

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA
Dipartimento Territorio e Sistemi Agro-Forestali

Corso di laurea magistrale in Scienze forestali e ambientali

**Suoli alpini di cengia: indagine preliminare sui
fattori che ne determinano la formazione
(Trentino e Veneto, Italia)**

Relatore
Prof. Augusto Zanella

Laureando: Michele Bertelle
Matricola n. 1243673

ANNO ACCADEMICO 2021/2022

Indice

Riassunto ed Abstract.....	4
1 Introduzione.....	6
2 Area di studio.....	8
3 Materiali e metodi.....	16
3.1 Materiali.....	16
3.2 Metodi.....	19
4 Risultati.....	27
4.1 Sistemi di humus.....	27
4.2 Correlazioni.....	28
4.3 Geo/litologia.....	31
4.4 Caratteristiche morfologiche delle cenge.....	37
4.5 Caratteristiche vegetazionali.....	45
4.6 pH.....	50
5 Discussione.....	56
6 Conclusioni.....	60
Appendice.....	62
Ringraziamenti.....	64
Bibliografia e sitografia.....	65

Riassunto

Lo studio analizza le correlazioni tra le caratteristiche stazionali e i sistemi di humus con la profondità dei suoli e degli orizzonti OH e A sulle cenge alpine, in particolare nell'area prealpina e dolomitica tra Veneto e Trentino. Sono stati raccolti 54 campioni in 18 siti diversi cercando di analizzare la geologia, le caratteristiche morfologiche delle cenge (quota, esposizione, inclinazione e larghezza) e altre caratteristiche stazionali come la vegetazione e il pH. Dal punto di vista geologico non sono emerse correlazioni particolarmente significative tra profondità del suolo e degli orizzonti diagnostici OH ed A e le caratteristiche litologiche. Per quanto riguarda la morfologia delle cenge dall'analisi è emersa una correlazione tra profondità del suolo, quota ed esposizione, mentre inclinazione e larghezza della cengia non hanno mostrato correlazioni significative. Riguardo alle caratteristiche vegetazionali è emersa una correlazione con la presenza e l'altezza degli alberi e con la percentuale di cengia coperta da vegetazione erbacea, non sono emerse correlazioni con la copertura arbustiva. I valori del pH sono risultati essere influenzati molto dal tipo di substrato litologico, ma non hanno evidenziato particolari correlazioni con la profondità del suolo e con lo spessore dei due orizzonti analizzati.

Abstract

This study was focused to find correlations between site and humus systems' characteristics, as soil depth and A and OH horizons thicknesses, on alpine ledges in the dolomitic and pre-Alps area between Veneto and Trentino regions. We analyzed 54 soil profiles distributed in 18 sites. The characteristics considered are geology, ledges morphology (altitude, exposition, inclination and dimensions), vegetation type and cover, soil depth, OH and A horizons thicknesses and pH value. The analysis of the geological aspects does not lead to a particular correlation with the depth of the soil and the thickness of the main horizons. Regarding geomorphology, result shows a significant correlation between soil depth and altitude. Soil depth is also correlated with exposition, while inclination and width do not show significant correlation with soil depth. About the vegetational aspect, results show a correlation with the presence and height of trees and with the percentage of ledge covered by grass. Apparently, there

isn't any correlation with the percentage of shrubs. Results of pH analysis show a strong correlation with the type of substrate, but not with the soil depth or with the OH and A horizons thicknesses.

1 Introduzione

La montagna rimane tuttora un ambiente relativamente poco conosciuto e di conseguenza può ancora riservare sorprese e nuove scoperte. Una montagna che da lontano appare inaccessibile, quando ci si avvicina, potrebbe rivelare passaggi nascosti che attraversano le pareti di roccia. Allo stesso modo una parete di roccia verticale o un ghiaione che sembrano totalmente privi di vita, potrebbero nascondere piccole nicchie ecologiche; per esempio si pensi ai papaveri alpini, o ai cuscinetti di potentilla che fioriscono in mezzo alla roccia nuda, a prima vista completamente inospitale, che traggono nutrimento da piccolissimi accumuli di nutrienti sedimentatisi negli anni nelle spaccature delle rocce e nei piccoli avvallamenti. Oppure si pensi ai larici che pure crescono nel mezzo di ghiaioni apparentemente privi di suolo e di acqua, o, in ambito faunistico, alle Pernici bianche che superano inverni che durano mesi, a quote prossime ai 3000 m. Per trovare la vita in alta quota bisogna però osservare da vicino e, solo così facendo, ci si accorge di forme di vita che si sono adattate a vivere con le scarsissime risorse che questo ambiente offre: la presenza di organismi vegetali indica la presenza di suolo, anche se in alcuni casi quasi non visibile.

Il suolo è il risultato dell'interazione tra atmosfera, litosfera e idrosfera; questa interazione dà origine al suolo attraverso un processo di pedogenesi. La pedogenesi si compone di un processo fisico di disgregazione della roccia madre e di un processo chimico di decomposizione; si verifica, inoltre, un processo detto di umificazione dovuto alla decomposizione di residui organici (Businelli 2007). In alta montagna questo processo di pedogenesi avviene solo dove il detrito si deposita, quindi in zone pianeggianti o con pendenza relativamente bassa, ad esempio, sulle cenge.

Le cenge si possono definire come delle interruzioni delle pareti rocciose: si tratta infatti di fasce tendenzialmente orizzontali che si differenziano dal resto della parete per una pendenza decisamente minore; questa caratteristica consente l'accumulo di detrito proveniente dalla parete soprastante. Con l'accumulo di detrito e di umidità si accumula anche sostanza organica, che è una componente fondamentale per la formazione di suolo, consentendo, con il passare del tempo, la colonizzazione di questi ambienti da parte di piante erbacee pioniere e, in alcuni casi, anche arbusti e alberi. La formazione delle cenge può avvenire in due modi:

- nel caso di rocce stratificate (ad esempio rocce sedimentarie), si formano a causa della maggiore erosione di uno strato in quanto formato da roccia meno coesa (Trevisan 1979);

- nel caso di rocce più omogenee derivano da ondulazioni già presenti nel profilo del versante (Trevisan 1979).

La particolarità di questi ambienti è che si tratta di luoghi particolarmente difficili da colonizzare in quanto esposti a molti disturbi: scariche di massi provenienti dalle pareti di roccia sovrastanti che impattano sulle cenge e possono far franare il suolo presente; maggiore esposizione ai venti rispetto al fondovalle; esposizione a scariche di neve e valanghe provenienti dall'alto; si tratta, inoltre, di luoghi tendenzialmente aridi, in quanto, a causa della loro conformazione, non vi può essere ristagno di acqua.

Tutti questi fattori rendono la presenza di forme di vita apparentemente molto difficile, tuttavia non è raro vedere cenge ricoperte di prato o anche con alberi di discrete dimensioni. Questo indica la presenza di suolo in grado di sostenere vegetazione arborea. In molti casi le cenge fungono anche da punti di passaggio, e permettono l'attraversamento in modo relativamente agevole di pareti rocciose altrimenti non accessibili.

Il presente studio ha lo scopo di indagare i principali fattori che influenzano la formazione di suolo sulle cenge, analizzando eventuali correlazioni tra la profondità, la struttura del suolo e le caratteristiche delle cenge.

2 L'area di studio

I campioni sono stati prelevati in un'area nel nord est dell'Italia compresa tra le regioni Veneto e Trentino (fig. 1). Si è cercato di individuare le zone in prossimità dei limiti tra i diversi substrati litologici della zona, in particolare porfidi, arenarie, calcari e dolomie di piattaforma per evidenziare le eventuali differenze nelle caratteristiche dei suoli cercando, al contempo, di minimizzare la variabile climatica: infatti se i campioni fossero stati raccolti a grande distanza uno dall'altro la variabile climatica avrebbe potuto influire in maniera più consistente, rendendo difficile capire da cosa potessero dipendere eventuali diversità. Per analizzare il materiale cartografico è stato utilizzato QGIS3 versione 3.10.0 (QGIS Development Team 2019)

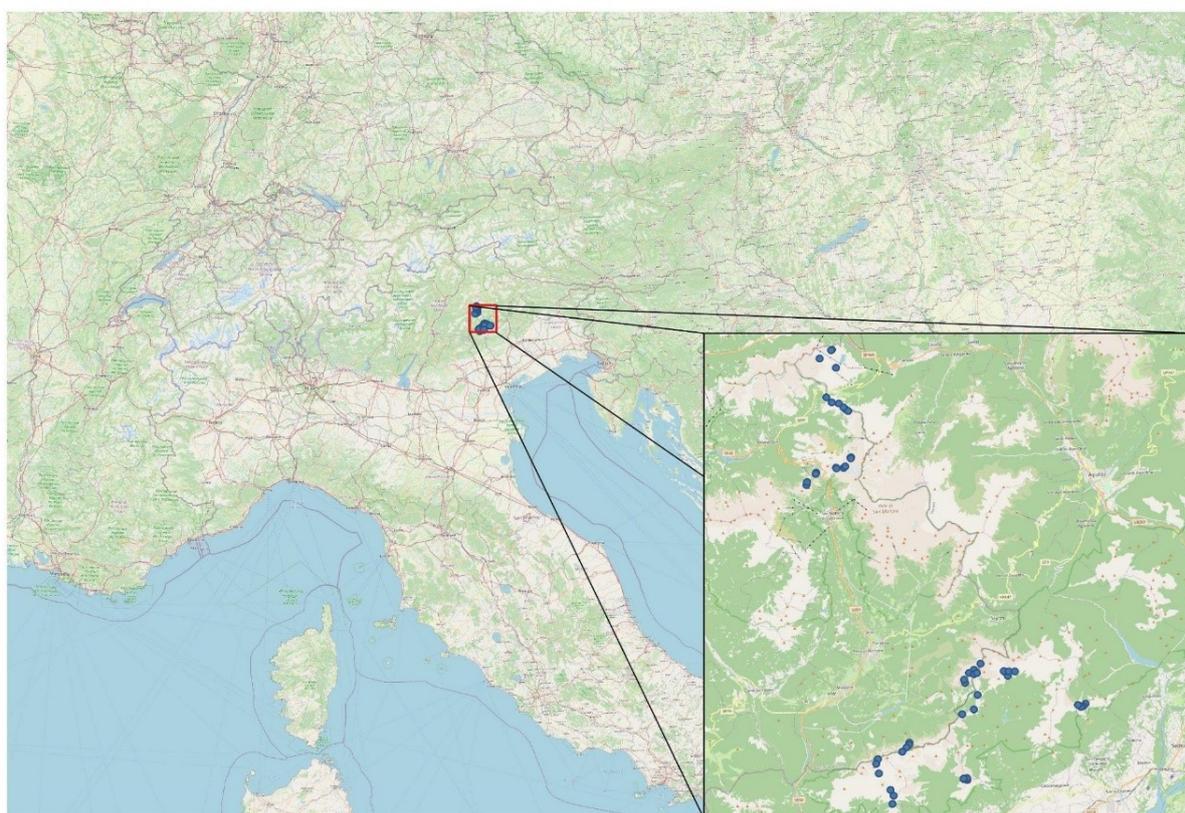


Figura 1: Carta di inquadramento dell'area di studio

All'interno della macroarea di studio si possono individuare due aree minori (fig. 2): una a nord, che copre circa 55 km², e una a sud che copre circa 250 km². Da segnalare il fatto che in entrambe le zone si trovano dei parchi naturali: in dettaglio una parte della zona nord ricade nel territorio del parco naturale Paneveggio Pale di San Martino, mentre la zona sud ricade in parte nel Parco Nazionale Dolomiti

Bellunesi. Al fine della ricerca sono stati rilasciati permessi di campionamento da parte di entrambi gli enti parco e durante il campionamento sono state evitate le zone di riserva integrale.

