	32-44+	-	-	5 YR 3/2	10% mm, cm	FA	3 vf, f, m, sbk	fr	3 vf, f	Linea di carboncini abbondante

Particella: T17b. **Profilo n° 1. Coordinate:** Monte Mario → 2364101 E, 4797165 N, Canfaito. **Pendenza:** 5-10%. **Esposizione:** N. **Gestione:** Ceduo invecchiato di faggio. **Copertura arborea:** 80%, *Fagus sylvatica* L. (95%), *Fraxinus ornus* L. (5%), *Ostrya carpinifolia* Scop. (sporadico), *Sorbus aria* (L.) Crantz (sporadico). **Copertura arbustiva:** 5%, *Crataegus monogyna* Jacq., *Euonymus europaeus* L. **Copertura erbacea:** 10%, *Cyclamen* L., *Daphne* L. **Lettieria:** -, foglie, corteccia, rami, faggiolate. **Rocciosità:** 5-10% scheletro superficiale, mm, cm, dm. Scaglia bianca.

Suolo (Soil Survey Staff, 2014):

(M. nere)										
Oi	12-5		-	-	-	-	-	-	-	-
Oa	5-0	10-14	C, W	-	-	-	-	-	-	Ife fungine
A	0-8	8-9	C, S	7.5 YR 3/2	2% mm, cm	FA	3 vf, f, m, c, sbk	fi, br	3 vf, f; 1 m, c 3 vf, f;	
Bw	8-25	13-21	A, W	10 YR 3/4	40% mm, cm	FA	3 vf, f, sbk	fr	2 m; 1 c, vc	Carbonati secondari

CB	25-48+	-	-	10 YR 7/3	70% mm, cm, dm	-	-	-	-	Roccia triturrata
-----------	--------	---	---	-----------	----------------	---	---	---	---	-------------------

Particella: T17b. **Profilo n° 2.** **Coordinate:** Monte Mario → 2364101 E, 4797165 N, Canfairo. **Pendenza:** 5-10%. **Esposizione:** N. **Gestione:** Ceduo invecchiato di faggio. **Copertura arborea:** 80%, *Fagus sylvatica* L. (95%), *Fraxinus ornus* L. (5%), *Ostrya carpinifolia* Scop. (sporadico), *Sorbus aria* (L.) Crantz (sporadico). **Copertura arbustiva:** 5%, *Crataegus monogyna* Jacq., *Euonymus europaeus* L. **Copertura erbacea:** 10%, *Cyclamen* L., *Daphne* L. **Lettiera:** -, foglie, corteccia, rami, faggiole. **Rocciosità:** 5-10% scheletro superficiale, mm, cm, dm. Scaglia bianca.

Suolo (Soil Survey Staff, 2014):

(M. nere)										
Oi	7-5		-	-	-	-	-	-	-	
Oa	5-0	4-11	C, W	-	2% cm	-	-	-	-	Ife fungine
A	0-9	9-11	C, W	5 YR 2/2	10% mm, cm	FA	3 vf, f, sbk	fr	3 vf, f;	
									2 m, c;	
									1 vc	
Bw	9-29	19-22	C, W	5 YR 4/2	40% mm, cm	FA	3 vf, f, m, sbk	fi	3 vf, f;	Carbonati secondari
									2 m;	
									1 vc	
BC	29-44+	-	-	5 YR 4/4	50% mm, cm, dm	FA	3 vf, f, sbk	fi, br	2 vf, f	Roccia un po' triturrata

Particella: T23c. **Profilo n° 1.** **Coordinate:** Monte Mario → 2364649 E, 4797742 N. **Pendenza:** 30-40%. **Esposizione:** NO. **Gestione:** Ceduo matricinato immaturo. **Copertura arborea:** 80%, *Ostrya carpinifolia* Scop. (80%), *Fagus sylvatica* L. (20%), *Fraxinus ornus* L. (10%), *Quercus cerris* L. (10%), *Quercus pubescens* Willd. (10%), *Acer campestre* L. (sporadico), *Acer opalus* Mill. (sporadico). **Copertura arbustiva:** 40%, *Clematis vitalba* L., *Crataegus monogyna* Jacq., *Coronilla* L., *Corylus avellana* L., *Rosa* L., *Rubus* L. **Copertura erbacea:** 30%, *Poaceae*, *Cyclamen* L., *Daphne* L., *Fragaria vesca* L., *Hedera helix* L., *Lathyrus venetus* Mill., *Sanicula europaea* L., *Viola* L., rinnovazione di *Acer opalus* Mill., *Fagus sylvatica* L. **Lettiera:** 80%. **Rocciosità:** 10% scheletro.

Suolo (Soil Survey Staff, 2014):

Oi +Oa	5-0	3-6	C, W	-	-	-	-	-	-	
---------------	-----	-----	------	---	---	---	---	---	---	--

AB	0-3	2-3	C, W	10 YR 3/2	< 5% cm	FA	3 vf, f, m, sbk	fr	3 vf, f; 1 m	
Bw1	3-8	4-6	C, W	10 YR 3/3	5% cm	FA	3 vf, f, m, c, sbk	fr	3 vf, f	
Bw2	8-22	10-15	C, W	10 YR 3/3	5%	FA	3 f, m, c, sbk	fr	3 vf, f; 2 m	Poco popping
Bw3	22-33	8-13	C, W	10 YR 3/4	70%	FA	2 f, m, c, sbk	fr	1 vf, f	Poco popping
Bw4	33-48+	-	-	10 YR 3/6	70%	FA	2 vf, f, m, sbk	fr	1 f	Poco popping

Particella: T23c. **Profilo n° 2. Coordinate:** Monte Mario → 2364649 E, 4797742 N. **Pendenza:** 30-40%. **Esposizione:** NO. **Gestione:** Ceduo matricinato immaturo. **Copertura arborea:** 80%, *Ostrya carpinifolia* Scop. (80%), *Fagus sylvatica* L. (20%), *Fraxinus ornus* L. (10%), *Quercus cerris* L. (10%), *Quercus pubescens* Willd. (10%), *Acer campestre* L. (sporadico), *Acer opalus* Mill. (sporadico). **Copertura arbustiva:** 40%, *Clematis vitalba* L., *Crataegus monogyna* Jacq., *Coronilla* L., *Corylus avellana* L., *Rosa* L., *Rubus* L. **Copertura erbacea:** 30%, *Poaceae*, *Cyclamen* L., *Daphne* L., *Fragaria vesca* L., *Hedera helix* L., *Lathyrus venetus* Mill., *Sanicula europaea* L., *Viola* L., rinnovazione di *Acer opalus* Mill., *Fagus sylvatica* L. **Lettieria:** 80%. **Rocciosità:** 10% scheletro.

Suolo (Soil Survey Staff, 2014):

Oi + Oa	2-0	2	C, W	-	2% mm, cm, sub- rounded, discoidal	-	-	-	3 vf; 2 f	
A	0-2	1.5-2	C, W	10 YR 3/3	5% mm, cm, sub- rounded, spherical	FA	3 f, sbk	fr	2 vf, f	
AB	2-6	4.5-5	C, S	10 YR 4/4	5% mm, cm, sub- rounded, sub- prismoidal	FA	3 f, m, sbk	fr	2 vf, f; 1 c	

Bw	6-13	6.5-8	C, W	10 YR 4/4	15% cm, dm, sub-rounded, sub-discoidal	FA	3 f, m, sbk	fr	2 vf, f; 1 c	Linea di pietre
ABb	13-18	5-6	C, W	7.5 YR 4/4	25% cm, dm, sub-rounded, prismoidal	FA	3 f, m, sbk	fr	2 vf, f; 1 m	
Bw1b	18-27	8.5-9	C, W	7.5 YR 4/4	10% mm, cm, sub-rounded, spherical	FA	3 f, m, sbk	fr	2 vf, f; 1 m	
Bw2b	27-33	6-10	C, W	10 YR 4/4	10% mm, cm, sub-angular, sub- prismoidal	FA	3 vf, sbk	fr	2 vf, f; 1 m	
Bw3b	33-48+	-	-	10 YR 5/4	40% mm, cm, sub-rounded, sub-discoidal	FA	3 vf, sbk	fr	2 vf, f; 1 m	

Particella: T23d. **Profilo n° 1. Coordinate:** Monte Mario → 2364651 E, 4797523 N. **Pendenza:** 50-60%. **Esposizione:** NO. **Gestione:** Ceduo matricinato maturo. **Copertura arborea:** 90%, *Fagus sylvatica* L. (50%), *Ostrya carpinifolia* Scop. (40%), (10%) *Acer opalus* Mill., *Fraxinus ornus* L., *Quercus cerris* L., *Quercus pubescens* Willd, *Sorbus aria* (L.) Crantz. **Copertura arbustiva:** 0%. **Copertura erbacea:** 10%, (80%) *Poaceae*, (10%) *Hedera helix* L., *Viola* L., (10%) rinnovazione di *Acer opalus* Mill., *Fagus sylvatica* L. **Lettiera:** 80%. **Rocciosità:** 20% affiorante, 30% scheletro.

Suolo (Soil Survey Staff, 2014):

Oi	10-7	1-5	C, W	-	-	-	-	-	-	
Oa	7-0	4-7	C, W	-	-	-	-	-	-	Ife fungine
A	0-3	2-3	C, W	10 YR 3/2	-	FA	3 vf, f, m, sbk	fr	3 vf, f	Poco popping

AB	3-6	3-5	C, W	10 YR 3/3	50%	FA	3 vf, f, m, sbk	fr	3 vf, f	Linea di pietre
AB_b	11-14	1-3	C, W	10 YR 3/3	10%	FA	3 vf, f, m, sbk	fr	2 vf, f, m; 1 c	
Bw1_b	14-20	4-7	C, W	10 YR 3/4	10%	FA	3 vf, f, m, sbk	fr, br	1 vf; 2 f, m	
Bw2_b	20-29	4-9	C, W	10 YR 3/6	30%	FA	3 vf, f, m, sbk	fr	1 vf; 2 f, m	Poco popping
Bw3_b	29-49+	-	-	10 YR 3/6	40%	FA	3 vf, f, m, c, sbk	fr	1 vf, f, m	Poco popping

Particella: T23d. **Profilo n° 2. Coordinate:** Monte Mario → 2364651 E, 4797523 N. **Pendenza:** 50-60%. **Esposizione:** NO. **Gestione:** Ceduo matricinato maturo. **Copertura arborea:** 90%, *Fagus sylvatica* L. (50%), *Ostrya carpinifolia* Scop. (40%), (10%) *Acer opalus* Mill., *Fraxinus ornus* L., *Quercus cerris* L., *Quercus pubescens* Willd., *Sorbus aria* (L.) Crantz. **Copertura arbustiva:** 0%. **Copertura erbacea:** 10%, (80%) *Poaceae*, (10%) *Hedera helix* L., *Viola* L., (10%) rinnovazione di *Acer opalus* Mill., *Fagus sylvatica* L. **Lettiera:** 80%. **Rocciosità:** 20% affiorante, 30% scheletro.

Suolo (Soil Survey Staff, 2014):

Oi	4-3	1	A, S	-	30% cm, dm, angular, sub- prismoidal	-	-	-	-	
Oa	3-0	3	C, S	-	5% cm, angular, spherical	-	3 gr	-	2 vf	
A	0-2	2	C, S	7.5 YR 2/2	5% cm, sub- angular, prismoidal	FA	3 f, sbk	fr	3 vf, f; 1 c	
AB	2-6	3.5-5	C, W	10 YR 4/2	15% mm, cm, angular, spherical	FA	3 vf, f, m, sbk, abk	fr	3 vf, f; 2 m	Linea di pietre

Bw1_b	6-11	6.5-9	C, S	10 YR 4/4	30% cm, dm, sub-angular, spherical	FA	3 vf, f, sbk	mp	3 vf, f; 2 m	Linea di pietra
Bw2_b	11-23	11	C, S	10 YR 4/4	40% mm, cm, sub-angular, prismoidal	FA	3 vf, f, sbk	mp	3 vf, f; 2 m; 1 c	
Bw3_b	23-36	13	C, W	10 YR 4/4	40% mm, cm, dm, rounded, sub-discoidal	FA	3 vf, f, sbk	mp	2 vf, f; 1 c	
Bw4_b	36-48+	-	-	10 YR 4/4	60% mm, cm, dm, rounded, discoidal	FA	3 vf, sbk	mp	2 f, m; 1 c, vc	Presenza di mesofauna

Particella: T33a. **Profilo n° 1. Coordinate:** Monte Mario → 2364668 E, 4796154 N. **Pendenza:** 70-80%. **Esposizione:** N. **Gestione:** Fustaia transitoria/Ceduo invecchiato di faggio. **Copertura arborea:** 95%, *Fagus sylvatica* L. (95%), (5%) *Acer opalus* Mill., *Ostrya carpinifolia* Scop. **Copertura arbustiva:** 5%, *Ilex aquifolium* L., *Rubus* L. **Copertura erbacea:** 5%, *Poaceae*, *Cyclamen* L., *Daphne* L., *Hedera helix* L., *Hepatica nobilis* Schreb., *Lathyrus venetus* Mill., *Sanicula europaea* L., *Viola* L., rinnovazione di *Acer opalus* Mill., *Fagus sylvatica* L. **Lettiera:** 95%. **Rocciosità:** 10% affiorante, 10% scheletro.

Suolo (Soil Survey Staff, 2014):

Oi	13-4	3-8	C, W	-	-	-	-	-	-	Presenza di mesofauna
Oa	4-0	1-4	C, W	-	-	-	3 vf, f, gr	fr	3 vf	Presenza di mesofauna
AB	0-3	1-3	C, W	5 YR 3/3	-	A	3 vf, f, sbk	mp	3 vf; 2 f; 1 m	
Bw1	3-7	3-7	C, W	5 YR 4/6	25% mm, cm	FA	3 vf, f, m, sbk	fr	3 vf, f; 1 m	Presente solo per metà profilo
Bw2	7-25	8-18	C, W	5 YR 3/4	20% cm, dm	A	3 vf, f, m, sbk	fr	1 f, m, c;	Presenza di mesofauna

Bw3	25-46+	-	-	2.5 YR 3/4	40% dm	A	3 f, m, c, sbk	sp	2 vc 2 f; 1 m
------------	--------	---	---	------------	--------	---	-------------------	----	------------------

Particella: T33a. **Profilo n° 2.** **Coordinate:** Monte Mario → 2364668 E, 4796154 N. **Pendenza:** 70-80%. **Esposizione:** N. **Gestione:** Fustaia transitoria/Ceduo invecchiato di faggio. **Copertura arborea:** 95%, *Fagus sylvatica* L. (95%), (5%) *Acer opalus* Mill., *Ostrya carpinifolia* Scop. **Copertura arbustiva:** 5%, *Ilex aquifolium* L., *Rubus* L. **Copertura erbacea:** 5%, *Poaceae*, *Cyclamen* L., *Daphne* L., *Hedera helix* L., *Hepatica nobilis* Schreb., *Lathyrus venetus* Mill., *Sanicula europaea* L., *Viola* L., rinnovazione di *Acer opalus* Mill., *Fagus sylvatica* L. **Lettieria:** 95%. **Rocciosità:** 10% affiorante, 10% scheletro.

Suolo (Soil Survey Staff, 2014):

Oi	2-1	1	-	-	-	-	-	-	-
Oa	1-0	1	C, S	-	5% cm, sub- rounded, prismoidal	-	-	-	3 vf, f; 2 m; 1 c
A	0-4	4,5	C, W	5 YR 3/2	2-5% cm, sub- rounded, sub- discoidal	A	3 vf, f, m, sbk	fr	3 vf, f; 1 m, c
AB	4-7	3-4	C, W	5 YR 3/3	70% cm, dm, rounded, discoidal	A	3 vf, f, m, abk	fi	2 vf, f; 1 m
Bw	7-27	20-23	C, W	5 YR 3/3	50% mm, cm, dm, angular, sub- prismoidal	A	3 vf, f, m, c, vc, abk	fr	2 vf, f; 3 m; 1 c, vc
BC	27-46+	-	-	-	-	-	-	-	2 vf, f; 1 m, c

Particella: T33b. **Profilo n° 1.** **Coordinate:** Monte Mario → 2364751 E, 4796403 N. **Pendenza:** 50%. **Esposizione:** NO. **Gestione:** Fustaia transitoria di faggio. **Copertura arborea:** 95%, *Fagus sylvatica* L. (98%), (2%) *Acer opalus* Mill., *Ostrya carpinifolia* Scop., *Quercus pubescens* Willd., *Sorbus aria* (L.) Crantz.

Copertura arbustiva: 2%, (10%) *Lonicera caprifolium* L, *Rubus* L., (80%) novellame di *Fagus sylvatica* L. **Copertura erbacea:** 30%, (20%) *Poaceae*, *Cardamine kitaibelii* Bech., *Cyclamen* L., *Daphne* L., *Euphorbia* L., *Hedera helix* L., *Helleborus* Tourn., *Hepatica nobilis* Schreb., *Viola* L., (80%) rinnovazione di *Acer campestre* L., *Acer opalus* Mill., *Fagus sylvatica* L., *Fraxinus ornus* L. **Lettiera:** 95%. **Rocciosità:** 5% affiorante, 5% scheletro.

Suolo (Soil Survey Staff, 2014):

Oi	5-2	4-6	C, W	-	-	-	-	-	-	
Oa	2-0	1-2	C, W	-	-	-	3 vf, gr	fr	3 vf, f	
A	0-4	3-5	C, W	7.5 YR 3/4	-	FA	3 vf, f, m, sbk	fr	3 vf, f; 2 m	
AB	4-7	3-5	C, W	7.5 YR 3/4	20%	FA	3 vf, f, m, sbk	fr	3 vf, f, m; 1 c, vc	
Bw1	7-13	6-9	C, W	7.5 YR 4/4	30%	FA	3 vf, f, m, sbk	fr	3 vf, f; 1 m	
Bw2	13-33	15-20	C, W	7.5 YR 4/4	50%	FA	3 vf, f, m, sbk	fr	2 vf; 3 f, m; 1 c	Un po' popping
Bw3	33-44	10-12	C, W	7.5 YR 4/6	60%	FA	3 vf, f, m, sbk	fr	3 vf, f	
CB	44-53+	-	-	7.5 YR 6/3	70%	FA	1 vf, sg; 1 f, sbk	fr	3 vf, f; 2 m	

Particella: T33b. **Profilo n° 2.** **Coordinate:** Monte Mario → 2364751 E, 4796403 N. **Pendenza:** 50%. **Esposizione:** NO. **Gestione:** Fustaia transitoria di faggio.

Copertura arborea: 95%, *Fagus sylvatica* L. (98%), (2%) *Acer opalus* Mill., *Ostrya carpinifolia* Scop., *Quercus pubescens* Willd., *Sorbus aria* (L.) Crantz.

Copertura arbustiva: 2%, (10%) *Lonicera caprifolium* L, *Rubus* L., (80%) novellame di *Fagus sylvatica* L. **Copertura erbacea:** 30%, (20%) *Poaceae*, *Cardamine*

kitaibelii Bech., *Cyclamen* L., *Daphne* L., *Euphorbia* L., *Hedera helix* L., *Helleborus* Tourn., *Hepatica nobilis* Schreb., *Viola* L., (80%) rinnovazione di *Acer campestre* L., *Acer opalus* Mill., *Fagus sylvatica* L., *Fraxinus ornus* L. **Lettiera:** 95%. **Rocciosità:** 5% affiorante, 5% scheletro.

Suolo (Soil Survey Staff, 2014):

O	1-0	1	C, S	-	5% mm, cm, angular, sub- prismoidal	-	3 gr	-	-
A	0-2	2-3	C, W	5 YR 3/2	5% mm, cm, angular, sub- prismoidal	FA	3 vf, f, sbk	mp	3 vf, f; 1 m, c
AB	2-7	5-7	C, W	5 YR 3/2	2-5% cm, angular, sub- discoidal	FA	3 vf, f, sbk	mp	3 vf, f; 2 m
Bw1	7-19	10-12	C, W	5 YR 4/3	40%	FA	3 vf, f, abk	mp	3 vf, f; 2 m; 1 c
Bw2	19-41	15-23	C, W	5 YR 4/3	50%	FA	3 vf, abk	mp	3 vf, f; 1 m, c, vc
CB	41-53+	-	-	-	70%	-	3 vf, sg	-	3 vf, f; 1 m, c, vc

Particella: T35e. **Profilo n° 1. Coordinate:** Monte Mario → 2365172 E, 4796441 N. **Pendenza:** 20%. **Esposizione:** N. **Gestione:** Ceduo giovane di faggio. **Copertura arborea:** 70%, *Fagus sylvatica* L. (80%), *Ostrya carpinifolia* Scop. (10%), *Fraxinus ornus* L. (5%), *Quercus cerris* L. (5%), *Acer campestre* L. (sporadico). **Copertura arbustiva:** 20%, *Cornus mas* L. (30%), *Corylus avellana* L. (30%), *Clematis vitalba* L. (20%), *Rubus* L. (10%). **Copertura erbacea:** 20%, *Cyclamen* L., *Daphne* L., *Hedera helix* L., *Mercurialis* L. **Lettiera:** -, foglie, rami di *Fagus sylvatica* L., *Ostrya carpinifolia* Scop., *Quercus cerris* L., *Crataegus monogyna* Jacq. **Rocciosità:** 5% scheletro in superficie. Scaglia bianca.

Suolo (Soil Survey Staff, 2014):

(M. nere)										
Oi	10-5		-	-	-	-	-	-	-	-
Oa	5-0	7-10	A, W	-	2%	-	-	-	-	3 vf, f
AE	0-10	10-14	C, W	7.5 YR 4/2	2% mm, cm, dm	FA	3 vf, f, m, sbk, abk	fr, br	3 vf, f; 2 m, c	3 vf, f;
Bw	10-34	11-24	C, W	7.5 YR 3/2	60% mm, cm, dm	FA	3 vf, f, m sbk	fr	2 m, c, vc	
BC	34-36+	-	-	7.5 YR 4/2	70% mm, cm, dm	-	3 vf, f, sbk	fr	1 vf, f	Carbonati secondari, tracce di carboncini mm

Particella: T35e. **Profilo n° 2. Coordinate:** Monte Mario → 2365172 E, 4796441 N. **Pendenza:** 20%. **Esposizione:** N. **Gestione:** Ceduo giovane di faggio. **Copertura arborea:** 70%, *Fagus sylvatica* L. (80%), *Ostrya carpinifolia* Scop. (10%), *Fraxinus ornus* L. (5%), *Quercus cerris* L. (5%), *Acer campestre* L. (sporadico). **Copertura arbustiva:** 20%, *Cornus mas* L. (30%), *Corylus avellana* L. (30%), *Clematis vitalba* L. (20%), *Rubus* L. (10%). **Copertura erbacea:** 20%, *Cyclamen* L., *Daphne* L., *Hedera helix* L., *Mercurialis* L. **Lettiera:** -, foglie, rami di *Fagus sylvatica* L., *Ostrya carpinifolia* Scop., *Quercus cerris* L., *Crataegus monogyna* Jacq. **Rocciosità:** 5% scheletro in superficie. Scaglia bianca.

Suolo (Soil Survey Staff, 2014):

(M. nere)										
Oi	4-2		-	-	-	-	-	-	-	-
Oa	2-0	3-5	A, W	-	-	-	-	-	-	3 vf, f;
A	0-7	7-9	C, W	5 YR 3/2	5% cm	FA	3 vf, f sbk	fi	1 m, c, vc	
Bw1	7-21	10-13	C, W	5 YR 3/2	60% mm, cm	FA	3 vf, f, m sbk	fr	3 vf, f;	

									2 m; 1 c, vc	
Bw2	21-36	8-15	C, W	5 YR 4/2	70% mm, cm, dm	-	3 vf, f, m, sbk	fr	3 vf, f; 1 m, vc	Roccia triturata, frammenti di carbone
BC	36-39+	-	-	5 YR 4/4	75% dm	-	-	-	1 vf, f, vc	

Particella: T38a. **Profilo n° 1. Coordinate:** Monte Mario → 2365631 E, 4796839 N. **Pendenza:** 20%. **Esposizione:** N-NO. **Gestione:** Ceduo in riproduzione. **Copertura arborea:** 40%, *Quercus cerris* L. (95%), matricine di *Ostrya carpinifolia* Scop. (5%). **Copertura arbustiva:** 60%, (20%) *Corylus avellana* L., *Rosa* L., *Rubus* L., (80%) rinnovazione agamica di *Acer opalus* Mill., *Fagus sylvatica* L., *Faxinus ornus* L., *Ostrya carpinifolia* Scop., *Quercus cerris* L., *Sorbus aria* (L.) Crantz. **Copertura erbacea:** 80%, (85%) *Poaceae*, (10%) *Pteridophyta*, spp. di prati-pascoli, (5%) rinnovazione di *Acer opalus* Mill., *Fraxinus ornus* L., *Quercus cerris* L. **Lettiera:** < 5%. **Rocciosità:** 30% scheletro.