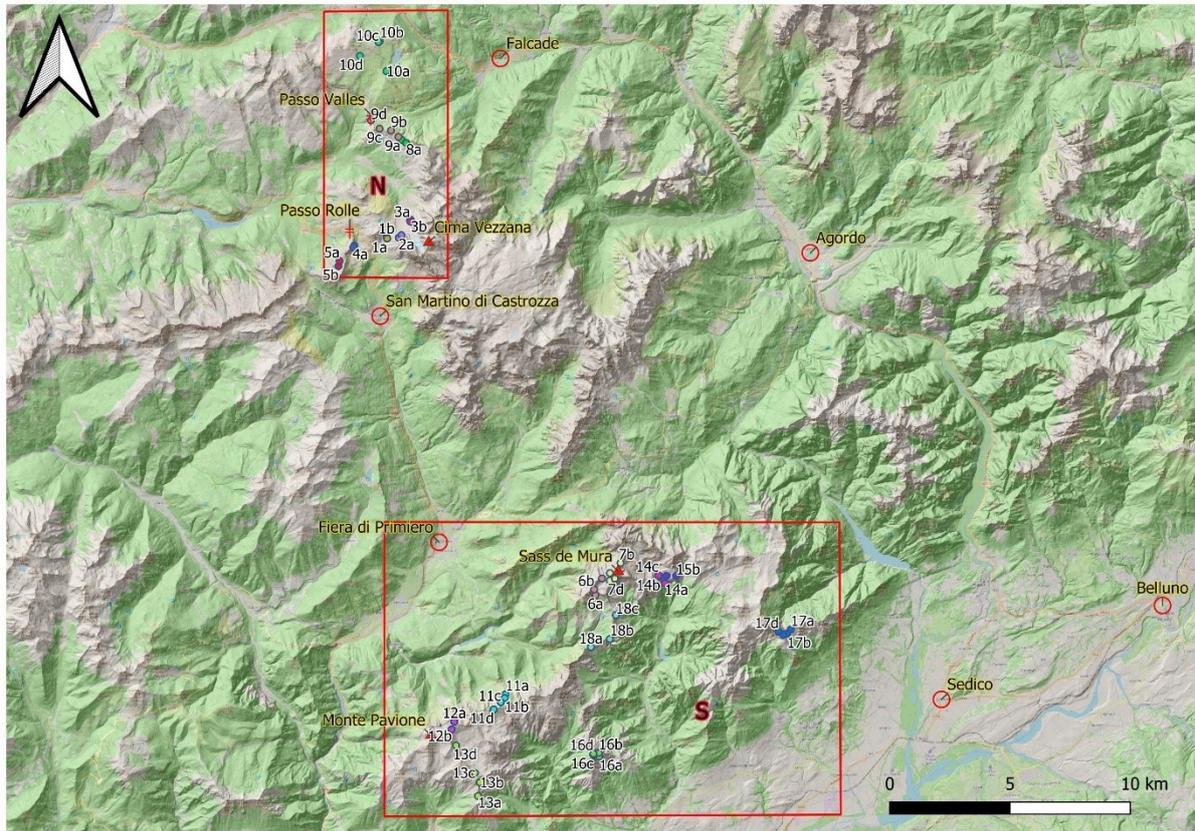


Figura 2: Carta di inquadramento dell'area di studio con evidenziate: la zona nord (N), la zona sud (S) e i punti di campionamento contrassegnati con il codice identificativo

Come si può vedere dalla carta (fig. 2) la zona nord è situata tra Passo Rolle e Passo Valles, in corrispondenza del confine tra le rocce vulcaniche della catena dei Lagorai e la dolomia delle Pale di San Martino, l'altra in corrispondenza delle Vette Feltrine sul confine tra calcare e dolomia.

Essendo l'area di studio montuosa le quote variano molto, in particolare nella zona nord le cime raggiungono i 3196 m con la cima della Vezzana e il fondovalle si trova a circa 1600/1800 m (fig. 3), mentre nella zona sud l'altitudine delle cime raggiunge i 2554 m (Sass de Mura) e il fondovalle si trova a 300/500m (fig. 4), per evitare troppe differenze si è deciso di raccogliere i campioni ad altitudini simili: tutti i campioni sono stati raccolti tra i 1500 e i 2400 m circa (fig. 3 e 4).

Nella parte nord si segnala anche la presenza di qualche piccolo ghiacciaio (ghiacciaio del Travignolo) presente a monte di alcuni dei luoghi di prelievo oltre a diversi nevai di neve perenne nei canali e nei versanti nord, mentre nella zona sud non ci sono ghiacciai e si può trovare qualche nevaio nei mesi estivi solo dopo inverni nevosi.

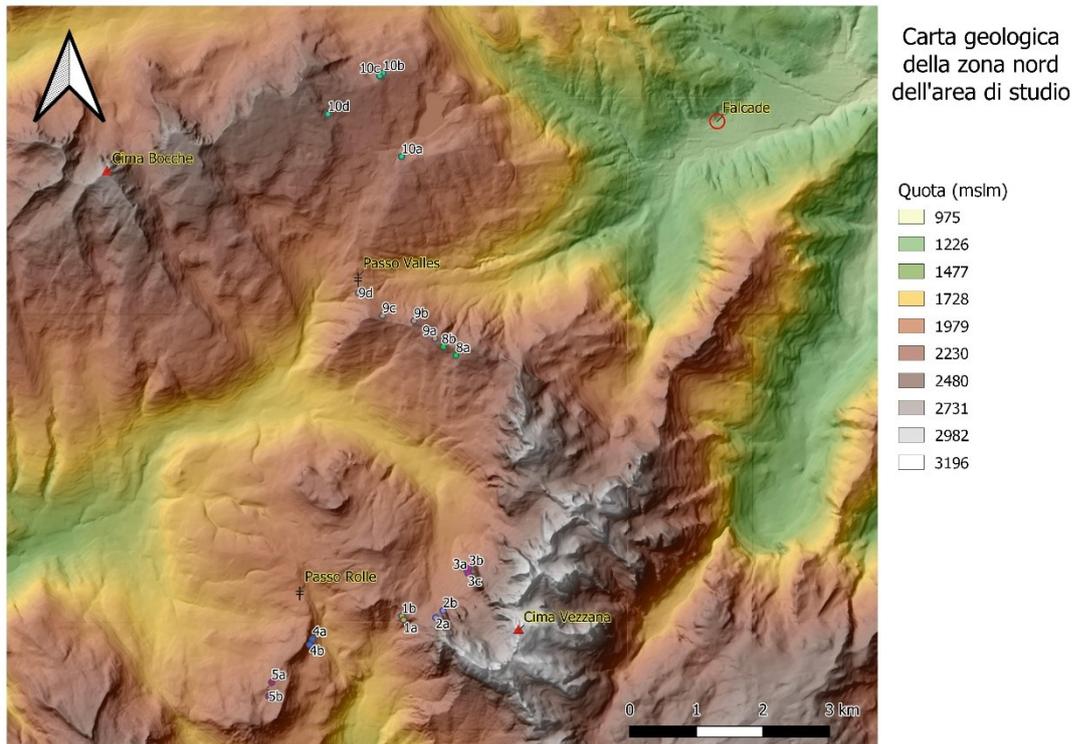


Figura 3: Carta altitudinale della zona nord dell'area di studio

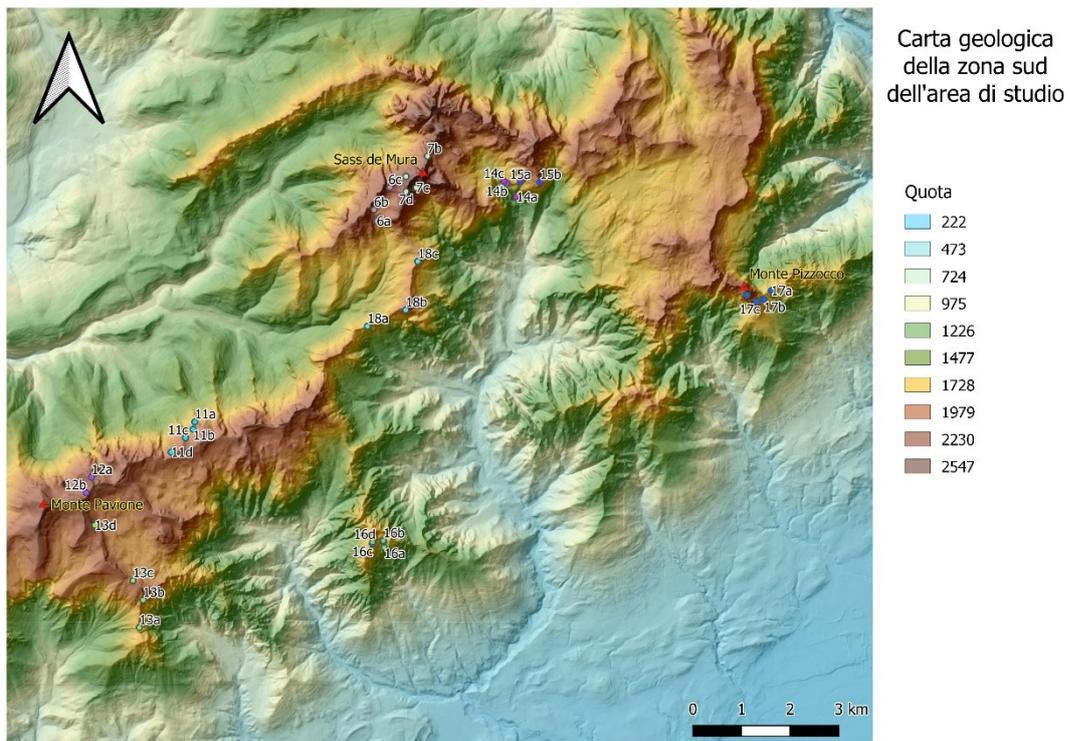


Figura 4: Carta altitudinale della zona sud dell'area di studio

L'area di studio si trova nella zona delle Alpi meridionali, zona caratterizzata da una struttura di sovrascorrimenti, generatesi durante l'orogenesi delle Alpi avvenuta a seguito della subduzione della placca Europea rispetto a quella Adriatica (D'Ambrogi e Doglioni 2008). In particolare la zona nord si trova in prossimità dell'anticlinale di cima bocche (risalente al triassico medio) che ha influenzato la formazione delle dolomiti: infatti in 10-20 km vi è una variazione del basamento (Trombetta e Masetti 2012). Dal punto di vista geologico (fig. 5) in questa zona vi è la linea di contatto tra le rocce porfiriche (ignimbriti) della catena dei Lagorai che si spingono fino a cima Bocche e le dolomie di piattaforma della zona delle Pale di San Martino (Doglioni 1984). Inoltre tra le rocce vulcaniche e la dolomia emerge uno strato di sedimenti (arenarie) che poi prosegue sotto la dolomia del Cimon della Pala.