Suolo (Soil Survey Staff, 2014):

Oi + Oa	4-0	2-5	C, W	-	-	-	-	-	3 vf	
AB	0-3	3-5	C, W	7.5 YR 3/2	20% mm, cm	A	3 vf, f, m, sbk	fr, mp	3 vf, 2 f	
Bw1	3-12	5-9	C, W	10 YR 4/3	30% mm, cm	A	3 vf, f, m, sbk	mp	1 vf, f, m	
Bw2	12-25	10-13	C, W	7.5 YR 4/6	40% mm, cm	A	3 vf, f, m, sbk	mp	1 vf, f, m	
Bw3	25-41+	-	-	7.5 YR 4/4	60% mm, cm, dm	A	3 vf, f, m, sbk	mp	1 vf, f, m	

Particella: T38a. **Profilo n° 2. Coordinate:** Monte Mario → 2365631 E, 4796839 N. **Pendenza:** 20%. **Esposizione:** N-NO. **Gestione:** Ceduo in riproduzione. **Copertura arborea:** 40%, *Quercus cerris* L. (95%), matricine di *Ostrya carpinifolia* Scop. (5%). **Copertura arbustiva:** 60%, (20%) *Corylus avellana* L., *Rosa* L., *Rubus* L., (80%) rinnovazione agamica di *Acer opalus* Mill., *Fagus sylvatica* L., *Faxinus ornus* L., *Ostrya carpinifolia* Scop., *Quercus cerris* L., *Sorbus aria* (L.)

Crantz. **Copertura erbacea:** 80%, (85%) *Poaceae*, (10%) *Pteridophyta*, spp. di prati-pascoli, (5%) rinnovazione di *Acer opalus* Mill., *Fraxinus ornus* L., *Quercus cerris* L. **Lettiera:** < 5%. **Rocciosità:** 30% scheletro.

Suolo (Soil Survey Staff, 2014):

Oi + Oa	1-0	1-2	C, W	-	-	-	-	-	-	
AB	0-4	3.5-4	C, W	7.5 YR 4/3	5% cm, rounded, sub-discoidal	A	3 vf, f, sbk	mp	3 vf, f	
Bw	4-14	10-10.5	C, W	7.5 YR 4/3	15% mm, cm, rounded, sub- discoidal	A	3 vf, f, sbk, abk	mp	2 vf, f; 1 m	Linea di pietre
AB_b	14-25	9-11	C, W	7.5 YR 5/4	60% cm, dm, sub-rounded, sub-discoidal	A	3 vf, f, abk	mp	2 vf, f	
Bw_b	25-45+	-	-	7.5 YR 5/4	70% mm, cm, dm, sub-rounded, spherical	A	3 vf, sbk	mp	2 vf, f, m; 1 vc	

Particella: T38b. **Profilo n° 1.** **Coordinate:** Monte Mario → 2365730 E, 4796878 N. **Pendenza:** 30%. **Esposizione:** NO. **Gestione:** Ceduo matricinato maturo.

Copertura arborea: 95%, (40%) *Ostrya carpinifolia* Scop., (30%) *Quercus cerris* L., (20%) *Acer opalus* Mill., *Fraxinus ornus* L., (10%) *Fagus sylvatica* L., (sporadico) *Laburnum anagyroides* Medik., *Sorbus aria* (L.) Crantz. **Copertura arbustiva:** 40%, (30%) *Corylus avellana* L., *Coronilla* L., *Crataegus monogyna* Jacq., *Cytisus* L., *Juniperus oxycedrus* L., *Rosa* L., *Ruscus aculeatus* L., (70%) novellame di *Acer opalus* Mill., *Fagus sylvatica* L., *Fraxinus ornus* L. **Copertura erbacea:** 50%, (70%) *Poaceae*, (20%) *Carduus* L., *Euphorbia* L., *Fragaria vesca* L., *Galium* L., *Hepatica nobilis* Schreb., *Viola* L., (10%) rinnovazione di *Acer opalus* Mill., *Fagus sylvatica* L., *Fraxinus ornus* L., *Quercus cerris* L. **Lettiera:** 80%. **Rocciosità:** 0% affiorante, 5% scheletro in superficie.

Suolo (Soil Survey Staff, 2014):

Oi + Oa	2.5-0	2.5	C, S	-	-	-	-	-	1 vf, f	
----------------	-------	-----	------	---	---	---	---	---	---------	--

A	0-0.5	0.5-2	A, S	7.5 YR 3/2	2% mm, sub-angular, prismoidal	A	3 vf, sbk	fi	2 vf, f	
Bw	0.5-17	13-16.5	C, W	7.5 YR 4/4	10% mm, cm, sub-rounded, spherical/sub-prismoidal	A	3 vf, f, sbk	mp	2 vf, f; 1 m	
Bw1b	17-24	5-7	C, W	7.5 YR 5/6	40% mm, cm, dm, sub-angular, spherical	A	3 f, sbk	mp	2 vf, f; 1 c	Linea di pietre, tasche di SO
Bw2b	24-33	2-9	C, W	7.5 YR 5/6	45% cm, dm, sub-angular, sub-prismoidal	A	3 vf, f, sbk	mp	2 vf, f; 1 m	
BC_b	33-40+	-	-	7.5 YR 5/6	50% mm, cm, dm, sub-rounded, sub-prismoidal	A	2 vf, f, sbk	mp	1 vf, f	

Particella: T38b. **Profilo n° 2.** **Coordinate:** Monte Mario → 2365730 E, 4796878 N. **Pendenza:** 30%. **Esposizione:** NO. **Gestione:** Ceduo matricinato maturo. **Copertura arborea:** 95%, (40%) *Ostrya carpinifolia* Scop., (30%) *Quercus cerris* L., (20%) *Acer opalus* Mill., *Fraxinus ornus* L., (10%) *Fagus sylvatica* L., (sporadico) *Laburnum anagyroides* Medik., *Sorbus aria* (L.) Crantz. **Copertura arbustiva:** 40%, (30%) *Corylus avellana* L., *Coronilla* L., *Crataegus monogyna* Jacq., *Cytisus* L., *Juniperus oxycedrus* L., *Rosa* L., *Ruscus aculeatus* L., (70%) novellame di *Acer opalus* Mill., *Fagus sylvatica* L., *Fraxinus ornus* L. **Copertura erbacea:** 50%, (70%) *Poaceae*, (20%) *Carduus* L., *Euphorbia* L., *Fragaria vesca* L., *Galium* L., *Hepatica nobilis* Schreb., *Viola* L., (10%) rinnovazione di *Acer opalus* Mill., *Fagus sylvatica* L., *Fraxinus ornus* L., *Quercus cerris* L. **Lettiera:** 80%. **Rocciosità:** 0% affiorante, 5% scheletro in superficie. **Suolo** (Soil Survey Staff, 2014):

Oi	7-2	4-9	C, W	-	-	-	-	-	-
Oe + Oa	2-0	1-3	C, W	-	-	-	-	-	-

A	0-2	2-4	C, W	10 YR 2/2	20% mm, cm	A	3 vf, f gr; 3 vf, f, sbk	fr	3 vf, f; 1 m, c	
AB	2-6	2-5	C, W	10 YR 3/2	20% mm, cm	A	3 vf, f, sbk	fr	3 vf, f	
Bw	6-20	13-16	C, W	10 YR 3/4	50% mm, cm, dm	A	3 vf, f, m, sbk	fr	3 vf, f	Un po' popping, linea di pietre
Bw1_b	20-40	18-20	C, W	10 YR 4/4	70% mm, cm, dm	A	3 vf, f, sbk	mp	3 vf, f, m	
Bw2_b	40-43+	-	-	-	-	-	-	-	-	Tritume

Particella: T41a. **Profilo n° 1. Coordinate:** Monte Mario → 2366674 E, 4797677 N. **Pendenza:** 60%. **Esposizione:** N. **Gestione:** Ceduo al taglio. **Copertura arborea:** 90%, *Ostrya carpinifolia* Scop. (25%), *Acer opalus* Mill. (20%), *Fraxinus ornus* L. (20%), *Quercus cerris* L. (20%), *Acer pseudoplatanus* L. (5%), *Acer monspessulanum* L. (sporadico). **Copertura arbustiva:** 10%, *Cornus mas* L. (40%), *Crataegus monogyna* Jacq. (30%), *Lonicera caprifolium* L. (30%), novellame *Acer opalus* Mill. e *Fraxinus ornus* L. (20%). **Copertura erbacea:** 30%, *Hedera helix* L., *Hepatica nobilis* Schreb., *Lathyrus venetus* Mill., *Luzula nivea* L., *Polypodium vulgare* L., *Viola* L., rinnovazione di *Acer opalus* Mill., *Fraxinus ornus* L., *Sorbus aria* (L.) Crantz (10%). **Lettiera:** 90%. **Rocciosità:** 5% roccia affiorante, 10% scheletro.

Suolo (Soil Survey Staff, 2014):

Oi + Oe + Oa	3-0	-	C, W	-	2% mm	-	-	-	3 vf, f	
A	0-5	3-5	C, W	10 YR 2/2	2% cm	A	3 vf, f, sbk	fr	3 vf, f; 1 m	
Bw1	5-11	6-8	C, W	10 YR 3/3	5% cm, dm	A	3 vf, f, sbk	fr	3 vf, f; 2 m, vc	
Bw2	11-19	8-9	C, W	10 YR 3/3	10% cm	A	3 vf, f, sbk	fr	3 vf, f; 2 m; 1 c	
Bw3	19-28	10-11	C, W	10 YR 3/3	20% cm, dm	A	3 vf, f, sbk	fr	3 vf, f; 1 m	

BC	28-40+	-	.	10 YR 3/3	60% cm, dm	A	3 vf, f, sbk	fr	3 vf, f; 1 m
----	--------	---	---	-----------	------------	---	--------------	----	-----------------

Particella: T41a. **Profilo n° 2. Coordinate:** Monte Mario → 2366674 E, 4797677 N. **Pendenza:** 60%. **Esposizione:** N. **Gestione:** Ceduo al taglio. **Copertura arborea:** 90%, *Ostrya carpinifolia* Scop. (25%), *Acer opalus* Mill. (20%), *Fraxinus ornus* L. (20%), *Quercus cerris* L. (20%), *Acer pseudoplatanus* L. (5%), *Acer monspessulanum* L. (sporadico). **Copertura arbustiva:** 10%, *Cornus mas* L. (40%), *Crataegus monogyna* Jacq. (30%), *Lonicera caprifolium* L. (30%), novellame *Acer opalus* Mill. e *Fraxinus ornus* L. (20%). **Copertura erbacea:** 30%, *Hedera helix* L., *Hepatica nobilis* Schreb., *Lathyrus venetus* Mill., *Luzula nivea* L., *Polypodium vulgare* L., *Viola* L., rinnovazione di *Acer opalus* Mill., *Fraxinus ornus* L., *Sorbus aria* (L.) Crantz (10%). **Lettiera:** 90%. **Rocciosità:** 5% roccia affiorante, 10% scheletro.

Suolo (Soil Survey Staff, 2014):

Oi	3-1		-	-	-	-	-	-	-
Oa	1-0	1-3	C, W	-	-	-	-	-	-
A	0-6	5-8	C, W	10 YR 2/2	2% mm	A	3 vf, f, sbk	fr	3 vf, f; 3 vf, f;
Bw	6-22	9-16	C, W	10 YR 3/4	20% mm, cm	A	3 vf, f, sbk	fr	2 m; 1 vc, c 3 vf, f;
BC	22-41+	-	-	10 YR 3/4	45% mm, cm, dm	A	3 vf, f, m sbk	fr	2 m; 1 vc, c

Particella: T42b. **Profilo n° 1. Coordinate:** WGS84 → 13.114747 E, 43.316636 N. **Pendenza:** 40%. **Esposizione:** N. **Gestione:** Ceduo matricinato maturo. **Copertura arborea:** 90%, (90%) *Fraxinus ornus* L., *Ostrya carpinifolia* Scop., (10%) *Acer opalus* Mill., *Quercus cerris* L., *Sorbus aria* (L.) Crantz. **Copertura arbustiva:** 10%, *Crataegus monogyna* Jacq., *Lonicera caprifolium* L. **Copertura erbacea:** 30%, *Poaceae*, *Cyclamen* L., *Hedera helix* L., *Hepatica nobilis* Schreb. **Lettiera:** 90%. **Rocciosità:** 20% scheletro, Scaglia bianca.