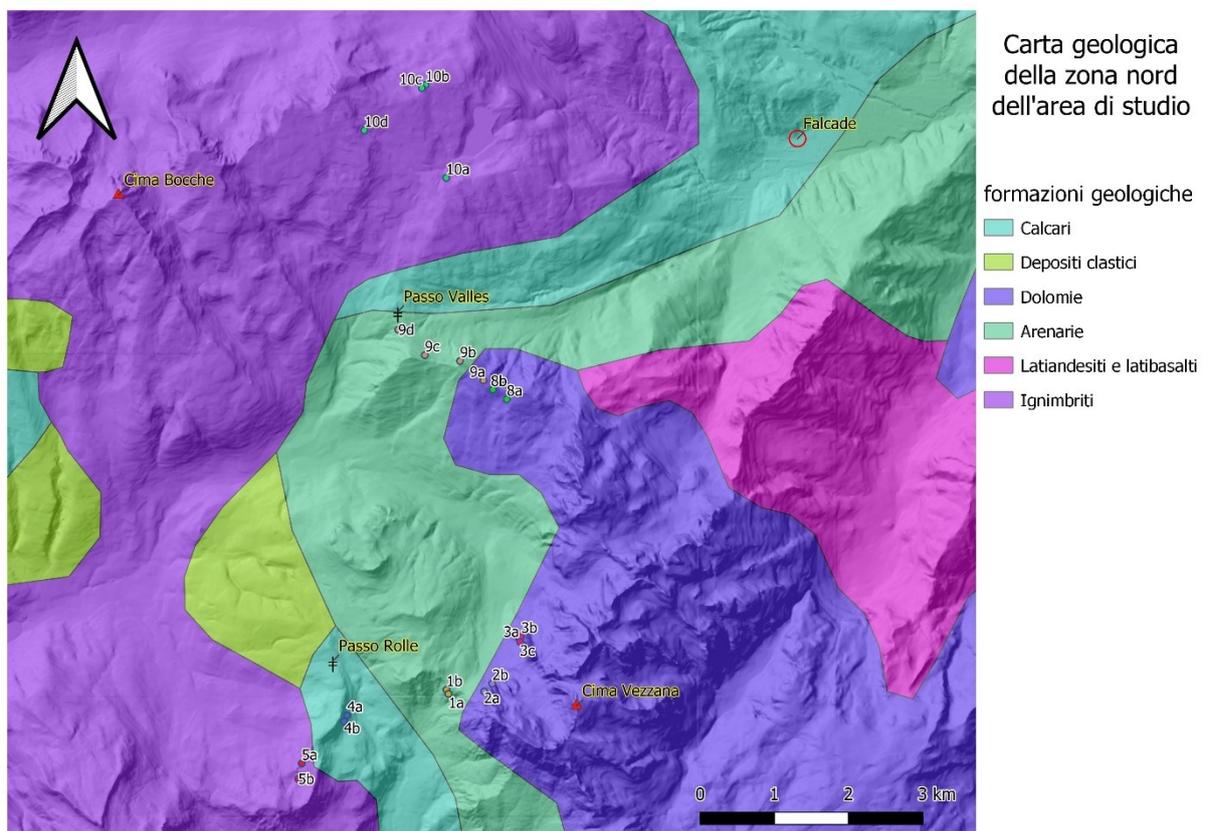


Figura 5: Carta geologica con dettaglio della zona nord dell'area di studio

Da come si può vedere (fig. 5) i campioni sono stati raccolti in corrispondenza delle tre formazioni geologiche principali di quest'area. Da specificare che in alcuni casi la carta geologica non rispecchia esattamente la linea di divisione tra le rocce in superficie: infatti i punti 4a e 4b sono caratterizzati da substrato vulcanico, a differenza

di quanto potrebbe sembrare dalla carta geologica, di conseguenza è indispensabile un controllo in loco nel momento del campionamento per non incorrere in errori. Per quanto riguarda la zona sud, in corrispondenza delle Vette Feltrine, è compresa tra i sovrascorrimenti della Valsugana, di Belluno e di Tezze, inoltre si individuano due strutture principali: l'anticlinale delle Vette Feltrine e la Sinclinale di Belluno (D'Ambrogi and Doglioni 2008). Questi sovrascorrimenti hanno portato ad una presenza di diversi tipi di rocce: le principali sono i calcari grigi, il rosso ammonitico, i calcari selciferi e la dolomia. Tuttavia, per questo studio, si è deciso di accorpate i diversi calcari all'interno del termine più generico "calcare" in quanto ci sarebbero stati troppi pochi campioni per ciascuno di essi per poter condurre un'analisi statistica accurata.

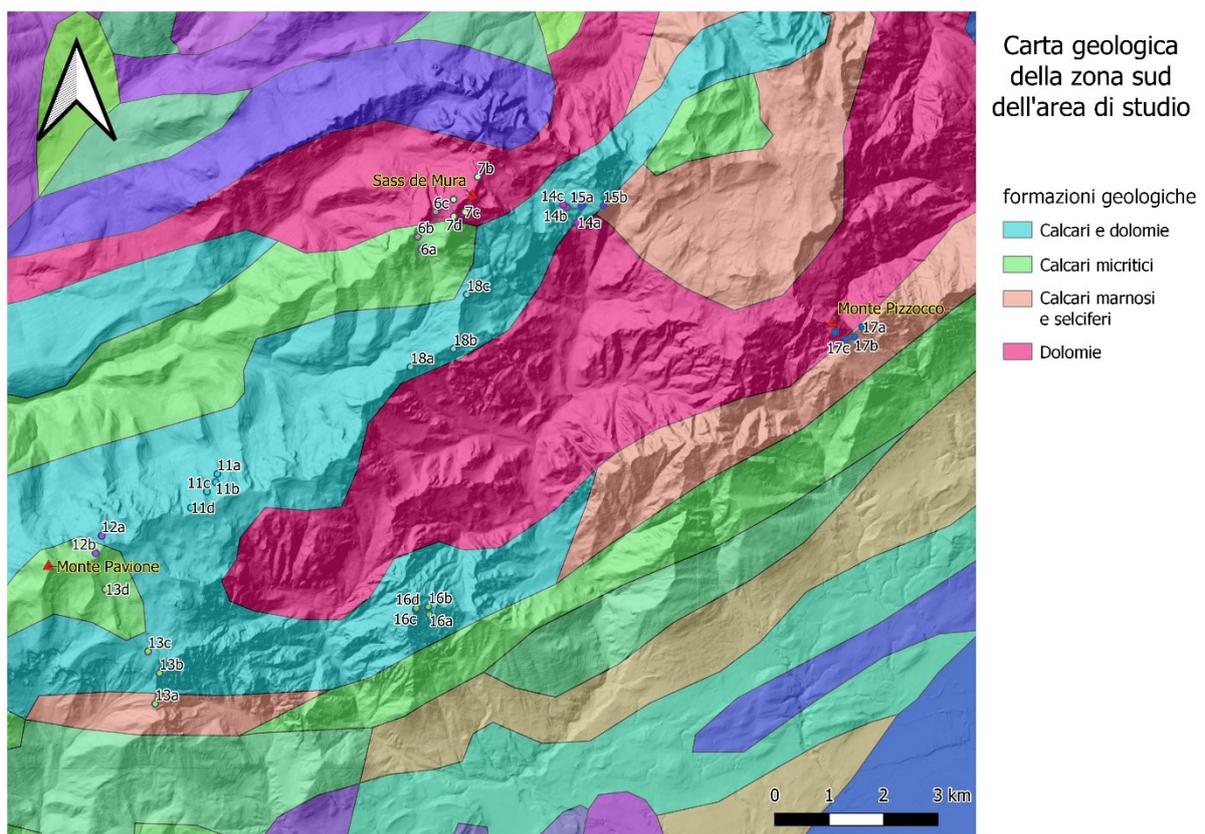


Figura 6: Carta geologica con dettaglio della zona sud dell'area di studio

Come si vede dalla carta geologica in questa zona (fig. 6) vi è una grande variabilità litologica, tuttavia i campionamenti sono stati effettuati in corrispondenza delle formazioni principali. Inoltre a causa di questa grande variabilità non sempre è stato semplice individuare le linee di divisione tra un tipo di roccia ed un altro.

La maggior parte dei campioni sono stati raccolti su rocce sedimentarie infatti, anche se diverse a livello di composizione chimica, calcare, dolomia e arenarie hanno origine sedimentaria, l'unica roccia di origine vulcanica presente nell'area di studio è il porfido. Come si vede in carta (fig. 7) la zona sud è interamente su substrato sedimentario carbonatico, mentre la zona nord è divisa tra substrato sedimentario e vulcanico.

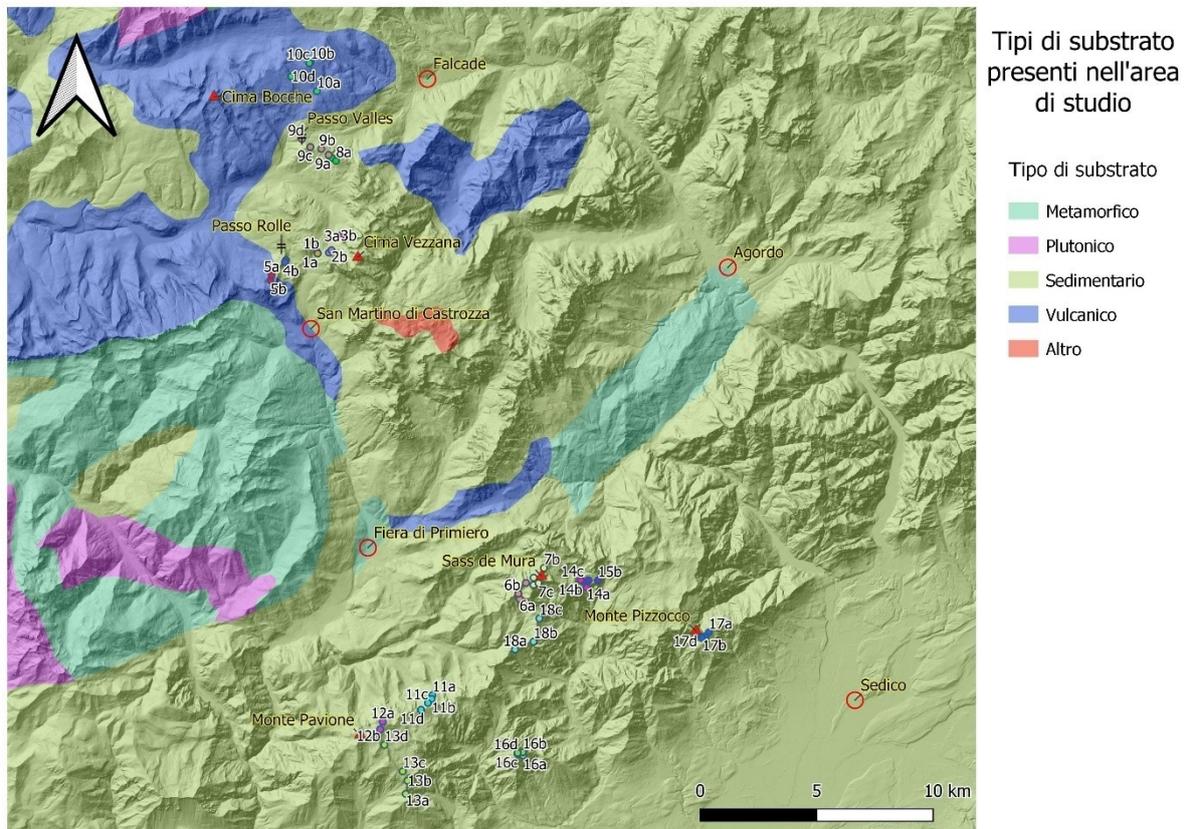


Figura 7: Carta dei tipi di substrato litologico presenti, deriva dalla carta geologica tramite l'unione delle rocce con la stessa origine

A causa della loro origine le rocce di sedimentarie presentano una stratificazione, soprattutto arenarie e calcari, e questo favorisce la formazione delle cenge, in quanto questi strati sovrapposti, con l'erosione, si dividono e frammentano, questo crea delle superfici piane che favoriscono l'accumulo di detrito. Questo processo è più difficile su rocce di origine vulcanica in quanto tendono a fratturarsi in maniera meno regolare, rendendo più difficile la formazione di cenge.