Suolo (Soil Survey Staff, 2014):

Oi	3-2	0.5-2	-	-	-	-	-	-	-	-
Oa	2-0	1.5-2.5	C, W	-	2% mm, cm	-	3 gr	-	-	-
Bw1	0-7	3-7	C, W	10 YR 4/3	2% mm, cm	FA	3 vf, f, m, sbk, abk	fr	3 vf, f; 1 m	
Bw2	7-21	6-16	C, W	10 YR 4/2	30% mm, cm	FA	3 vf, f, m, c, sbk	mh	3 vf, f; 2 m	Presenza di CaCO ₃ secondario
BC	21-35+	-	-	-	65% mm, cm, dm	-	-	-	3 vf, f	

Particella: T42b. **Profilo n° 2.** **Coordinate:** WGS84 → 13.114747 E, 43.316636 N. **Pendenza:** 40%. **Esposizione:** N. **Gestione:** Ceduo matricinato maturo.

Copertura arborea: 90%, (90%) *Fraxinus ornus* L., *Ostrya carpinifolia* Scop., (10%) *Acer opalus* Mill., *Quercus cerris* L., *Sorbus aria* (L.) Crantz. **Copertura arbustiva:** 10%, *Crataegus monogyna* Jacq., *Lonicera caprifolium* L. **Copertura erbacea:** 30%, *Poaceae*, *Cyclamen* L., *Hedera helix* L., *Hepatica nobilis* Schreb.

Lettiera: 90%. **Rocciosità:** 20% scheletro, Scaglia bianca.

Suolo (Soil Survey Staff, 2014):

Oi	3-2	-	C, W	-	-	-	-	-	-	-
Oa	2-0	-	C, W	-	5% mm, cm	-	-	-	-	-
A	0-3	1-3	C, W	10 YR 2/2	5% mm	FA	3 vf, f, sbk	fr	3 vf, f	
Bw	3-18	13-19	C, W	10 YR 3/2	50-70% mm, dm	FA	3 vf, f, sbk	mh	3 vf, f; 2 m; 1 c	Presenza di CaCO ₃ secondario
BC	18-35+	-	-	-	75% dm	-	-	-	2 vf, f; 1 c	

Particella: T42c. **Profilo n° 1.** **Coordinate:** WGS84 → 13.154697 E, 43.317147 N. **Pendenza:** 40%. **Esposizione:** N. **Gestione:** Ceduo matricinato. **Copertura arborea:** 80%, Matricine di *Quercus cerris* L. **Copertura arbustiva:** 5%, *Prunus spinosa* L., novellame di *Acer opalus* Mill., *Fraxinus ornus* L., *Ostrya carpinifolia* Scop., *Sorbus aria* (L.) Crantz. **Copertura erbacea:** 90%, *Poaceae*, *Cyclamen* L., *Daphne* L., *Fragaria vesca* L., *Hedera helix* L., *Helleborus Tourn.*, *Lamium maculatum* L. **Lettiera:** Sporadica. **Rocciosità:** 15% scheletro, Scaglia bianca.

Suolo (Soil Survey Staff, 2014):

Oi	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Sporadico
Oa	1-0	1-1.5	C, W	-	2% mm, cm, sub- rounded, spherical/prismo- dal	-	3 gr	-	3 vf, f; 1 c	
A	0-4	2-4	C, W	7.5 YR 3/2	2% mm, cm, sub- rounded, spherical	FA	3 vf, f, sbk	fr	3 vf, f; 1 m	
BC	4-21	16-22	C, W	7.5 YR 3/4	60% mm, cm, dm, angular/sub- rounded, spherical/prismo- dal	FA	3 vf, f, m, sbk, abk	fr	3 vf, f; 1 m, c	Precipitazione CaCO ₃ secondario (pendular)
C	21-35+	-	-	-	70-80% dm	-	-	-	2 vf, f	

Particella: T42c. **Profilo n° 2.** **Coordinate:** WGS84 → 13.154697 E, 43.317147 N. **Pendenza:** 40%. **Esposizione:** N. **Gestione:** Ceduo matricinato. **Copertura arborea:** 80%, Matricine di *Quercus cerris* L. **Copertura arbustiva:** 5%, *Prunus spinosa* L., novellame di *Acer opalus* Mill., *Fraxinus ornus* L., *Ostrya carpinifolia* Scop., *Sorbus aria* (L.) Crantz. **Copertura erbacea:** 90%, *Poaceae*, *Cyclamen* L., *Daphne* L., *Fragaria vesca* L., *Hedera helix* L., *Helleborus Tourn.*, *Lamium maculatum* L. **Lettiera:** Sporadica. **Rocciosità:** 15% scheletro, Scaglia bianca.

Suolo (Soil Survey Staff, 2014):

Oi	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Sporadico
Oa	4-0	1-4	C, W	-	-	-	-	-	-	
A	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Sporadico
Bw1	0-6	6-7	C, W	10 YR 3/3	20%	FA	3 vf, f, m, sbk	fr	3 vf, f; 1 m	Precipitazione CaCO ₃ secondario (pendular)
Bw2	6-15	9-12	C, W	10 YR 3/3	40%	FA	3 vf, f, m, sbk	fr	2 vf, f; 1 m	

C 15-35+ - . - 80% - - - -

a : Orizzonte attribuito secondo Schoeneberger et al. (2012).

b : A = abrupt; V = very abrupt; C = clear; G = gradual; S = smooth; W = weavy; I = irregular; B = broken.

c : Colore ad umidità di campo secondo *Munsell Soil Color Charts*; es. 10 YR 2/2 → 10 = Tonalità e “YR” = ”Yellow-Red”,
2/2 = Luminosità/Saturazione.

d : mm = millimetrico, cm = centimetrico, dm = decimetrico.

e : A = argillosa; FA = franco-argillosa; FS = franco-sabbiosa.

f : 1 = weak; 2 = moderate; 3 = strong. f = fine; m = medium; c = coarse. gr =granular; abk = angular blocky; sbk = sub-angular blocky; sg = single grain.

g : br = brittle; fi = firm; fr = friable; mh = moderately hard; mp = moderately plastic; ms = moderately sticky; sh = slightly hard; sp = slightly plastic; vfr
= very friable.

h : 0 = absent; 1 = few; 2 = plentiful; 3 = abundant. vf = very fine; f = fine; m = medium; c = coarse;

vc = very coarse. (vf e f valutate su 1 cm², il resto su 1 dm²).

I dati ottenuti dall'attività di campo dove è stato condotto il rilievo e il campionamento, comprendono sia la descrizione geomorfologica, che botanica che morfologica dei profili di suolo rappresentativi di ciascuna area omogenea. Si evidenzia come i suoli oggetto di studio siano evoluti su versanti caratterizzati da elevate pendenze, il che comporta in circostanze particolari (es. in seguito alle attività di utilizzazione forestale del soprassuolo) livelli di erosione tale da favorire la riduzione dello spessore degli orizzonti organici ed organo-minerali (O e A), portando quindi alla superficie gli orizzonti minerali (Bw). Questa situazione si rinviene soprattutto in cenosi che non presentano una copertura totale, spesso governate a ceduo, e in siti con pendenze superiori al 20%. In alcune sotto-particelle (T13b, T23c, T23d, T38a, T38b) sono presenti degli orizzonti sepolti (Bw_b) e linee di pietre, segni evidenti di fenomeni erosivi intensi a carattere franoso. Si è osservato che le particelle in cui sono stati individuati questi orizzonti sepolti sono state soggette al taglio meno di 40-50 anni fa, una di queste particelle (T38a) ha subito un taglio di utilizzazione nella stagione silvana 2019-2020: questo breve periodo definisce una copertura arborea che, anche a causa delle pendenze elevate, non è ancora sufficiente ad annullare l'alterazione morfologica superficiale del suolo derivante dall'azione battente e dall'incanalamento dell'acqua, di conseguenza la ripetuta pratica di utilizzo del bosco ha determinato nel tempo fenomeni erosivi continui e la sepoltura degli orizzonti un tempo in superficie. In tutte le altre sotto-particelle (es. faggete e cerrete gestite ad alto fusto), si osserva una sequenza di orizzonti più regolare e meno turbata, con spessori che aumentano lungo i profili, in quanto meno soggetti alle azioni di alterazione e degradazione; questa maggior regolarità si osserva anche relativamente alla quantità di scheletro presente, che non solo risulta aumentare a maggiori profondità, ma dimostra anche una progressiva differenza conformazionale nella transizione da un orizzonte all'altro; nei suoli soggetti a forte erosione si trova infatti uno scheletro superficiale composto da rocce più alterate e quindi smussate e di dimensioni minori che diventa più grossolano e caratterizzato da spigoli vivi procedendo negli orizzonti sottostanti.

Tutti i suoli esaminati presentano una tessitura annoverabile tra le classi tessiturali Argillosa e Franco-argillosa, la struttura si presenta da moderatamente a fortemente sviluppata con aggregati di diversa dimensione, a blocchi sub-angolari per gli orizzonti minerali in superficie e a blocchi angolari o sub-angolari per gli orizzonti più profondi. Negli orizzonti di transizione di profondità CB o BC è presente una struttura a grani singoli, dovuta alla presenza prevalente dello scheletro piuttosto che della terra fine. Gli orizzonti organici, ad eccezione dell'O_i costituito da materiale ancora in decomposizione e riconoscibile, mostrano una struttura grumosa. Gli orizzonti organo-minerali (A-AB) ricchi di sostanza organica, presentano una struttura a blocchi sub-angolari molto arrotondati. La determinazione della consistenza degli aggregati è stata effettuata in gran parte

nella condizione di bassa umidità o relativamente secca del suolo, valutando la resistenza alla rottura degli aggregati, i quali hanno mostrato una consistenza friabile o solida; i profili caratterizzati da una condizione secca hanno mostrato aggregati con una consistenza simile a quelli con bassa umidità, lievemente o moderatamente forte. I profili con una condizione di elevata umidità, dove è stato valutato il grado di deformazione senza rottura degli aggregati (plasticità), mostrano una consistenza di bassa o moderata plasticità, dovuta alle caratteristiche della frazione argillosa.

Le radici sono state sempre osservate negli orizzonti minerali con prevalenza delle radici fini e medie in quantità moderate o elevate, con sporadica presenza di radici di dimensioni maggiori. Negli orizzonti organici non sempre le radici sono presenti o non sempre ne è stata possibile la valutazione, dato il loro spessore relativamente esiguo. La numerosità delle radici tende a diminuire con la profondità, almeno dai primi 20-30 cm nei suoli esaminati.

Nella maggioranza dei profili pedologici l'andamento dei limiti degli orizzonti appare ondulato e la loro separazione da quelli sovrastanti e sottostanti è chiara. Molto frequente risulta la presenza dell'orizzonte *Cambic* (Bw) con spessori variabili e colore marroncino, che nelle tavole *Munsell* corrisponde a 7.5 YR da 4/4 a 5/6, o a 10 YR da 3/3 a 4/3 o ancora a 5 YR da 3/2 a 4/4. Il colore degli orizzonti soprastanti risulta sempre maggiormente scuro, appunto per la progressiva e maggiore presenza delle sostanze humiche.

I suoli descritti, nei quali gli orizzonti *Cambic* presentano uno spessore maggiore di 15 cm, presi singolarmente o nel loro insieme all'interno dello stesso profilo, secondo la *Soil Taxonomy* (*Soil Survey Staff*, 1999) sono classificabili come *Inceptisol*, l'ordine di suoli più diffuso sul nostro pianeta. In alcuni profili sono stati rinvenuti degli orizzonti A con colore scuro tale da essere definiti dalla *Soil Taxonomy* orizzonti *Mollic*, ma con spessori di qualche centimetro, e pertanto non diagnostici, o assenti probabilmente per le azioni di erosione, tranne nelle particelle governate ad alto fusto dove presentano spessori vicini ai 10 cm. Il colore scuro di questi suoli è il risultato dei processi di degradazione di biomassa radicale della vegetazione erbacea ad opera dei microrganismi, i quali sono in grado di trasformare la componente organica in sostanze humiche delle quali il suolo è quindi ricco. Per questo motivo, gli orizzonti *Mollic* si formano in praterie e prati-pascoli dove ad essere maggiormente presente è la vegetazione erbacea e ad altitudini alto-collinari e sub-montane. I suoli che presentano questo orizzonte, con buona probabilità un tempo erano boschi poi trasformati in praterie o prati-pascoli e ritornati ad essere boschi in un secondo momento, perciò possono essere definiti boschi "secondari".

Alcuni orizzonti, in particolare quelli di superficie, sono caratterizzati dalla presenza di micelio fungino per pH sub-acidi, svolgendo le attività di degradazione ed humificazione della sostanza

organica. La mesofauna è stata rinvenuta in altri profili, principalmente rappresentata dai lombrichi, la presenza dei quali è un buon indice di attività biologica che favorisce i processi di degradazione della materia organica e di riorganizzazione delle particelle minerali ed organiche in aggregati che migliorano i parametri fisico-chimici del suolo.

In alcuni profili pedologici analizzati sono stati osservati pendenti di carbonato di calcio (CaCO_3) secondario (Fig. 29), che la *Soil Taxonomy* definisce “*pendular*”, ovvero dei rivestimenti o noduli di CaCO_3 in sospensione derivanti dalla parte inferiore della frazione grossolana; la loro genesi è dovuta alla dissociazione, solubilizzazione e conseguente mobilitazione del CaCO_3 , presente nello scheletro, ad opera della soluzione sub-acida del suolo; quando quest’ultima viene richiamata verso l’alto, per evapo-traspirazione, il CaCO_3 in soluzione precipita, determinando queste forme dalla colorazione grigiastra tendente al bianco (Schoeneberger et al., 2012).



Fig. 29 – Cerchiati in rosso, i CaCO_3 secondari in un profilo pedologico.

Infine, in alcune particelle di bosco governate a ceduo, sono state osservate delle carbonaie mentre in altre sono presenti dei piccoli frammenti di carbone in piccole percentuali (Fig. 30). Facendo una stima, nel territorio boschivo della catena del M. San Vicino sono presenti 4 carbonaie per ettaro, in media una ogni 50 m. La presenza di queste carbonaie forestali è dovuta all’attività di produzione di carbone che ha interessato i boschi cedui fino agli anni 70’ del secolo scorso, pratica che si è protratta per oltre un millennio con ciclicità di 12-20 anni e che prevedeva il taglio del soprassuolo e la combustione della relativa legna, determinando così la produzione

di carbone, rimasto in residui nel suolo, oltre ad effetti positivi sulla fertilità del suolo, come l'aumentata capacità di scambio cationico. Quest'attività oggi è praticamente scomparsa in tutto il territorio italiano, ma nonostante queste aree carbonili siano state abbandonate da circa 50 anni e in alcune zone impervie anche da oltre un secolo, sono riconoscibili per la presenza di una piazzola, sostenuta da muri a secco nelle zone impervie, dove il suolo è costituito da una serie di orizzonti ricchi di carbone ed orizzonti che costituivano massicciate di terra e sassi, i quali periodicamente venivano sovrapposti allo strato di carbone per lavorare in piano; l'attività di questa pratica è riscontrabile anche a distanza di alcune decine di metri dall'area carbonile, dove gli orizzonti in profondità presentano anche l'1-2% di carbone (Corti et al., 2017).



Fig. 30 – In basso, campione superficiale di suolo in un'area carbonile; in alto, frammenti di carbone presenti nel medesimo suolo.

Di seguito vengono mostrati e commentati i risultati delle analisi in laboratorio relativi alle valutazioni di TOC e CRCO.

Tab. 4 - Valori medi per gestione dei parametri fisico chimici principali dei suoli in esame. Tra parentesi sono riportati i valori delle deviazioni standard.

Tipologia	Gestione	Sotto-particella	Classe tessiturale	pH		Carbonio organico totale		Biomassa radicale
				Organico	Minerale	Organico	Minerale	T ha ⁻¹
Faggeta	Ceduo	T23d	Argilloso	6.37	7.51	393.17	61.31	57.22
		T35e		(0.25)	(0.33)	(37.40)	(20.41)	(11.65)
	Alto Fusto	T33a	Franco	6.02	6.56	361.91	32.43	22.77
		T2d		(0.42)	(1.6)	(73.76)	(9.79)	(14.44)
	Fustaia transitoria	T17b	Franco-argilloso	6.3	7.72	360.82	48.48	47.95
		T33b		(0.28)	(0.12)	(67.21)	(6.35)	(33.4)
Querceto	Ceduo	T13b	Argilloso	5.97	7.66	451.27	58.04	49.46
		T12c		(0.28)	(0.15)	(42.13)	(19.27)	(37.26)
	Alto Fusto	T16d	Argilloso	6.46	7.76	377.07	41.76	15.49
		T12h		(0.06)	(0.17)	(48.65)	(15.25)	(7.6)
Cerreta mesoxerofila	Ceduo	T12e	Franco-argilloso	6.13	7.43	397.04	48.91	16.74
		L30b		(0.37)	(0.15)	(46.4)	(7.89)	(9.45)
	Alto Fusto	T38b	Argilloso	6.07	7.55	416.78	68.36	55.24
		T12f		(0.43)	(0.22)	(101.02)	(30.7)	(-)
Orno-ostrieto	Ceduo	T23c	Franco-argilloso	6.10	7.47	360.92	54.93	56.91
		T41a						
		T42b		(0.32)	(0.41)	(98.45)	(23.94)	(42.82)
		T42c						
Ostrio-cerreta	Ceduo	T38a	Argilloso	6.23	7.87	363.38	92.3	10.77
		L26c		(0.32)	(0.09)	(53.45)	(26.83)	(4.82)

Tab. 5 – Valori medi e relativi giudizi per gestione della Capacità ritentiva di carbonio organico (CRCO) dei suoli presi in esame. Tra parentesi sono riportati i valori delle deviazioni standard.

Tipologia	Gestione	Sotto-particella	Spessore medio		CRCO organico				CRCO minerale			
			Organico	Minerale	Media	Max	Min	Giudizio	Media	Max	Min	Giudizio
			cm		T ha ⁻¹				T ha ⁻¹			
Faggeta	Ceduo	T23d	7	28	223.3	366	112	M	108	125	85	A
		T35e			(128.2)				(18)			
	Alto Fusto	T33a	6.5	30	196.3	443	60	M	72	104	50	M
		T2d			(177.4)				(25)			
	Fustaia transitoria	T17b	6.25	28	187.3	409	22	M	88	106	79	M
		T33b			(161)				(12)			
Querceto	Ceduo	T13b	4	30	285	436	99	A	93	129	56	M
		T12c			(141.8)				(32)			
	Alto Fusto	T16d	6.25	30	184.4	223	101	M	84	136	58	M
		T12h			(56.92)				(35)			
Cerreta mesoxerofila	Ceduo	T12e	2	23	62.36	110	31	B	90	141	23	M
		L30b			(37.95)				(52)			
	Alto Fusto	T38b	3.62	30	132.5	288	39	M	105	141	72	A
		T12f			(107.7)				(36)			
Orno-ostrieto	Ceduo	T23c	3.5	27	80.8	128	42	B	94	170	64	M
		T41a			(42.09)				(34)			
		T42b										
		T42c										
Ostrio-cerreta	Ceduo	T38a	3.25	22	96.58	174	25	B	125	174	78	A
		L26c			(64.29)				(39)			

Stock C suolo organico: 0-130 T ha⁻¹ Basso (B), 130-260 T ha⁻¹ Medio (M), >260 T ha⁻¹ Alto (A)

Stock C suolo minerale: 0-50 T ha⁻¹ Basso (B), 50-100 T ha⁻¹ Medio (M), >100 T ha⁻¹ Alto (A)

Tutti i suoli presi in esame mostrano pH subacidi negli orizzonti organici e neutri-subalcalini nel suolo minerale. Nelle faggete i pH del suolo organico variano da 6,02 per la gestione ad alto fusto a 6,3 per la gestione a fustaia transitoria e ceduo, nei querceti si ha pH del suolo organico di 5,97 per i cedui e 6,46 per l'alto fusto, nelle cerrete il suolo organico presenta pH di 6,13 per la gestione a ceduo e di 6,07 per la gestione ad alto fusto, gli orno-ostrieti e le ostrio-cerrete governate unicamente a ceduo presentano rispettivamente pH di 6,1 e 6,23; gli orizzonti minerali nelle faggete presentano valori neutri-subalcalini di 7,51 in faggete gestite a ceduo e di 7,72 nelle fustaie transitorie, mentre faggete gestite ad alto fusto presentano pH subacido di 6,56, i querceti gestiti a ceduo hanno pH del suolo minerale di 7,66 e 7,76 per quelli gestiti ad alto fusto, le cerrete presentano valori di pH del suolo minerale di 7,43 per i cedui e di 7,55 per le fustaie, gli orno-ostrieti e gli ostrio-cerrete presentano rispettivamente valori di pH per il suolo minerale di 7,47 e 7,87. I pH più bassi sono quindi riscontrabili nei suoli organici sotto querceti gestiti a ceduo, mentre i valori più alti sono nei suoli minerali delle ostrio-cerrete.

I valori di biomassa radicale si attestano invece in un intervallo compreso tra le 10 e le 60 Tha^{-1} , nelle faggete esaminate la quantità di radici risulta maggiore in popolamenti gestiti a ceduo con $57,22 \text{ Tha}^{-1}$, a seguire ci sono le fustaie transitorie di faggio con $47,95 \text{ Tha}^{-1}$ e infine le fustaie di faggio con $22,77 \text{ Tha}^{-1}$; i querceti a ceduo presentano $49,46 \text{ Tha}^{-1}$ di radici, mentre quelli ad alto fusto hanno $15,49 \text{ Tha}^{-1}$ di radici; le cerrete a ceduo hanno $16,74 \text{ Tha}^{-1}$ di radici, mentre le fustaie presentano $55,24 \text{ Tha}^{-1}$; gli orno-ostrieti e le ostrio-cerrete presentano rispettivamente $56,91 \text{ Tha}^{-1}$ e $10,77 \text{ Tha}^{-1}$ di radici. Da questi dati si osserva una quantità di radici tendenzialmente elevata nei boschi cedui e bassa nelle fustaie, ad eccezione delle cerrete che mostrano la situazione inversa.

In generale la tendenza dei valori di TOC nel suolo risulta elevata negli orizzonti organici, per poi diminuire progressivamente negli orizzonti minerali. Il contenuto di TOC presenta valori simili tra le varie tipologie forestali, sia per gli orizzonti organici che per quelli minerali, con valori compresi tra 350 e 460 g kg^{-1} per i primi e tra 30 e 90 g kg^{-1} per i secondi. Le faggete gestite a ceduo presentano contenuti di TOC di $393,17 \text{ g kg}^{-1}$ nel suolo organico e $61,31 \text{ g kg}^{-1}$ negli orizzonti minerali, quelle gestite a fustaia hanno valori di TOC di $361,91 \text{ g kg}^{-1}$ per gli orizzonti organici e $32,43 \text{ g kg}^{-1}$ per gli orizzonti minerali, le fustaie transitorie di faggio presentano TOC di $360,82 \text{ g kg}^{-1}$ per gli orizzonti organici e $48,48 \text{ g kg}^{-1}$ per gli orizzonti minerali; i querceti gestiti a ceduo presentano TOC di $451,27 \text{ g kg}^{-1}$ nel suolo organico e $58,04 \text{ g kg}^{-1}$ per gli orizzonti minerali, mentre le fustaie hanno valori di TOC di $377,07 \text{ g kg}^{-1}$ per gli orizzonti organici e $41,76 \text{ g kg}^{-1}$ per quelli minerali; i cedui di cerro hanno TOC di $397,04 \text{ g kg}^{-1}$ nel suolo organico e $48,91 \text{ g kg}^{-1}$ per gli orizzonti minerali, mentre le fustaie hanno valori di $416,78 \text{ g kg}^{-1}$ nel suolo organico

e 68,36 g kg⁻¹ negli orizzonti minerali; gli orno-ostrieti gestiti a ceduo presentano TOC di 360,92 g kg⁻¹ nel suolo organico e 54,93 g kg⁻¹ per gli orizzonti minerali, mentre le ostrio-cerrete hanno orizzonti organici con TOC di 363,38 g kg⁻¹ ed orizzonti minerali con TOC di 92,3 g kg⁻¹. I valori di TOC più elevati sono nel suolo organico sotto querceto gestito a ceduo, ciò potrebbe essere dovuto a condizioni maggiormente favorevoli alla biomassa microbica ed alla loro attività di degradazione della SOM; a seguire c'è il TOC del suolo organico sotto fustaia di cerro, il TOC del suolo organico sotto fustaia di faggio, il TOC del suolo organico di ostrio-cerreta gestito a ceduo e infine il TOC di suolo organico dell'orno-ostrieto gestito a ceduo. Si può osservare che i valori di TOC sono anche in linea con la quantità di biomassa radicale, dove questa è maggiore, quindi tendenzialmente nei cedui, i valori di TOC sia negli orizzonti organici che in quelli minerali sono maggiori, solo la cerreta presenta valori di TOC più elevati in orizzonti organici e minerali sotto fustaia; la biomassa radicale andrà ad aumentare il contenuto di TOC una volta che sarà sostanza organica morta e degradata dagli organismi del suolo.