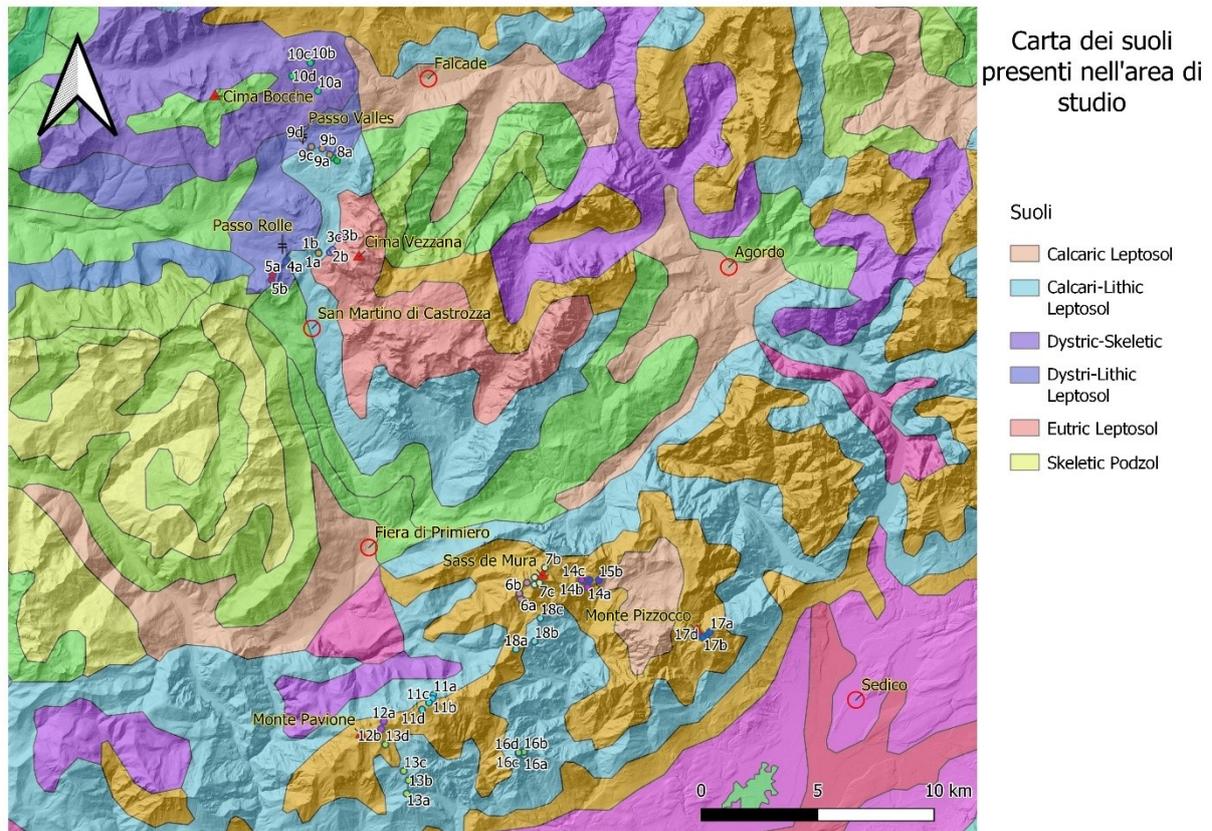


Figura 8: Carta dei principali suoli presenti nell'area di studio

I suoli presenti nell'area di studio (fig. 8) sono principalmente Leptosol, quindi suoli tipicamente di montagna caratterizzati da uno spessore inferiore ai 50 cm dal basamento di roccia (Nachtergaele 2010).

Dalla carta (fig. 8) si nota una certa diversità nei suoli, tuttavia molti di questi sono Leptosols differenziati in base alla litologia, come si vede nella legenda. Da notare che in legenda vengono riportati i suoli sui quali sono stati prelevati i campioni, oltre a quelli nell'area inquadrata sono presenti Podzol, Cambisol e Umbrisol.

Il clima dell'area di studio è caratterizzato da temperature medie annue che si aggirano tra gli 0°C a livello delle cime più alte e i circa 7° nella zona prealpina (Garlato et al. 2015), le temperature diminuiscono sia salendo di quota che spostandosi verso nord, quindi la parte nord dell'area di studio ha un clima leggermente più freddo della parte sud. Le precipitazioni sono leggermente più abbondanti nella fascia prealpina (zona sud) con massimi prossimi ai 2000 mm/anno, mentre la zona più a nord ha un clima più continentale con precipitazioni meno abbondanti (Villani 1983). Le precipitazioni nevose sono molto presenti in tutta l'area di studio, e si possono protrarre fino a maggio/giugno, quindi svolgono un ruolo importante nella dinamica degli ecosistemi e

limitano la stagione vegetativa ai 3/4 estivi (Villani 1983), inoltre influenzano la temperatura del suolo e l'attività biologica: infatti la copertura nevosa funge da isolante e, se raggiunge i 30/60 cm ad inizio stagione evita il congelamento del suolo permettendo l'attività biologica anche nei mesi invernali (Filippa et al. 2009).

3 Materiali e metodi

Lo studio effettuato è stato svolto in tre fasi principali: una prima fase di raccolta e preparazione dei campioni, una seconda fase riguardante le analisi dei campioni effettuata in laboratorio e visivamente e una terza ed ultima fase riguardante le analisi statistiche e la descrizione dei dati con l'ausilio dei software Excel e R versione 4.0.2 (R Core Team 2020) utilizzando RStudio (Rstudio Team 2020).

La fase di preparazione degli strumenti e la raccolta dei campioni si sono svolte come segue.

3.1 Materiali

Per raccogliere i campioni e realizzare la ricerca in campo sono stati utilizzati i seguenti strumenti (fig. 9):

- Un carotatore: questo strumento costituisce la base per la raccolta dei campioni di suolo in quanto è grazie ad esso che si può prelevare il campione mantenendo la stratigrafia degli orizzonti pressoché inalterata. È stato ottenuto tramite l'affilatura di un'estremità di un tubo di acciaio di 25 cm di lunghezza e 3 cm di diametro al quale è stato applicato un perno per rendere più agevole il suo utilizzo in caso di terreni molto compatti o ghiacciati.
- Un estrattore: questo strumento è costituito da un cilindro di legno leggermente più lungo del carotatore e con diametro inferiore, è stato utilizzato per estrarre il campione di suolo dal carotatore una volta prelevato
- Contenitori per il trasporto dei campioni: costituiti da dei tubi in plastica di 25-30cm di lunghezza e 3.5cm di diametro chiusi alle due estremità per evitare la fuoriuscita del campione stesso. Il diametro leggermente maggiore rispetto a quello del carotatore è necessario per poter inserire il campione in modo agevole ed estrarlo una volta a valle per procedere all'asciugatura.
- Metro: utilizzato per la misurazione dello spessore dei vari orizzonti presenti nel suolo.
- Coltello e paletta: utilizzati per effettuare uno scavo per mettere in luce e misurare il profilo del suolo.

- Sacchetti di plastica con chiusura ermetica: utilizzati per trasportare la parte di campione necessaria per le analisi in laboratorio previa etichettatura con codice di campionamento.
- Nastro adesivo: utilizzato per tenere in posizione il coperchio dei contenitori per il trasporto una volta inserito il campione, in questo caso è stato usato anche come etichetta per riportare i codici identificativi sui campioni, per questo motivo è stato utilizzato un nastro adesivo di carta.
- Per la raccolta dei dati stazionali è stato usato sia un blocco note sia lo smartphone, in particolare l'applicazione KoBoCollect precedentemente impostata tramite KoBotoolbox. In questo modo è stato possibile avere uno schema per la raccolta dei dati che fosse sempre impostato nello stesso modo, inoltre diminuisce il rischio di errori di trascrizione dei dati, infatti una volta raccolti tutti i dati è possibile scaricarli direttamente in formato Excel.
- Inclino metro: in questo caso è stata utilizzata una app per smartphone per misurare l'inclinazione della cengia nel punto scelto per il campionamento.
- Bussola: utilizzata per rilevare l'esposizione della cengia, cioè la direzione della linea di massima pendenza.
- Cassette di plastica: per lo stoccaggio dei campioni una volta finita la raccolta, vi sono stati inseriti dei fogli di giornale per favorirne l'asciugatura necessaria per le analisi in laboratorio. Per evitare che si mescolassero tra di loro nelle cassette sono stati inseriti dei separatori in legno tra un campione e l'altro con un'etichetta riportante il codice.
- Piaccometro: questo strumento consente di misurare il pH dei liquidi, in questo studio è stato utilizzato per misurare il valore di pH degli orizzonti principali dei campioni.
- Bilancia: è stata utilizzata nella fase di analisi in laboratorio per pesare il suolo per poter calcolare la giusta quantità di acqua da aggiungere al suolo per la misurazione del pH.



Figura 9: Alcuni degli strumenti utilizzati per il campionamento: 1 carotatore; 2 cilindro di legno per estrarre il campione dal carotatore; 3 contenitore per il trasporto; 4 paletta per gli scavi; 5 metro; 6 coltello per gli scavi; 7 sacchetti per il trasporto in laboratorio

3.2 Metodi

La prima fase operativa dello studio è stata l'individuazione dei siti da campionare: sono stati scelti in due fasi, inizialmente, come detto, è stata studiata la carta geologica per individuare le linee di confine tra i gruppi geologici principali. Inoltre, per poter confrontare correttamente i campioni, si è deciso di raccoglierci in siti con caratteristiche simili: per prima cosa si è cercato di minimizzare l'influenza del clima scegliendo siti a quote relativamente simili (tra i 1500 e i 2400m), in secondo luogo i campionamenti sono stati effettuati in cenge con esposizione differente in tutti i diversi siti (ove possibile) per avere un'immagine il quanto più accurata possibile della zona. Tuttavia, se la decisione delle aree di interesse è stata possibile solo basandosi su carte topografiche e geologiche, per la scelta dei siti veri e propri è stato necessario recarsi sul luogo e verificare la presenza delle cenge (fig. 10 e 11) e la possibilità di raggiungerle.

Infatti in alcuni casi è stato necessario arrampicare per poter raggiungere la cengia scelta per il campionamento, mentre in altre situazioni l'accesso si è rivelato più semplice, ad esempio nei casi in cui la cengia era raggiungibile da uno dei due lati e non solamente dal basso o dall'alto.



Figura 10: Esempio di cengia su dolomia (Sass de Mura)



Figura 11: Esempio di cengia su calcare (Vette Feltrine)

Una volta raggiunto il luogo designato (fig. 12) si è proceduto al campionamento del suolo: per prima cosa si è proceduto effettuando uno scavo per mettere in luce l'intero profilo del suolo (fig. 13). Lo scavo aveva lo scopo di individuare i vari orizzonti presenti e misurare il loro spessore, inoltre lo scavo era necessario per verificare quale fosse la base rocciosa (in alcuni casi la base dello scavo era costituita roccia frammentata con poco suolo tra le spaccature), e non rischiare di tralasciare una parte di suolo durante il campionamento.



Figura 12: Esempi di siti di campionamento: su dolomia (sinistra) e su porfido (destra) con evidenziati i punti di raccolta

Una volta fatto ciò è stato utilizzando il carotatore per effettuare il vero e proprio campionamento (fig. 14): è stata prelevata una carota di suolo di 3cm di diametro lunghezza pari allo spessore del suolo (fig. 15): infatti, vista la scarsa profondità dei suoli in questo tipo di ambiente, è stato possibile raggiungere il basamento roccioso. Per profondità del suolo si intende gli orizzonti OF+OH+A+C. Se non fosse stato effettuato lo scavo in precedenza non sarebbe stato possibile sapere la profondità del suolo, quindi se con il carotatore si avesse colpito una roccia, anche di piccole dimensioni, non sarebbe stato possibile capire se fosse il basamento roccioso o solo una roccia libera nel suolo.