La CRCO del suolo organico relativa alla totalità dei boschi indagati risulta essere generalmente bassa o media, salvo alcune eccezioni (querceti soggetti ad una gestione a ceduo), con valori compresi tra 80 e 285 Tha⁻¹ di C organico stoccato, mentre la CRCO del suolo minerale mostra valori compresi tra 72 e 125 Tha⁻¹ di C organico, riassumibile con un giudizio da buono a ottimo. Le faggete a diversa gestione analizzate presentano spessori di suolo organico pressoché simili, 7 cm per i cedui, 6,5 cm per le fustaie e 6,25 cm per le fustaie transitorie e questa tendenza si riflette sulla CRCO media del suolo organico, maggiore in quella sotto ceduo di 223,3 Tha⁻¹, il valore massimo di 443 Tha⁻¹ è stato stimato per la fustaia, mentre il valore minimo e la maggior variazione di CRCO del suolo organico di faggio si riscontra nella fustaia transitoria; il giudizio della CRCO per le tipologie di faggete analizzate è medio. Lo spessore medio richiesto del suolo minerale è 30 cm, ma in alcuni casi dove non si è potuto aprire un profilo con una profondità adeguata a causa della presenza di roccia affiorante, lo spessore medio è minore, nei cedui e fustaie transitorie di faggio lo spessore medio è di 28 cm, mentre nelle fustaie è di 30 cm; la CRCO media del suolo minerale maggiore di 108 Tha⁻¹ e la CRCO massima di 125 Tha⁻¹ è sotto il ceduo di faggio, mentre la CRCO media minore così come il valore massimo minore e la maggior differenza di valori si ha nelle fustaie. Il giudizio della CRCO del suolo minerale sotto faggete è alto nei cedui e medio nelle fustaie e fustaie transitorie.

I querceti hanno uno spessore minore di suolo organico di 4 cm nei cedui, mentre nelle fustaie lo spessore medio è di 6,25 cm, in questo caso però la CRCO media di 285 Tha⁻¹, il valore massimo di 436 Tha⁻¹ e la maggior differenza di valori della CRCO del suolo organico è nei popolamenti gestiti a ceduo; il giudizio della CRCO del suolo organico è alto nel ceduo e medio

nella fustaia. Invece, per quanto riguarda i suoli minerali nei querceti con spessore medio di 30 cm per entrambe le gestioni a ceduo e fustaia, il valore di CRCO medio maggiore di 93 Tha^{-1} è nei cedui, il valore massimo di 136 Tha^{-1} di CRCO si è riscontrato nelle fustaie; il giudizio di CRCO di questi suoli minerali è medio per entrambe le gestioni.

Nelle cerrete, i suoli organici hanno piccoli spessori medi di 2 cm nei cedui e 3,62 cm nelle fustaie, il valore medio maggiore di CRCO del suolo organico è quello sotto fustaia di $132,5 \text{ Tha}^{-1}$, così come il valore massimo di CRCO di 288 Tha^{-1} e la maggior variazione di valori. Il giudizio della CRCO del suolo organico sotto cerrete è buono nei cedui e medio nelle fustaie. I suoli minerali sotto cerrete hanno spessori medi di 23 cm nei cedui e di 30 cm nelle fustaie, il valore massimo di CRCO è 141 Tha^{-1} ottenuto per i suoli di entrambe le gestioni, ma il valore medio di 105 Tha^{-1} è maggiore nelle fustaie poiché nei cedui si è stimato il valore più basso; il giudizio delle CRCO dei suoli minerali sotto cerrete risulta medio nei cedui ed alto nelle fustaie. I valori medio e massimo di CRCO del suolo organico sotto ceduo risulta minore dei valori medio e massimo della CRCO del suolo minerale sotto di esso, questo è dovuto al piccolo spessore di suolo organico e alla bassa estensione superficiale di questa cenosi.

Gli orno-ostrieti gestiti a ceduo presentano spessore medio del suolo organico di 3,5 cm e di 27 cm per il suolo minerale, la CRCO media del suolo organico risulta di 80 Tha^{-1} , il più basso insieme al valore di CRCO del suolo organico sotto ceduo di cerro, mentre il valore massimo è di 128 Tha^{-1} ; il giudizio della CRCO del suolo organico sotto orno-ostrieto è buono. Il suolo minerale presenta uno spessore medio di 27 cm, CRCO media di 94 Tha^{-1} e valore massimo di CRCO di 170 Tha^{-1} ; il giudizio per la CRCO del suolo minerale sotto orno-ostrieti è medio. Anche in questo caso come per il ceduo di cerro, il valore medio, il valore massimo ed il valore minimo di CRCO del suolo organico sono inferiori a quelli del suolo minerale sottostante, dovuto allo spessore esiguo di suolo organico e all'estensione superficiale del popolamento.

La stessa situazione di orno-ostrieti e cedui di cerro si riscontra nelle ostrio-cerrete analizzate: la CRCO media del suolo organico, che presenta spessore medio di 3,25 cm, è di $96,58 \text{ Tha}^{-1}$, mentre il valore massimo della CRCO del suolo minerale con spessore medio di 22 cm è di 125 Tha^{-1} , però il valore massimo di CRCO è uguale sia per suolo organico che per suolo minerale di 174 Tha^{-1} , il valore medio più basso del suolo organico è dovuto al valore minimo di CRCO che è inferiore a quello del suolo minerale; il giudizio per la CRCO del suolo organico è quindi buono, quello per la CRCO del suolo minerale è alto.

Se si estendono questi risultati alle rispettive cenosi forestali del territorio boschivo nella catena del M. San Vicino, è possibile affermare in generale che la CRCO dei suoli forestali è generalmente media per il suolo minerale e medio-bassa per il suolo organico, la CRCO media è

più alta per i suoli organici sotto querceti gestiti a cedui e per i suoli minerali sotto cedui di faggio ed ostriro-cerrete; i valori massimi si hanno invece in tutte le tipologie di gestione del faggio e nei querceti gestiti a ceduo per i suoli organici e nelle ostriro-cerrete ed orno-ostrieti per i suoli minerali; si può osservare una tendenza inversa per questi valori di CRCO, le faggete presentano suoli organici con i valori più alti di CRCO ma suoli minerali con CRCO più basse, mentre gli orno-ostrieti presentano valori di CRCO del suolo organico tra i più bassi ma i più alti valori di CRCO del suolo minerale insieme alle ostriro-cerrete.

Confrontando invece queste CRCO ottenute sperimentalmente, sulla base delle medie, con quelle risultate dai campionamenti di suoli e successive analisi per l'INFC 2005, si osservano le seguenti situazioni:

- In relazione ai dati relativi alle diverse cenosi forestali marchigiane, i suoli minerali sotto faggete presentano CRCO ottenuta sperimentalmente da 72 a 108 Tha^{-1} , in media 89,3 Tha^{-1} contro le 86,2 Tha^{-1} ottenute per l'INFC 2005; i suoli minerali analizzati sotto querceti presentano CRCO da 84 a 93 Tha^{-1} , in media di 88,5 Tha^{-1} contro le 71,2 Tha^{-1} dell'INFC 2005; i suoli minerali sotto le cerrete scelte per le analisi presentano CRCO da 90 a 105 Tha^{-1} , in media di 97,5 Tha^{-1} contro le 75 Tha^{-1} dell'INFC 2005; infine gli orno-ostrieti e gli ostriro-cerrete analizzati presentano suoli minerali con valori medi di CRCO rispettivamente pari a 94 e 125 Tha^{-1} contro le 112,5 Tha^{-1} dei suoli sotto ostrieti dell'INFC 2005. Tutti i dati ottenuti dalla sperimentazione risultano comunque maggiori delle 85,3 Tha^{-1} medi relativi ai suoli minerali di tutti i boschi marchigiani e maggiori delle 75,8 Tha^{-1} medi relativi ai suoli minerali di tutti i boschi italiani.
- Per quanto riguarda gli orizzonti organici, sotto le faggete oggetto di studio presentano CRCO da 187,3 a 223,3 Tha^{-1} , in media di 202,3 Tha^{-1} contro le 10,9 Tha^{-1} ottenute per l'INFC 2005; sotto i querceti i suoli organici analizzate per lo studio presentano CRCO da 184,4 a 285 Tha^{-1} , in media pari a 234,7 Tha^{-1} contro le 3,6 Tha^{-1} dell'INFC 2005; i suoli organici sotto cerrete presentano CRCO da 62,36 a 132,5 Tha^{-1} , in media 97,43 Tha^{-1} contro i 6,2 Tha^{-1} dell'INFC 2005; infine i suoli organici analizzate sotto gli orno-ostrieti e gli ostriro-cerrete presentano rispettivamente valori medi di CRCO pari a 80,8 e 96,58 Tha^{-1} contro le 4,2 Tha^{-1} dei suoli organici sotto ostrieti dell'INFC 2005. I dati sperimentali di CRCO dei suoli organici analizzati risultano molto più alti rispetto alle CRCO medie dei suoli organici sotto i boschi marchigiani di 4,8 Tha^{-1} e dei suoli organici sotto i boschi italiani di 9,1 Tha^{-1} dell'INFC 2005.

Il confronto permette di concludere che i valori di CRCO dei suoli minerali oggetti di studio presentano valori simili alle medie stimate per l'INFC 2005, con qualche leggero aumento di C

organico stoccato. Ciò che invece cattura l'attenzione sono i risultati dei suoli organici analizzati, molto più alti delle CRCO dell'INFC 2005 relative ai suoli sotto le singole cenosi forestali e alla media delle CRCO dei suoli forestali marchigiani e italiani. Questo suggerisce un aumento della quantità di sostanza organica morta arrivata a terra che a seguito delle attività di degradazione e dei processi di humificazione a carico degli organismi del suolo ha determinato un guadagno da $76,6 \text{ Tha}^{-1}$ a $231,1 \text{ Tha}^{-1}$ di C organico stoccato in circa 20 anni, oppure, più verosimilmente, questi valori più alti possono essere dovuti ad una maggior accuratezza nell'effettuare i campionamenti pedologici e all'utilizzo di un metodo di determinazione del TOC in laboratorio più preciso rispetto a quello utilizzato per l'INFC.

4. CONCLUSIONI

I risultati ottenuti dallo studio dei suoli forestali di boschi della catena del M. San Vicino hanno mostrato un forte condizionamento sugli spessori dei suoli, attribuibile anche alle pendenze e alle gestioni che in alcuni casi favoriscono fenomeni erosivi e di frana tali da modificare la stratificazione e le caratteristiche dei suoli stessi. Questo fatto incide anche sul contenuto di TOC. Le analisi hanno permesso di identificare alcune sotto-particelle come boschi secondari, comprendendone quindi i cambi d'uso del suolo nel corso del tempo, e la presenza di aree carbonili con carbone vegetale che aumentano la quantità di TOC del suolo e il loro stock di C organico.

Con questo studio si è osservato che il pH risulta sub-acido negli orizzonti organici, con valori più bassi nella gestione a ceduo di querceti, mentre negli orizzonti minerali di ostriocerete si registrano i valori più alti; la biomassa radicale risulta diminuire lungo il profilo del suolo e questo andamento è in linea con la progressiva diminuzione del TOC del suolo osservata a seguito delle analisi, mostrando quindi i valori più elevati negli orizzonti organici, ed in particolare sotto querceti e sotto faggete gestiti a ceduo e sotto cerrete gestite ad alto fusto, e i valori più bassi nei suoli minerali di fustaie di faggio. I valori più elevati di TOC degli orizzonti minerali sono risultati sotto gli orno-ostrieti.

Anche gli stock di C organico dalle analisi sono risultati maggiori negli orizzonti organici, in particolare sotto le fustaie di faggio e i querceti gestiti a ceduo dove si hanno i valori massimi, mentre i valori minimi sono risultati sotto le fustaie transitorie di faggio e le ostriocerete gestite a ceduo; i valori massimi di stock di C organico negli orizzonti minerali sono risultati invece sotto orno-ostrieti ed ostriocerete gestiti a ceduo, i valori minimi sotto cedui di cerro. Il confronto dei risultati ottenuti con quelli riportati nell'INFC 2005 ha mostrato valori di stock di C organico leggermente più alti negli orizzonti minerali e molto più alti negli orizzonti organici, rispetto a quelli nei suoli delle stesse tipologie forestali della Regione analizzati per il secondo inventario nazionale, probabilmente per la maggior accuratezza con la quale sono stati condotti i campionamenti e per il metodo analitico di misura del TOC utilizzato in laboratorio più preciso rispetto a quello utilizzato in precedenza.