Figura 14: Esempio di uno scavo con evidente differenza tra gli orizzonti OH e A



Figura 13: Esempio di prelievo tramite utilizzo del carotatore

Dopo aver estratto il campione dal carotatore spingendolo con il cilindro di legno, il campione di suolo è stato inserito nel contenitore per il trasporto: un tubo di plastica precedentemente chiuso da un lato che, una volta inserita la carota di suolo, è stato chiuso anche dall'altro lato per scongiurare la fuoriuscita di parte del suolo. Il contenitore è stato opportunamente etichettato con il codice identificativo del campione: si è deciso di usare un numero per indicare il sito di raccolta e una lettera per distinguere i campioni raccolti nello stesso sito. Per sito viene intesa un'area relativamente piccola (tra due campioni provenienti dallo stesso sito vi è una distanza massima di 2 km), anche se la differenza tra un sito ed un altro non è tanto la distanza tra i punti, ma sono le caratteristiche geologiche: infatti in un sito la roccia madre è la stessa, la quota e le caratteristiche stazionali sono simili (per ogni sito sono stati effettuati tra i 2 e i 4 prelievi). Dopo aver approntato il campione per il trasporto a valle

sono stati raccolti i dati stazionali e gli spessori dei vari orizzonti presenti. I dati riguardanti le caratteristiche del punto di campionamento sono i seguenti: quota, origine della roccia madre (vulcanica o carbonatica), tipo di roccia (porfido, arenaria, calcare o dolomia), larghezza della cengia (distanza tra la parete di roccia a monte e quella a valle), inclinazione della cengia (in gradi), esposizione della cengia (direzione della linea di massima pendenza). Per quanto riguarda i dati relativi al suolo, quelli raccolti in sede di campionamento, sono: profondità del suolo e profondità degli orizzonti presenti, in particolare OL, OF, OH, OHA, A, AC e C con particolare focus su OH ed A in quanto gli altri orizzonti spesso non erano presenti. OL e OF si differenziano da OH per la minore decomposizione del materiale organico: OL (resti riconoscibili > 90%) e OF (10% < resti riconoscibili ≤ 7%), OH (resti riconoscibili < 30%). Per resti riconoscibili si intendono resti organici che osservati a occhio nudo o con una lente di ingrandimento fino al 10X permettono di sapere a quale organo della pianta il resto apparteneva (foglia, radice, corteccia...). Per opposizione si distingue anche la “componente umica” che sono invece degli escrementi e dei detriti organici in pezzettini piccoli, di cui non si riesce a riconoscere l’organo di origine ad occhio nudo o con una lente X10 (Zanella et al. 2018c).

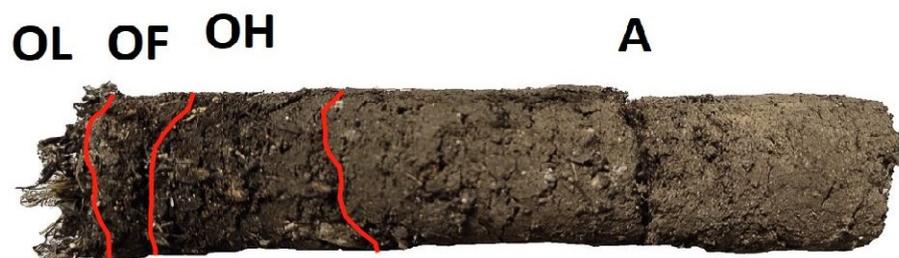


Figura 15: Esempio di campione con evidenziati gli orizzonti presenti

Per convenzione, gli orizzonti OL, OF e OH sono definiti organici; l’orizzonte A è definito organo-minerale e l’orizzonte C come minerale. OHA e AC sono orizzonti ibridi tra OH e A, oppure tra A e C. L’orizzonte A contiene fino a un massimo di 20% di carbonio organico, l’orizzonte OH più del 20% di carbonio organico (Zanella et al. 2018c). In totale sono stati raccolti 54 campioni suddivisi in 18 siti diversi, in particolare 8 siti nella zona nord dell’area di studio e 10 nella zona sud. Questi campioni sono

stati classificati in sistemi di humus (Zanella et al. 2018c, 2018b, 2018a) anche usando l'applicazione TerrHum (Zanella et al. 2019). Lo schema per la classificazione è quello riportato nelle seguenti figure (fig. 16 e 17).

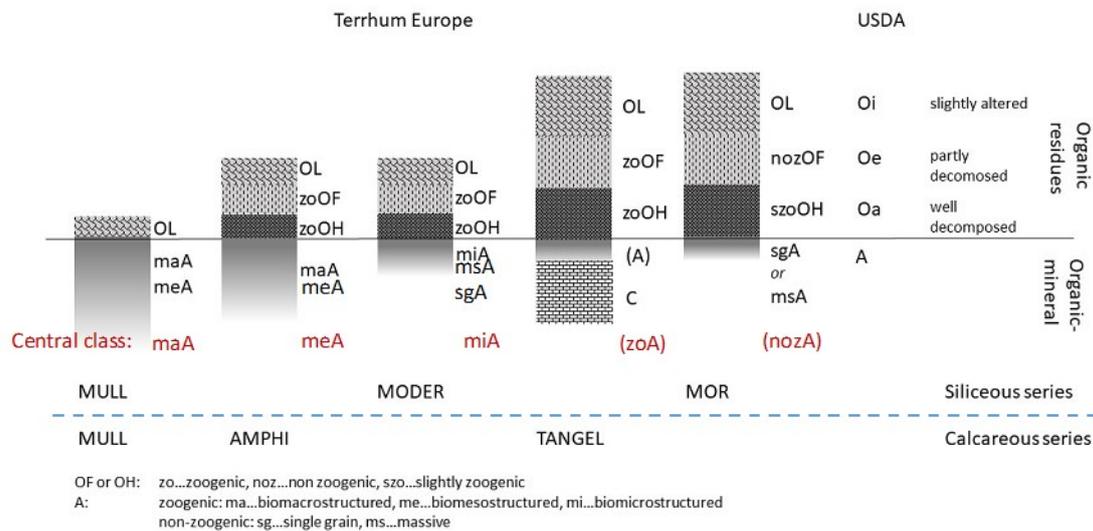


Figura 16: Classificazione dei sistemi di humus in funzione dei substrati di formazione silicea o calcarea (che contiene anche la dolomia = carbonato di Ca e Mg). Per “Central class” (in rosso sulla figura) si intende l’orizzonte A più comune in quel sistema di humus.

Legenda: maA = A biomacrostrutturato (con grumi > 4 mm); meA = A biomesostrutturato (con grumi dominanti di diametro 1 mm < grumi ≤ 4 mm); miA = A biomicrostrutturato (con grumi dominanti di diametro ≤ 1 mm); zo = zoogenico; noz = non zoogenico; ms = massivo; szo = poco (slightly) zoogenico; sg = s grani singoli. Sotto la sigla USDA (Unites States Department Agriculture) si legge la corrispondenza dei codici degli orizzonti utilizzati in questo lavoro con quella degli orizzonti diagnostici nella classificazione americana.

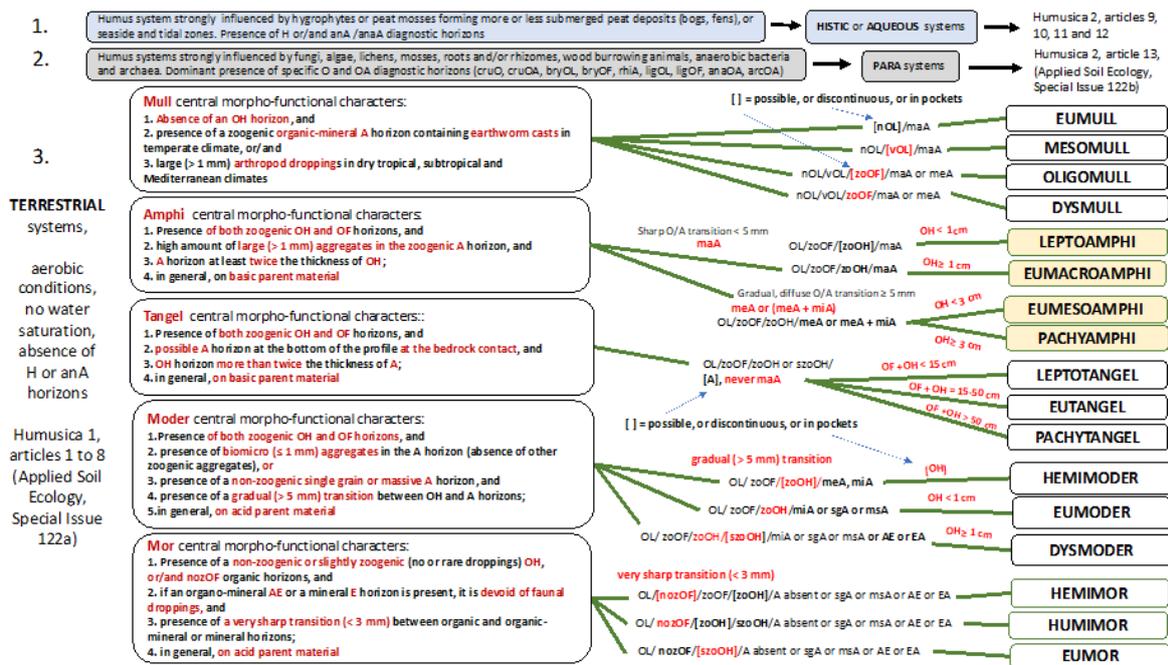


Figura 17: Schema descrittivo per la classificazione delle forme di humus. Nei riquadri sulla sinistra della figura vengono classificati i sistemi di humus: Mull, Amphi, Tangel, Moder e Mor. Ogni sistema viene poi suddiviso in forme di humus (riquadri sulla destra) in base ai caratteri e allo spessore di specifici orizzonti diagnostici e al tipo di transizione (graduale o netta) tra gli orizzonti organici e minerali.

Una volta raccolti e catalogati, i campioni, sono stati trasportati a valle e posizionati all'interno di cassette con dei separatori per farli asciugare evitando che si mescolassero tra di loro (fig. 18a). Una fase di essiccazione all'aria di due settimane è stata necessaria per poter conservare i campioni senza che si formassero funghi o muffe prima delle analisi. Se mantenuti umidi, avrebbero favorito il proliferare dei microrganismi che si nutrono della sostanza organica nel suolo, questo avrebbe potuto influenzare i risultati delle analisi. Una volta essiccati i campioni sono stati divisi in base ai principali orizzonti presenti: è stata prelevata una parte dell'orizzonte OH e una parte dell'orizzonte A da ogni campione (in alcuni casi era presente uno solo degli orizzonti). La parte prelevata (circa 20 g per campione, se non presenti 20 g si prendeva tutto l'orizzonte) è stata trasportata in laboratorio utilizzando dei sacchetti di plastica con chiusura ermetica opportunamente catalogati tramite il codice identificativo del campione e dell'orizzonte in questione (fig. 18b).



Figura 18a: Catalogazione ed essiccamento dei campioni



Figura 18b: Esempio di campione da analizzare

L'analisi effettuata in laboratorio ha riguardato il pH dei campioni, per questo scopo è stato utilizzato un piaccametro (fig. 19a). Per prima cosa è stato necessario effettuare la taratura dello strumento, a questo scopo sono state utilizzate delle soluzioni con pH noto tarando lo strumento su quei valori: sono state usate tre soluzioni con pH pari a 4, 7 e 10. Nel mentre i campioni sono stati preparati per l'analisi aggiungendo acqua deionizzata con pH neutro, con un rapporto suolo/acqua pari a 1:2.5; il tutto è stato lasciato per almeno 30 minuti all'interno di contenitori catalogati con il codice del rispettivo campione (fig. 19b), durante questo lasso di tempo è stato necessario mescolare regolarmente per far fuoriuscire gli ioni dal suolo. In alcuni casi è stato necessario aumentare il rapporto suolo/acqua da 1:2.5 a 1:5 in quanto alcuni campioni, molto ricchi di sostanza organica, hanno assorbito completamente l'acqua inserita inizialmente e non sarebbe stato possibile effettuare la misurazione: infatti lo strumento riesce a misurare il pH di soluzioni liquide. In alcuni casi gli orizzonti OH o A non erano presenti. Tuttavia ognuno dei profili presentava almeno uno dei due orizzonti, quindi è stato possibile effettuare almeno una misurazione per ogni profilo.



Figura 19a: Misurazione del pH



Figura 19b: Campioni preparati per la misurazione del pH

Una volta completate le analisi i dati ottenuti sono stati analizzati con Excel e R versione 4.0.2 (R Core Team 2020) utilizzando RStudio (Rstudio Team 2020) al fine di individuare eventuali correlazioni tra le caratteristiche del suolo, e dei vari orizzonti, e le caratteristiche stazionali. Per poter procedere con l'analisi delle correlazioni è stato necessario rendere numerici tutti valori delle variabili, come alcune caratteristiche quali il substrato litologico o l'esposizione della cengia, per esempio. L'esposizione della cengia è stata trasformata da punti cardinali a gradi di direzione rispetto al nord ($N=0$, $NE=45^\circ$, $E=90^\circ$...), la presenza di vegetazione arborea è stata trasformata da SI/NO a 1/0 e così via per tutte le variabili non numeriche.

4 Risultati

4.1 Sistemi di humus

La classificazione dei sistemi di humus è stata effettuata suddividendo i campioni in base al tipo di substrato, quindi carbonatico e acido (vulcanico). Osservando il grafico (fig. 20) si nota la differenza nella composizione di orizzonti diagnostici nei profili di suolo.

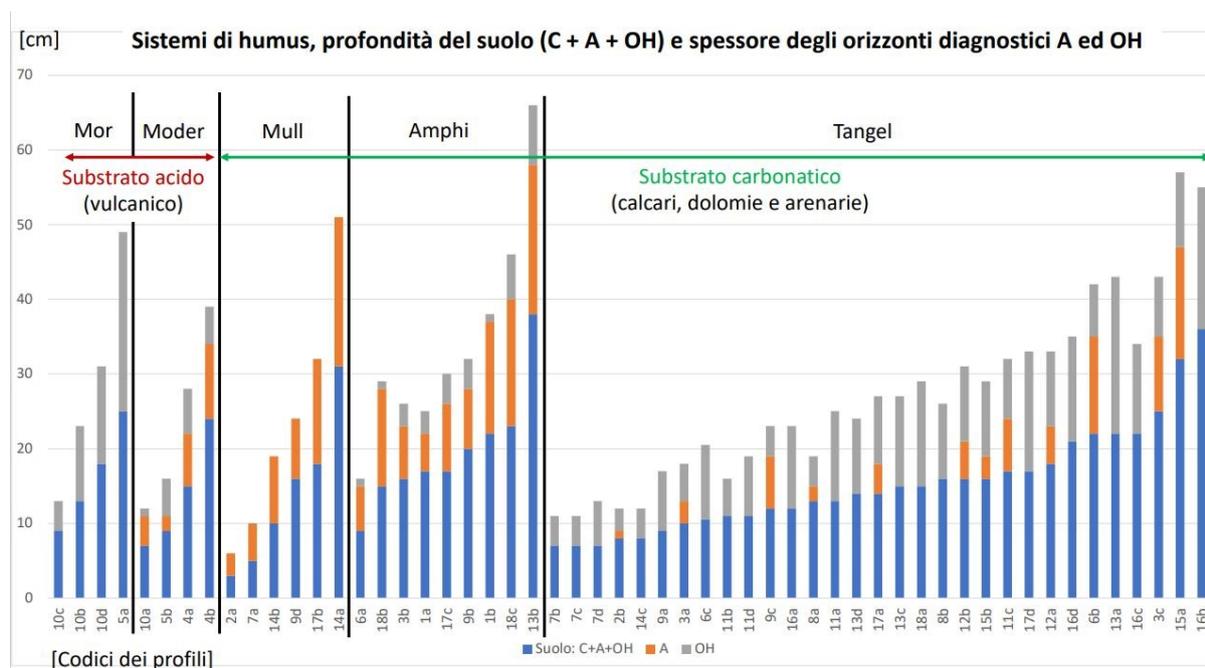


Figura 20: Classificazione dei campioni analizzati in sistemi di humus. Da sinistra a destra: Mor, Moder, Mull, Amphi e Tangel. Dominano i substrati carbonatici, e su questi i Tangel nei confronti di Amphi e Mull. 8 profili sono invece di sistemi Moder o Mor, formati su substrati acidi.

Nel grafico (fig. 20) l'orizzonte organico OH è di colore grigio e l'orizzonte organo-minerale A in arancione. La profondità totale del suolo fino alla roccia con quantità molto ridotte di suolo è evidenziata dall'istogramma azzurro. Per la classificazione dei sistemi e delle forme di humus è importante conoscere gli spessori degli orizzonti OH ed A. Su substrati acidi si formano due sistemi di humus: quando non è presente l'orizzonte A il sistema viene chiamato Mor, quando invece sono presenti entrambi gli orizzonti diagnostici A ed OH viene denominato Moder. Nel nostro caso, i suoli su substrato carbonatico presentano tre diversi sistemi di humus: nel caso di assenza

dell'orizzonte OH si tratta del sistema Mull, nel caso di un orizzonte A dominante rispetto all'orizzonte OH (A di spessore almeno uguale al doppio di OH) si tratta del sistema Amphi, quando invece lo spessore di A è inferiore al doppio dell'orizzonte OH si passa nel sistema Tangel. La maggior parte dei campioni analizzati su substrato carbonatico sono Tangel, quindi suolo con orizzonte OH importante, il che indica condizioni mediamente più difficili per la biodegradazione della lettiera. Se le condizioni fossero favorevoli alla decomposizione operata dalla pedofauna, la lettiera verrebbe trasformata/incorporata in un orizzonte A (organo-minerale) e l'orizzonte OH (organico) non si formerebbe (Zanella et al. 2008).

4.2 Correlazioni

I risultati dello studio della correlazione tra le variabili sono riportati nelle tabelle (tab. 1a e 1b). I coefficienti di correlazione (Pearson) tra le variabili sono espresse con un numero tra 0 e 1 se dirette e tra 0 e -1 se inverse.

Formula per il calcolo del coefficiente di Pearson:

$$\rho = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{(n - 1) s_x s_y}$$

Dove:

- \bar{x} media dei campioni della prima variabile
- S_x deviazione standard della prima variabile
- \bar{y} media dei campioni della seconda variabile
- S_y deviazione standard della seconda variabile
- n lunghezza della colonna

Il grado di correlazione tra le variabili in esame è riportato in tabella (tab. 1a e 1b). Per ragioni di impaginazione è stato necessario dividere la tabella delle correlazioni in due parti.

Tabella 1a: Valori dei coefficienti di correlazione (Pearson) tra le variabili analizzate

	Tipo substrato	Roccia	Quota	Esposizione	Larghezza	Inclinazione	Veg. arborea
Tipo substrato	1	0.80	-0.31	0.20	0.21	0.34	0.13
Roccia	0.80	1	-0.64	0.14	0.25	0.25	0.26
Quota	-0.31	-0.64	1	-0.21	0.03	-0.20	-0.28
Esposizione	0.20	0.14	-0.21	1	-0.03	0.04	-0.06
Larghezza	0.21	0.25	0.03	-0.03	1	0.13	0.25
Inclinazione	0.34	0.25	-0.20	0.04	0.13	1	-0.09
Veg. arborea	0.13	0.26	-0.28	-0.06	0.25	-0.09	1
Altezza alberi	0.11	0.20	-0.17	0.17	0.28	-0.13	0.74
Veg. arbustiva	-0.04	0.04	-0.12	-0.17	0.10	0.03	0.10
Veg. erbacea	-0.15	0.00	-0.22	0.30	0.12	-0.15	0.45
Profondità suolo	0.05	0.19	-0.40	0.26	0.12	0.14	0.20
Profondità OH	-0.10	0.15	-0.13	-0.15	0.00	-0.12	0.02
Profondità A	0.14	0.10	-0.29	0.34	0.15	0.11	0.31
pH	0.88	0.67	-0.26	0.13	0.12	0.45	0.02

Tabella 1b: Seconda parte della tabella delle correlazioni

	Altezza alberi	Veg. arbustiva	Veg. erbacea	Profondità suolo	Profondità OH	Profondità A	pH
Tipo substrato	0.11	-0.04	-0.15	0.05	-0.10	0.14	0.88
Roccia	0.20	0.04	0.00	0.19	0.15	0.10	0.67
Quota	-0.17	-0.12	-0.22	-0.40	-0.13	-0.29	-0.26
Esposizione	0.17	-0.17	0.30	0.26	-0.15	0.34	0.13
Larghezza	0.28	0.10	0.12	0.12	0.00	0.15	0.12
Inclinazione	-0.13	0.03	-0.15	0.14	-0.12	0.11	0.45
Veg. arborea	0.74	0.10	0.45	0.20	0.02	0.31	0.02
Altezza alberi	1	0.05	0.45	0.25	-0.05	0.40	-0.01
Veg. arbustiva	0.05	1	0.06	-0.01	0.14	-0.07	-0.09
Veg. erbacea	0.45	0.06	1	0.44	0.24	0.23	-0.28
Profondità suolo	0.25	-0.01	0.44	1	0.40	0.54	-0.08
Profondità OH	-0.05	0.14	0.24	0.40	1	-0.44	-0.32
Profondità A	0.40	-0.07	0.23	0.54	-0.44	1	0.20
pH	-0.01	-0.09	-0.28	-0.08	-0.32	0.20	1

Inoltre per le variabili analizzate sono state calcolate le probabilità che hanno i valori di correlazione trovati di essere pari a zero (ipotesi nulla).

Per il calcolo di questa probabilità (p-value) si fa riferimento a una distribuzione di t con (n-2) gradi di libertà, e la formula seguente:

$$t = \frac{r\sqrt{n-2}}{\sqrt{1-r^2}}$$

Dove:

r = coefficiente di correlazione

n = numero di osservazioni

La p-value viene calcolata dal programma e ci dice quanto i valori di r trovati con i dati delle nostre variabili differiscono da valori di r dovuti al caso (correlazione nulla tra le variabili). Quando queste probabilità sono molto basse (≤ 0.05), significa che il coefficiente di correlazione ha il 5% o meno di probabilità di essere nullo (e cioè che ne ha 95% o più di non essere nullo, che esiste quindi una forte probabilità che il coefficiente trovato indichi una correlazione tra le variabili in gioco) (tab. 2).

Tabella 2: Probabilità dei coefficienti di correlazione di essere nulli (zero correlazione tra le variabili). Esempi di lettura (seconda colonna, seconda riga): la probabilità che Tipo di substrato e profondità del suolo non siano correlate (correlazione nulla) è del 72.9 %. Se sosteniamo che queste due variabili NON sono correlate abbiamo ragione quasi 73 volte su 100. C'è un'alta probabilità che NON siano correlate; (seconda colonna, quarta riga): profondità del suolo e Quota hanno 0.003 probabilità di NON essere correlate. Se sosteniamo che NON sono correlate abbiamo ragione 3 volte su 1000. Hanno un'alta probabilità di essere correlate.

P-value	profondità suolo	profondità OH	profondità A
Tipo substrato	0.729	0.461	0.318
Roccia	0.172	0.263	0.476
Quota	0.003	0.336	0.032
Esposizione	0.048	0.266	0.011
Larghezza	0.380	0.973	0.283
Inclinazione	0.300	0.390	0.413
Veg. arborea	0.152	0.907	0.024
Altezza alberi	0.050	0.698	0.003
Veg. arbustiva	0.930	0.324	0.613
Veg. erbacea	0.001	0.085	0.089

In tabella (tab. 2) sono evidenziati i valori inferiori o uguali a 0.05, valori che indicano che esiste una correlazione tra:

1. profondità del suolo e Quota (0.003), Esposizione (0.048), Altezza degli alberi (0.05) e Veg. Erbacea (0.001);
2. profondità dell'orizzonte A e Quota (0.032), Esposizione (0.011), Veg. Arborea (0.024) e Altezza alberi (0.003).

La correlazione esiste ma può essere alta o bassa. Se una correlazione positiva esiste ed è alta, per esempio, possiamo definire il valore di una variabile conoscendo quello dell'altra; quando invece la correlazione esiste ma è bassa, possiamo solo dire che ci sono buone probabilità (e conosciamo il valore di tale probabilità) che quando cresce (coefficiente positivo) una variabile, cresca anche l'altra senza sapere precisamente di quanto.