Il suolo è quindi un sistema complesso, tra le sue numerose proprietà c'è quella di stoccare il C che deriva dall'atmosfera, passando prima per la biomassa vegetale e animale in vita. Solo quando questa biomassa muore il C arriva nel suolo. Sia il passaggio intermedio del C nella biomassa che il passaggio nel suolo sono influenzati da diversi fattori: la luce, la temperatura adeguata, siti adeguati con disponibilità di nutrienti ed acqua; una minima variazione negativa di questi influenza l'intero ecosistema considerato e il suo contributo nel ciclo del C. Alcune pratiche migliorano gli effetti di questi fattori e di conseguenza il sequestro di C dall'atmosfera, come i rimboschimenti di zone agricole o di praterie ad esempio, determinando l'aumento di biomassa vegetale che organica la CO₂ e di conseguenza aumentando la sostanza organica morta al suolo e il C organico stoccato; lo stesso può dirsi della riforestazione di boschi distrutti da incendi ad esempio. Anche le pratiche di gestione forestale come i diradamenti migliorano gli effetti di questi fattori, stimolando la produzione delle piante forestali che successivamente diventerà sostanza organica morta a terra e andrà a costituire il C organico del suolo.

L'ecosistema forestale è costituito da diverse componenti tra loro legate, specie vegetali, fauna e organismi del suolo, il suolo, ed il sequestro di C è efficiente se tutte queste componenti sono tra loro in equilibrio e favorite dai fattori suddetti. Tra queste componenti, in relazione al loro contributo nel ciclo del C, il suolo è quello più importante, i risultati delle valutazioni dei TOC di suoli forestali evidenziano il suo ruolo fondamentale nell'immagazzinare C e questi devono sensibilizzare ad un uso e gestione sostenibile di questa importante risorsa, attraverso gli interventi di gestione forestale e di rimboschimento e riforestazione, valorizzando in particolar modo la conservazione e l'aumento della sostanza organica e dei suoli organici, i quali hanno mostrato un elevato contenuto di C organico stoccato; tali pratiche e accortezze contribuirebbero a contrastare in modo significativo gli attuali cambiamenti climatici.

BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA

- Accordi, B., Lupia Palmieri, E., Parotto, M., 1993. Il globo terrestre e la sua evoluzione. IV edizione. Zanichelli (Ed.), Bologna, pp. 520.
- Adamczyk B., Adamczyk S., Kukkola M., Tamminen P., Smolander A., Logging residue harvest may decrease enzymatic activity of boreal forest soils, *Soil Biology and Biochemistry*, Volume 82, 2015, Pages 74-80, ISSN 0038-0717.
- AGRIMAG, Granulometria (fotografia) da: <https://info.agrimag.it/articoli-ipm/dettaglio/10521/ipm-tessitura?bookpage=2>, 30-01-2022.
- Allegrezza M., Vegetazione e paesaggio vegetale della dorsale del Monte San Vicino (Appennino centrale), *Fitosociologia* 40 (1) - Suppl. 1: 3-118, 2003.
- Allison L.E., 1965. Organic carbon. In: C.A. Black et al. (eds), *Methods of soil analysis*. Agronomy series no. 9, Am. Soc. of Agronomy. Madison: Inc., pp. 1367-1389.
- Bailey V.L., Smith J.L., Bolton H. Fungal-to-bacterial ratios in soils investigated for enhanced C sequestration. *Soil Biol Biochem.* 2002; 34:997–1007.
- Baize, D., Girard, M.C., Coordinateurs, 2008. Référentiel pédologique, *Savoir Faire*.
- Binaglia L., Giardina B., cap. 9 “Acidi e basi” in “Chimica e propedeutica biochimica”. McGraw-Hill, Milano, ISBN 88-386-3918-3, 2006: pp. 121-141.
- Bonifacio E., Corti G., Adamo P. Cap. 2: “Genesi ed evoluzione del suolo” in “Fondamenti di chimica del suolo”. Pàtron editore, Bologna, 2017: pp. 27-60.
- Brady N.C., Weil R.R., 2002. *The Nature and Properties of Soil*, 13th edition, ISBN: 9780130167637.
- Brevik E.C., Cerdà A., Mataix-Solera J., Pereg L., Quinton J.N., Six J., and Van Oost K.: The interdisciplinary nature of SOIL, *SOIL*, 1, 117–129, 2015.
- Bufo S.A., De Nobili M., cap. 5: “Fase liquida e fase gassosa” in “Fondamenti di chimica del suolo”, Pàtron editore, Bologna, 2017, pp. 103-110.

- Carvalhois, N., Forkel, M., Khomik, M., Bellarby, J., Jung, M., Migliavacca, M., u, M., Saatchi, S., Santoro, M., Thurner, M., Weber, U., Ahrens, B., Beer, C., Cescatti, A., Randerson, J.T., Reichstein, M., 2014. Global covariation of carbon turnover times with climate in terrestrial ecosystems. *Nature* 514, 213–217.
- Centamore E., Chiocchini M., Chiocchini U., Dramis F., Giardini G., Jacobacci A., Martelli G., Micarelli A. & Potetti M., 1979. Carta Geologica d'Italia alla scala 1: 50.000. Note Illustrative del F° 301 Fabriano. Servizio Geologico d'Italia. Stab. G.E.C., Roma.
- Centamore E., Pambianchi G., Deiana G., Calamita F., Cello G., Dramis F., Gentili B. & Nanni T., 1991. Ambiente fisico delle Marche, Geologia-Geomorfologia-Idrogeologia (scala 1: 100.000). Regione Marche, SELCA, Firenze.
- Ciais, P., Sabine, C., Bala, G., Bopp, L., Brovkin, V., Canadell, J., Chhabra, A., DeFries, R., Galloway, J., Heimann, M., Jones, C., Le Quéré, C., Myneni, R. B., Piao, S., and Thornton, P.: Carbon and other biogeochemical cycles, in: *Climate Change 2013: The Physical Science Basis, Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, edited by: Stocker, T. F., Qin, D., Plattner, G.-K., Tignor, M., Allen, S. K., Boschung, J., Nauels, A., Xia, Y., Bex, V., and Midgley, P. M., Cambridge University Press, Cambridge, UK, and New York, NY, USA, 465–570, 2013.
- Celi L., Miano T., Senesi N., cap. 4: “Sostanza organica del suolo” in “Fondamenti di chimica del suolo”, Pàtron editore, Bologna, 2017, pp. 83-102.
- CreMASchi M., Rodolfi G., *Il suolo - Pedologia nelle scienze della Terra e nella valutazione del territorio*. La Nuova Italia Scientifica, Roma, 1991.
- Colombo, C., Miano, T., 2015. *Metodi di analisi chimica del suolo*. Ministero delle Politiche Agricole Alimentari e Forestali.
- Commissione Europea, Brussels, 15.12.2021, “Sustainable Carbon Cycle”, pp. 5-13, https://ec.europa.eu/clima/system/files/2021-12/com_2021_800_en_0.pdf.
- Commissione Europea, Brussels, 14.07.2021, “Proposal for a Regulation of the European Parliament and the Council amending Regulations (EU) 2018/841 as regards the scope, simplifying the compliance rules, setting out the targets of the Member States for 2030 and committing to the collective achievement of climate neutrality by 2035 in the land use, forestry and agriculture sector, and (EU) 2018/1999 as regards improvement in monitoring, reporting, tracking of progress and review”, <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A52021SC0609&qid=1635331144182>.

- Compagnia delle Foreste S.r.l., Via Pietro Aretino 8 - 52100 Arezzo (AR), www.compagniadelleforeste.it. Ripartizione percentuale del Carbonio accumulato nei pool forestali (2005) (fotografia) estratto da: Rapporto sullo stato delle foreste e del settore forestale in Italia 2017-2018, p. 86, ISBN: 978-88-98850-34-1. 30-01-2022.
- Corti G., Cocco S., Muscolo A., Nardi S. Cap. 11: “Suoli forestali e agrari” in “Fondamenti di chimica del suolo”, Pàtron editore, Bologna, 2017, pp. 222-234.
- Davidson, E., Janssens, I. Temperature sensitivity of soil carbon decomposition and feedbacks to climate change. *Nature* 440, 165–173 (2006).
- Delmont T.O., Prestat E., Keegan K.P., Faubladier M., Robe P., Eric I.M.C., Le Paslier D., Simonet P., Vogel T.M.: Structure, fluctuation and magnitude of a natural grassland soil metagenome. *ISME J.* 2012; 6:1677–87.
- Deng Q., Cheng X., Hui D., Zhang Q., Li M., Zhang Q., Soil microbial community and its interaction with soil carbon and nitrogen dynamics following afforestation in Central China. *Sci Total Environ.* 2016; 541:230–7.
- Deng, L., Liu, G.-b. and Shangguan, Z.-p. (2014), Land-use conversion and changing soil carbon stocks in China's 'Grain-for-Green' Program: a synthesis. *Glob Change Biol*, 20: 3544-3556.
- Dixon R.K., Brown S., Houghton R.A., Solomon A.M., Trexler M.C., Wisniewski J.: Carbon pools and flux of global forest ecosystems. *Science* 1994, 263, 185–190.
- Encyclopaedia Britannica (fotografo), Universal Images Group North America LLC (collaboratore). Carbon cycle illustration (fotografia) da: <https://www.alamy.it>, 30-01-2022.
- Earthy-Moony, Esempio di pagina in Munsell soil color charts (fotografia) da: <http://earthy-moony.blogspot.com/2010/04/soils-color.html> del 01-04-2010, 30-01-2022.
- FAO 2017. Soil Organic Carbon: the hidden potential. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy, ISBN 978-92-5-109681-9: pp. 77.
- FERTILGEST – La banca dati dei fertilizzanti per l'agricoltura, Tessitura del terreno (fotografia) da: <https://fertilgest.imagelinenetwork.com/it/calcola-tessitura-terreno/>, 30-01-2022.
- Gasparini P., Di Cosmo L., Floris A., Notarangelo G., Rizzo M., 2016 – Guida per i rilievi in campo. INFC2015 – Terzo inventario forestale nazionale. Consiglio per la ricerca in agricoltura e l'analisi dell'economia agraria, Unità di Ricerca per il Monitoraggio e la Pianificazione Forestale (CREA-MPF); Corpo Forestale dello Stato, Ministero per le Politiche Agricole, Alimentari e Forestali. 341 pp.

- Gasparini P., Di Cosmo L., Pompei E. 2013 - Il contenuto di carbonio delle foreste italiane. Inventario nazionale delle Foreste e dei serbatoi forestali di Carbonio INFC2005. Metodi e risultati dell'indagine integrativa. Ministero delle politiche agricole, alimentari e forestali, Corpo Forestale dello Stato; Consiglio per la Ricerca e la sperimentazione in Agricoltura, Unità di Ricerca per il Monitoraggio e la Pianificazione Forestale. Trento, ISBN 978-88-97081-36-4, 284 pp.
- Gregori E., Frizzera L., 2013. Parr. 7.1 e 7.2 in cap. 7: Descrizione dei campioni, trattamenti e procedure di stima del contenuto di carbonio organico. In: Gasparini P., Di Cosmo L., Pompei E. (a cura di) 2013 - Il contenuto di carbonio delle foreste italiane. Inventario Nazionale delle Foreste e dei serbatoi forestali di Carbonio INFC2005. Metodi e risultati dell'indagine integrativa. Ministero delle Politiche Agricole, Alimentari e Forestali, Corpo Forestale dello Stato; Consiglio per la Ricerca e la Sperimentazione in Agricoltura, Unità di ricerca per il Monitoraggio e la Pianificazione Forestale. Trento: pp. 49 – 73.
- Gruppo Mineralogico Paleontologico Euganeo (G.M.P.E), Composizione in percentuale del suolo (Fotografia) da: <https://www.gmpe.it/geomorfologia/suolo>, 30-01-2022.
- Gong C., Tan Q., Liu G., Xu M., Forest thinning increases soil carbon stocks in China, *Forest Ecology and Management* 482 (2021) 118812
- Hans J., 1941. *Factors of soil formation: A system of quantitative pedology*. McGraw Hill Book Company, New York, NY.
- Hassink, J., 1997. The capacity of soils to preserve organic C and N by their association with clay and silt particles. *Plant Soil* 191 (1), 77–87.
- Hollis, J.M., Hannam, J., Bellamy, P.H., 2012. Empirically-derived pedotransfer functions for predicting bulk density in European soils. *Eur. J. Soil Sci.* 63, 96–109. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2389.2011.01412>.
- Houghton R.A.: *The contemporary C cycle*, 2003, vol.8 chpt.8, ISBN 0-08-0443435: pp.473-513.
- Iniziativa a sostegno dell'apporto del carbonio organico al suolo, Presidenza del consiglio dei ministri comitato nazionale per la biosicurezza, le biotecnologie e le scienze della vita, 2020.
- Jandl R., Lindner M., Vesterdal L., Bauwens B., Baritz R., Hagedorn F., Johnson D.W., Minkinen K., Byrne K.A., "How strongly can forest management influence soil carbon sequestration?", *Geoderma*, Volume 137, Issues 3–4, 2007, pp. 253-268, ISSN 0016-7061.