4.3 Geo/litologia

Per prima cosa sono stati analizzati i dati relativi alle caratteristiche geologiche di ciascun sito per evidenziare eventuali differenze tra un tipo di roccia ed un altro. I substrati litologici su cui si è svolta l'indagine sono di due tipi: vulcanico e sedimentario/carbonatico. L'ipotesi alla base del confronto tra la profondità del suolo e degli orizzonti OH e A su questi due tipi di substrato è che ci sia una differenza nella profondità dei suoli.

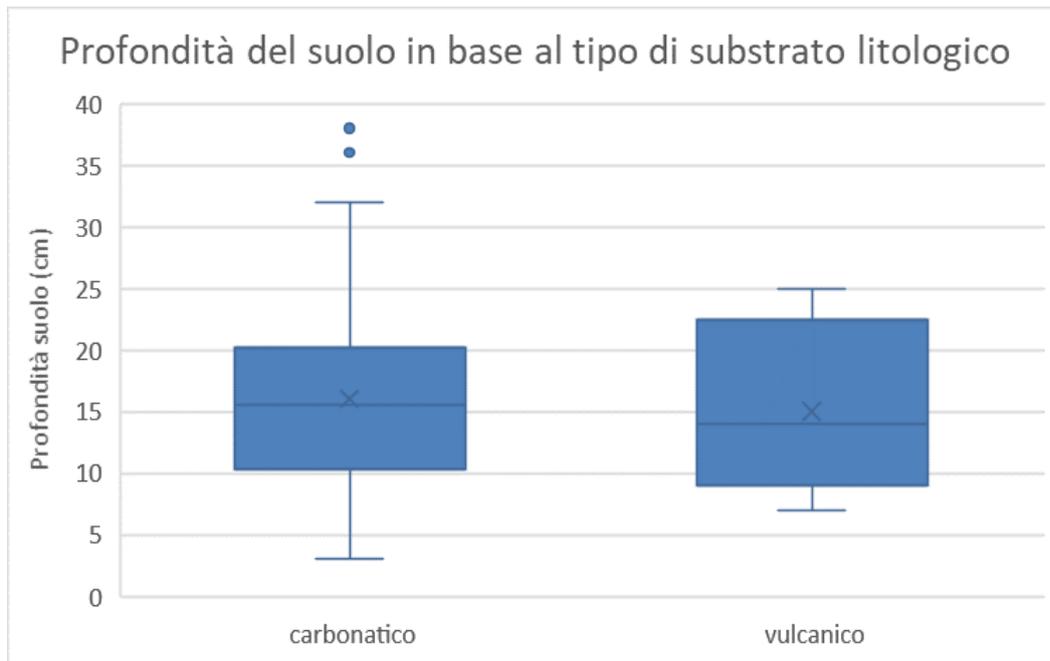


Figura 21: Grafico di confronto tra le profondità dei suoli su substrato carbonatiche e vulcanico

Dal grafico (fig. 21) si nota che la profondità del suolo non presenta sostanziali differenze in base al tipo di substrato litologico: infatti la media risulta essere molto simile. La distribuzione è leggermente diversa, in quanto i suoli carbonatici presentano sia valori più elevati che più bassi, ma questo potrebbe dipendere dal fatto che i campioni raccolti su roccia carbonatica sono stati prelevati sia a quote più basse che a quote più alte, mentre quelli raccolti su roccia vulcanica erano a quote molto simili tra loro. La probabilità che non ci sia correlazione tra la profondità del suolo e il tipo di substrato è risultata essere pari a 0.729: questo indica che c'è quasi il 73% di probabilità che la correlazione sia nulla.

In seguito è stata fatta la stessa analisi utilizzando la profondità dell'orizzonte OH e dell'orizzonte A.

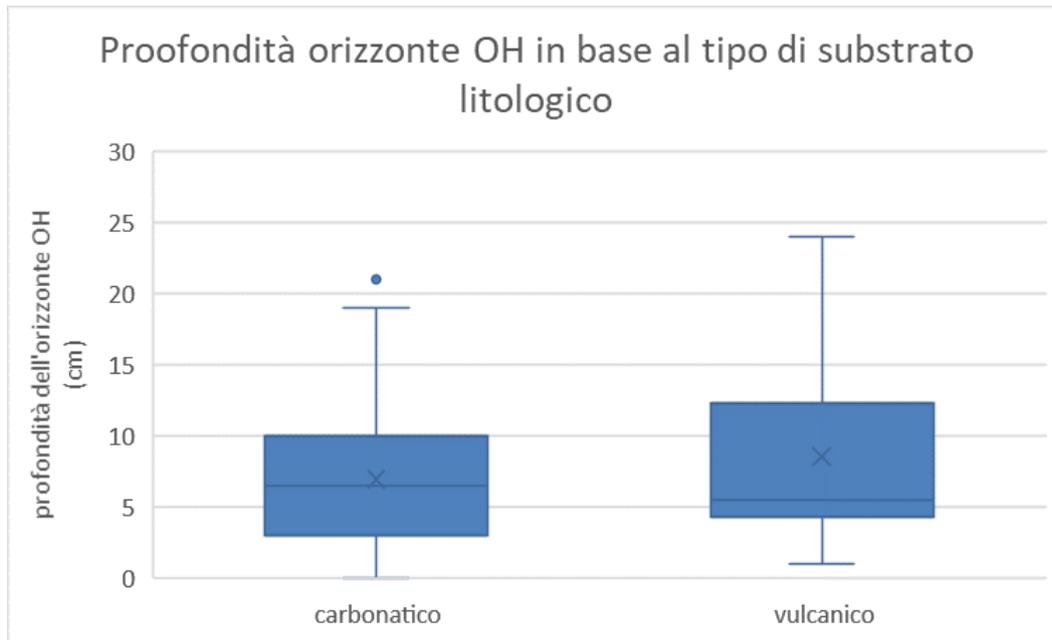


Figura 22: Grafico di confronto tra le profondità degli orizzonti OH su substrato carbonatiche e vulcanico

Osservando il grafico (fig. 22) si nota che in questo caso la profondità media dell'orizzonte OH nei due tipi di substrato litologico è leggermente diversa: infatti su rocce vulcaniche l'orizzonte OH risulta essere mediamente più profondo che su rocce carbonatiche. In questo caso la probabilità che la correlazione sia nulla risulta essere pari a 0.46 (46%), quindi possiamo sbagliare quasi una volta su due dicendo che c'è correlazione tra spessore di OH e tipo di substrato.

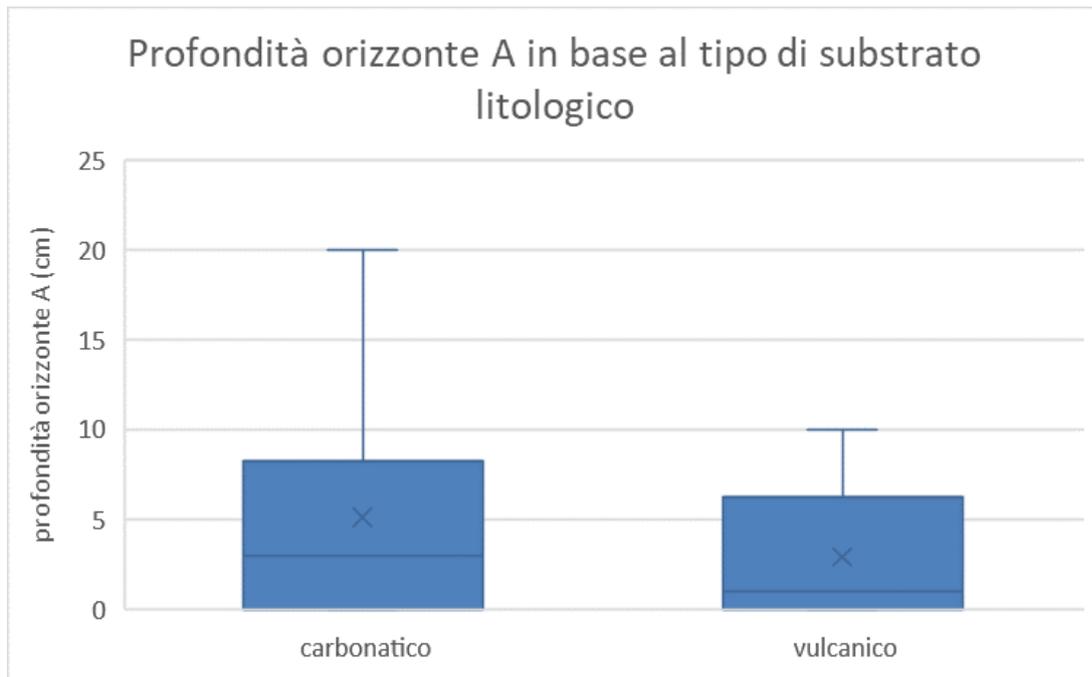


Figura 23: Grafico di confronto tra le profondità degli orizzonti A su substrato carbonatiche e vulcanico

In questo caso dal grafico (fig. 23) si nota come i valori medi dello spessore dell'orizzonte A siano leggermente più elevati su substrati carbonatici. Inoltre su rocce carbonatiche sono stati riscontrati valori estremi più elevati. In questo caso l'ipotesi di correlazione nulla è pari a 0.31.

Per analizzare le differenze di spessore del suolo in base al tipo di roccia madre si è deciso di suddividere i substrati carbonatici in base alla roccia (arenarie, dolomie e calcari) e ripetere l'analisi. Le rocce vulcaniche non sono state divise in quanto presente solo il porfido.

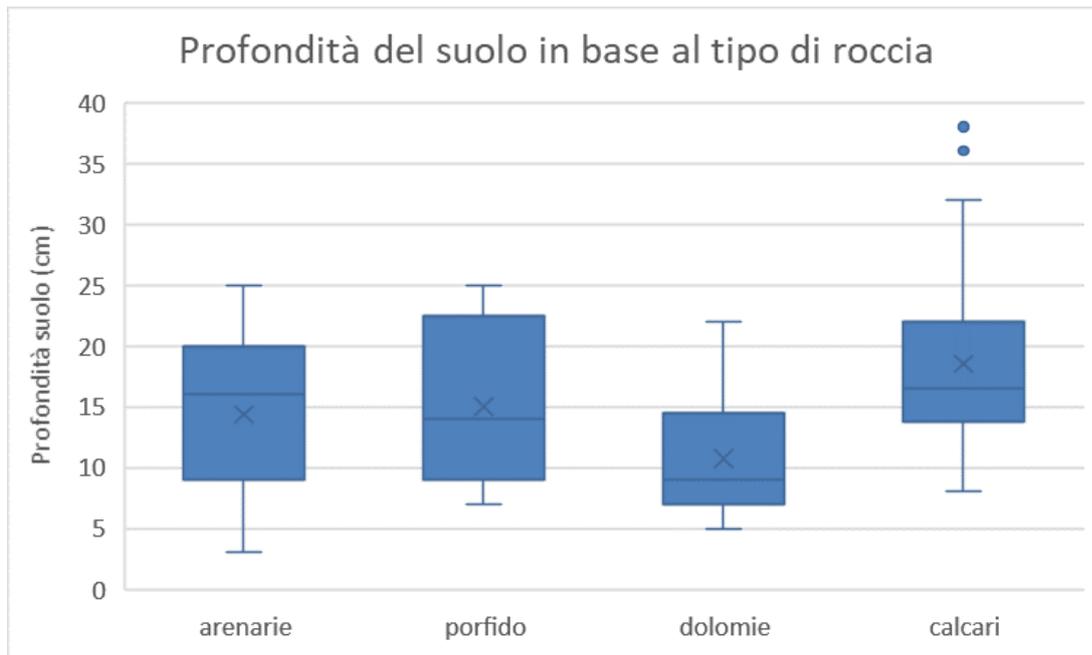


Figura 24: Grafico di confronto tra le profondità dei suoli sui diversi tipi di roccia madre

In questo caso il grafico (fig. 24) evidenzia una differenza nella profondità media del suolo, soprattutto tra dolomie e calcari, questo potrebbe però dipendere dalla quota dei campionamenti: infatti i rilievi effettuati su dolomie sono anche quelli a quote più alte, mentre quelli effettuati su rocce calcaree sono a quote mediamente inferiori. La correlazione tra la profondità del suolo e il tipo di roccia risulta pari a 0.19 (correlazione debole), e la probabilità di non correlazione vale 0,172 (17,2%). La stessa analisi è stata fatta anche per la profondità degli orizzonti diagnostici OH ed A.