- Jobbágy E.G., Jackson R.B., The vertical distribution of soil organic carbon and its relation to climate and vegetation, *Ecological Applications*, 10(2), 2000, pp. 423– 436.
- Karlen, D.L., Andrews, S.S., Doran, J.W., 2001. Soil quality: current concepts and applications. *Adv. Agron.* 74, 1–40.
- Keestrea, S.D., Bouma, J., Wallinga, J., Tiftonell, P., Smith, P., Cerdà, A., Montanarella, L., Quinton, J. N., Pachepsky, Y., van der Putten, W. H., Bardgett, R.D., Moolenaar, S., Mol, G., Jansen, B. & Fresco, L. O. 2016. The significance of soils and soil science towards realization of the United Nations Sustainable Development Goals. *SOIL*, 2: 111-128.
- Kobak K.I., 1988. Biotic Components of Carbon Cycle. Hydro- meteozdat, Leningrad, 248 pp.
- Koch, A., McBratney, A., Adams, M., Field, D., Hill, R., Crawford, J., Minasny, B., Lal, R., Abbott, L., O'Donnell, A., Angers, D., Baldock, J., Barbier, E., Binkley, D., Parton, W., Wall, D.H., Bird, M., Bouma, J., Chenu, C., Flora, C.B., Goulding, K., Grunwald, S., Hempel, J., Jastrow, J., Lehmann, J., Lorenz, K., Morgan, C.L., Rice, C.W., Whitehead, D., Young, I., Zimmermann, M., 2013. Soil security: solving the global soil crisis. *Glob. Policy* 4 (4), 434–441.
- Lal R., 2020. Managing soils for negative feedback to climate change and positive impact on food and nutritional security. *Soil Sci. Plant nutr.* 66, 1-9.
- Lal R., Forest soils and carbon sequestration. *For. Ecol. Manag.* 2005, 220, 242–258.
- Lal R., Kimble J., Follett R, cap. 1: “Pedospheric processes and carbon cycle” in “Soil processes and the carbon cycle”, 1998, CRC Press LLC, Florida, pp. 1-8.
- Liu J., Li S., Ouyang Z., Tam C., and Chen X., 2008. Ecological and socioeconomic effects of China's policies for ecosystem services. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 105, 9477-9482
- Lisky J., Perruchoud D., Karjalainen T. Increasing carbon stocks in the forest soils of western Europe, *Forest Ecology and Management* 169 (2002) 159–175.
- McCool J.P., Pedon (fotografia) in “10 - Soils Flashcard” estratto da: <https://quizlet.com/359745555/10-soils-flash-cards/>, 30-01-2022.
- Marzadori C., Pusino A., De Nobili M., cap. 9: “Reazione, potere tampone e potenziale redox” in “Fondamenti di chimica del suolo”, Pàtron editore, Bologna, 2017: pp. 179-190.
- Miano T., Gennari M., Senesi N., cap. 3 “Fasi solide inorganiche” in “Fondamenti di chimica del suolo”, Pàtron editore, Bologna, 2017: pp. 61-82.

- Minasny B., McBeatney A.B., Salvador-Blanes S. - 2008. Quantitative models for pedogenesis – A review. *Geoderma*, 144:140-157.
- Ministero per le Politiche Agricole e Forestali (1997). Metodi ufficiali di analisi fisica del suolo. D.M. del 1° agosto 1997, *Gazzetta Ufficiale* n. 204 del 2.09.97.
- Ministero delle Politiche Agricole e Forestali, D.M. del 13/09/1999 SO *Gazzetta Ufficiale* n° 248 21/10/1999, Met VII.1 D.M. 25/03/2002 GU n° 84 10/04/02 – Metodi di analisi chimica del suolo. Determinazione del carbonio totale o organico e dell'azoto totale con analizzatore elementare.
- Myhre, G., Shindell, D., Bréon, F.-M., Collins, W., Fuglestedt, J., Huang, J., Koch, D., Lamarque, J.-F., Lee, D., Mendoza, B., Nakajima, T., Robock, A., Stephens, G., Takemura, T., and Zhang, H.: Anthropogenic and Natural Radiative Forcing, in: *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, edited by: Stocker, T. F., Qin, D., Plattner, G.-K., Tignor, M., Allen, S. K., Boschung, J., Nauels, A., Xia, Y., Bex, V., and Midgley, P. M., Cambridge University Press, Cambridge, UK, and New York, NY, USA, 659–740, 2013.
- Nannipieri P., Grego S., Varanini Z., cap. 6: “Diversità biologica del suolo” in “Fondamenti di chimica del suolo”, Patron editore, Bologna, 2017: pp. 111-124.
- Pang X., Hu B., Bao W., Vargas T., Tian G., Effect of thinning-induced gap size on soil CO₂ efflux in a reforested spruce forest in the eastern Tibetan Plateau, *Agricultural and Forest Meteorology*, Volume 220, 2016, Pages 1-9, ISSN 0168-1923.
- Paul E.A. 1984. Dynamics of soil organic matter. *Plant and Soil* 76:275–285.
- Peresani M., Università degli studi di Ferrara, Orizzonti del suolo (fotografia) da: <http://www.unife.it/stum/lettere/insegnamenti/ecologia-preistorica/materiale-didattico/lezione-10-il-suolo-la-pedogenesi-e-i-paleosuoli>, pp. 38, A.A. 2020-2021, 30-01-2022.
- Poeplau C., Don A., Vesterdal L., Leifeld J., Van Wesemael B., Schumacher J., Gensior A., Temporal dynamics of soil organic carbon after land-use change in the temperate zone—carbon response functions as a model approach. *Global Change Biol.* 17, 2415–2427 (2011).
- Post, W.M., Emanuel, W.R., Zinke, P.J., Stangenberger, A.G., 1982. Soil carbon pool and world life zones. *Nature* 298, 156–159.

Regolamento (UE) 2018/842 del Parlamento Europeo e del Consiglio del 30 maggio 2018 relativo alle riduzioni annuali vincolanti delle emissioni di gas serra a carico degli Stati membri nel periodo 2021-2030 come contributo all'azione per il clima per onorare gli impegni assunti a norma dell'accordo di Parigi e recante modifica del regolamento (UE) n. 525/2013. Articolo 7: "Uso supplementare di assorbimenti netti fino a 280 milioni risultanti dal LULUCF", <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/TXT/HTML/?uri=CELEX:32018R0842&from=EN#d1e768-26-1>.

Rivas-Martinez S., Sanchèz-Mata D., & Costa M., 1999. North American boreal and Western temperate forest vegetation. *Itinera Geobotanica* 12: 5-316.

Rodeghiero M., 2013. Cap. 5: Rilievi della lettiera e del suolo. In: Gasparini P., Di Cosmo L., Pompei E. (a cura di) 2013 - Il contenuto di carbonio delle foreste italiane. Inventario Nazionale delle Foreste e dei serbatoi forestali di Carbonio INFC2005. Metodi e risultati dell'indagine integrativa. Ministero delle Politiche Agricole, Alimentari e Forestali, Corpo Forestale dello Stato; Consiglio per la Ricerca e la Sperimentazione in Agricoltura, Unità di ricerca per il Monitoraggio e la Pianificazione Forestale. Trento: pp. 31 – 37.

Rodeghiero M., 2013. "Delimitazione dell'area di prelievo della lettiera e degli orizzonti organici" e "Delimitazione della superficie di 20×20 cm per il campionamento del suolo minerale" (fotografie) da: cap. 5: Rilievi della lettiera e del suolo. In: Gasparini P., Di Cosmo L., Pompei E. (a cura di) 2013 - Il contenuto di carbonio delle foreste italiane. Inventario Nazionale delle Foreste e dei serbatoi forestali di Carbonio INFC2005. Metodi e risultati dell'indagine integrativa. Ministero delle Politiche Agricole, Alimentari e Forestali, Corpo Forestale dello Stato; Consiglio per la Ricerca e la Sperimentazione in Agricoltura, Unità di ricerca per il Monitoraggio e la Pianificazione Forestale. Trento: pp. 31 – 37, 30-01-2022.

Rus J., 2007. Munsell color system (fotografia) da: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Munsell-system.svg>, 30-01-2022. Creative Commons Attribution ShareAlike 3.0 license.

Rutigliano F.A., D'Ascoli R., Virzo De Santo A. Soil microbial metabolism and nutrient status in a Mediterranean area as affected by plant cover. *Soil Biol Biochem.* 2004; 36:1719–29.

Saviozzi A., Colombo C., Barberis E., cap. 8: "Adsorbimento e scambio" in "Fondamenti di chimica del suolo", Pàtron editore, Bologna, 2017: pp. 161-178.

- Saunders M., Tobin B., Black K., Gioria M., Nieuwenhuis M., Osborne B.A., Thinning effects on the net ecosystem carbon exchange of a Sitka spruce forest are temperature-dependent, *Agricultural and Forest Meteorology*, Volume 157, 2012, pp. 1-10, ISSN 0168-1923.
- Schlesinger W.H. 1977. Carbon balance in terrestrial detritus. *Annual Review of Ecology and Systematics* 8:51–81.
- Schoeneberger P.J., Wysocki D.A., Benham E.C., and Soil Survey Staff. 2012. Field book for describing and sampling soils, Version 3.0. Natural Resources Conservation Service, National Soil Survey Center, Lincoln, NE.
- Simonson R.W., 1959. Outline of a generalized theory of soil genesis. *Soil Science Society of America Proceedings* 23:152-156.
- Six, J., Callewaert, P., Lenders, S., De Gryze, S., Morris, S.J., Gregorich, E.G., Paul, E.A. and Paustian, K. (2002), Measuring and Understanding Carbon Storage in Afforested Soils by Physical Fractionation. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 66: 1981-1987.
- Stockmann, U., Adams, M.A., Crawford, J.W., Field, D.J., Henakaarchchi, N., Jenkins, M., Minasny, B., McBratney, A.B., Courcelles, Vd.Rd, Singh, K., Wheeler, I., Abbott, L., Angers, D.A., Baldock, J., Bird, M., Brookes, P.C., Chenu, C., Jastrow, J.D., Lal, R., Lehmann, J., O'Donnell, A.G., Parton, W.J., Whitehead, D., Zimmermann, M., 2013. The knowns, known unknowns and unknowns of sequestration of soil organic carbon. *Agric. Ecosyst. Environ.* 164 (0), 80–99.
- Società Italiana di Pedologia (SIPe), Organismi (fotografia) da: <http://www.pedologiasipe.it/wp-content/uploads/2016/05/Pillole-di-suolo-1.pdf>, 2016. 30-01-2022.
- Soil Survey Staff. *Soil Survey Manual*, March 2017, pp. 84-96.
- Soil Survey Staff. *Soil Survey Manual*, March 2017, Esempi di tipi di struttura del suolo (fotografia), p. 157.
- Soil Survey Staff. 1999. *Soil taxonomy: A basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys*, 2nd edition. Natural Resources Conservation Service. U.S. Department of Agriculture Handbook 436.
- Università Mediterranea di Reggio Calabria, La pedosfera (fotografia) da https://www.unirc.it/documentazione/materiale_didattico/1462_2017_429_28765.pdf, pp. 31, 30-01-2022.

- van Groenigen K.J., Osenberg C.W., and Hungate B.A.: Increased soil emissions of potent greenhouse gases under increased atmospheric CO₂, *Nature*, 475, 214–216, 2011.
- Volante P., capp. 2-3, 5-6 in “Chimica e fertilità del suolo”, Edagricole, 2013, pp. 5-27 e 57-109.
- Waldrop, M.P., McColl, J.G. and Powers, R.F. (2003), Effects of Forest Postharvest Management Practices on Enzyme Activities in Decomposing Litter. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 67: 1250-1256.
- Wei, X. R., Shao, M. G., Gale, W. & Li, L. H. Global pattern of soil carbon losses due to the conversion of forests to agricultural land. *Sci Rep-Uk* 4, 4062, doi: 10.1038/srep04062 (2014).
- Wu, R., Cheng, X.Q., Han, H.R., 2019. The effect of forest thinning on soil microbial community structure and function. *Forests* 10, 16.