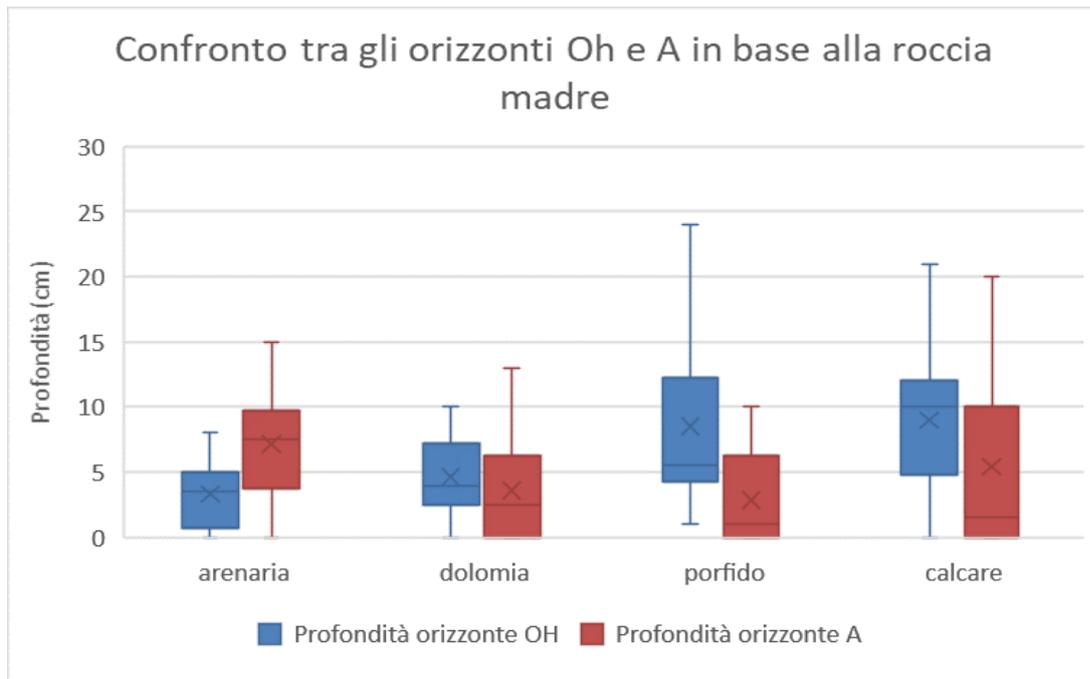


Figura 25: Grafico di confronto tra le profondità degli orizzonti OH e A sui diversi tipi di roccia madre

Il grafico (fig. 25) risulta essere abbastanza simile al precedente: infatti, come per la profondità del suolo, anche la profondità media dell'orizzonte OH presenta differenze a seconda della roccia madre. La correlazione tra la profondità dell'orizzonte OH e il tipo di roccia è di 0.15, quindi una correlazione molto debole. Tuttavia, anche in questo caso, l'ipotesi di correlazione deve essere rifiutata in quanto è risultata esserci una probabilità che non ci sia correlazione pari a 0.263 (= 26,3 %). Osservando il (grafico) si nota che lo spessore medio dell'orizzonte A è abbastanza simile in tutti i tipi di roccia madre: infatti non risulta esservi alcuna correlazione (l'ipotesi nulla ha una probabilità del 47,6 %). Se a livello di ogni tipo di roccia si confrontano i due istogrammi (OH e A), si nota che su arenarie lo spessore dell'orizzonte OH è decisamente minore rispetto a quello dell'orizzonte A, mentre sugli altri tipi di roccia madre è il contrario: questo potrebbe indicare un diverso funzionamento del suolo in corrispondenza di tali rocce. Sarebbero necessario studiare un numero più elevato di suoli su arenarie per vedere se questo risultato ha valore in generale.

4.4 Caratteristiche morfologiche delle cenge

In seguito sono state analizzate le caratteristiche morfologiche delle cenge, quali le loro quota, esposizione, larghezza e inclinazione. Tra queste variabili, le uniche a presentare una correlazione degna di nota con la profondità del suolo sono state la quota e l'esposizione. In particolare la quota risulta essere correlata con la profondità totale del suolo, mentre la correlazione è molto meno evidente se si considerano gli orizzonti OH e A separatamente.

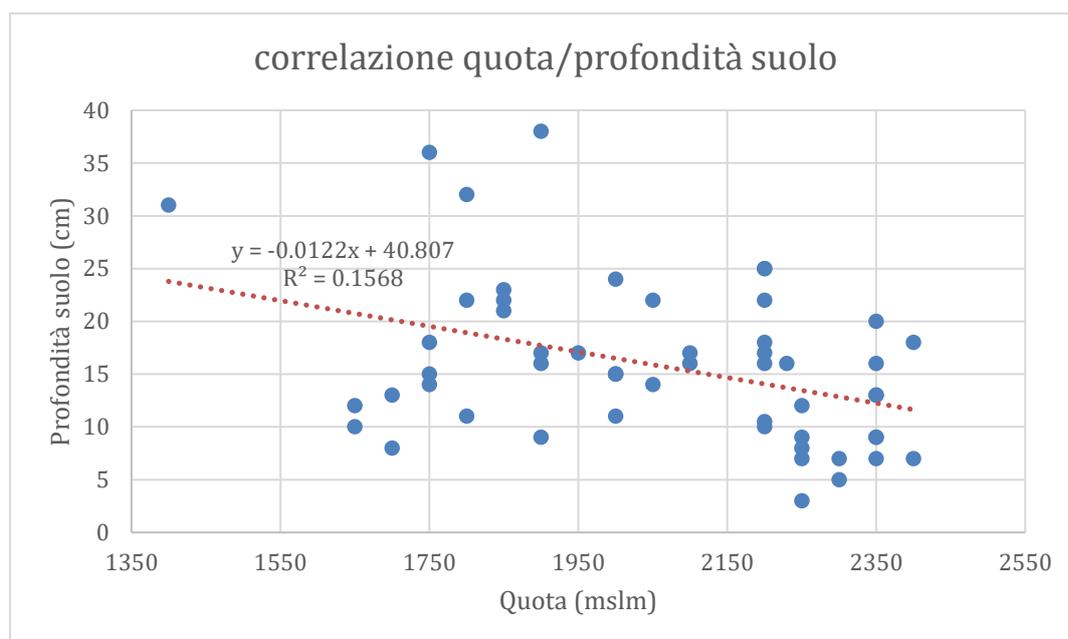


Figura 26: Grafico della relazione tra profondità del suolo e quota

Nel grafico (fig. 26) è evidenziata la linea di tendenza che esprime la correlazione presente tra le due variabili. In questo caso si nota una correlazione inversa tra la quota e la profondità del suolo pari a -0.40 : la probabilità di correlazione nulla è molto bassa (0.003). Tuttavia è da segnalare il fatto che i punti risultano essere abbastanza sparsi, e l' R^2 vale 0.1568 . L' R^2 è il rapporto tra valori (somme di valori al quadrato legati alla regressione) calcolati utilizzando il modello e gli stessi valori utilizzando invece i punti corrispondenti ai dati raccolti. Nel nostro caso solo il 16% dei valori calcolati con il modello sono in sintonia con quelli corrispondenti a dati reali.

Una correlazione inversa tra profondità del suolo e quota era abbastanza prevedibile. Questa correlazione può avere come spiegazione principale il fattore climatico:

salendo di quota la temperatura cala e questo influenza la formazione del suolo. In generale temperature più basse portano a maggiori difficoltà da parte di organismi vegetali e animali di svilupparsi: infatti la lunghezza della stagione vegetativa cala salendo di quota. Questo comporta anche una diminuzione dell'attività di decomposizione (per molti mesi all'anno il suolo risulta ghiacciato). I due eventi insieme, minore crescita e quindi minore apporto di sostanza organica (lettiera), e diminuita trasformazione della lettiera da parte della pedofauna, limitano la formazione di suoli profondi. Questa ipotesi è supportata anche dal fatto che salendo ancora di altitudine, il suolo scompare del tutto per lasciare il posto ad accumuli di detrito senza sostanza organica e poi alla roccia nuda ancora intera.

Il fatto che la linea di tendenza (fig. 26) rappresenti una percentuale abbastanza bassa di risultati potrebbe essere causato dal numero limitato di campioni raccolti. Oppure dall'interferenza di altri fattori, quali l'esposizione (suoli esposti a nord si comportano come suoli esposti a sud ma di altitudine superiore). In seguito la profondità del suolo è stata analizzata considerando separatamente gli spessori dei due orizzonti diagnostici OH ed A.

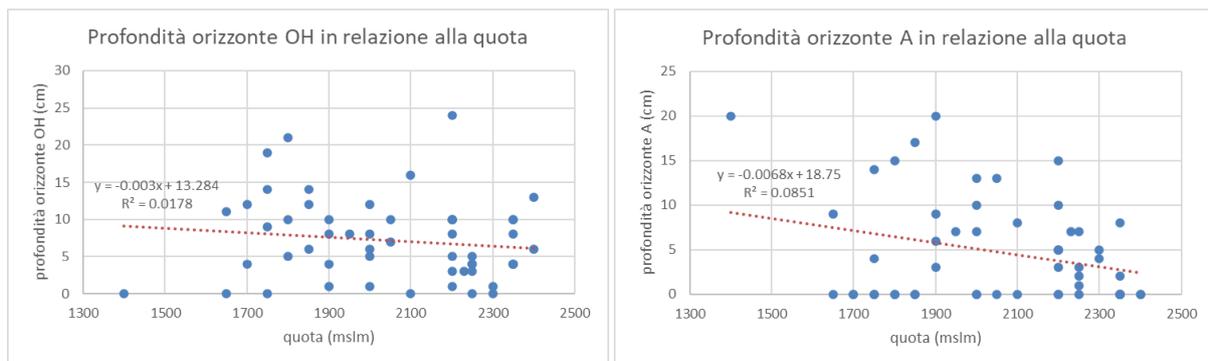


Figura 27: Grafici della relazione tra profondità degli orizzonti OH e A e la quota di campionamento

Dal grafico (fig. 27) si può vedere che per l'orizzonte OH il valore R^2 corrispondente alla retta di regressione, è molto basso (1%). Esiste una correlazione negativa debole tra spessore di OH e Quota (-0.13), ma la probabilità di una non correlazione è alta (33%). Per l'orizzonte A, nonostante l' R^2 molto basso (8%), la correlazione negativa arriva a valori più alti che per l'OH (-0.29), e la probabilità di mancanza di correlazione è invece molto bassa ($0.034 = 3\%$). Questo ci consente di sostenere che la

diminuzione della profondità del suolo con l'altitudine dipende soprattutto da una diminuzione dello spessore dell'orizzonte A.

Un'altra ipotesi formulata era la possibile correlazione tra inclinazione della cengia e la profondità del suolo e lo spessore degli orizzonti. È probabile che la morfologia dei versanti influenzi le caratteristiche del suolo e lo spessore degli orizzonti. In particolare ci aspettiamo di trovare suoli in zone di deposito o negli avvallamenti con orizzonti di più alto spessore rispetto a suoli di cima o di cresta come riscontrato anche da (Conforti et al. 2020). Pendenze maggiori possono sfavorire l'accumulo di detrito e di lettiera. Il risultato atteso è una correlazione inversa tra profondità suolo e inclinazione della cengia. In questo caso è stata calcolata la profondità media del suolo e degli orizzonti principali per ogni inclinazione della cengia (i dati dell'inclinazione sono raggruppati in classi di 5°). Osservando i risultati (fig. 28) non appare la correlazione attesa, infatti le profondità dei diversi orizzonti e del suolo risultano essere simili in tutte le classi di inclinazione.

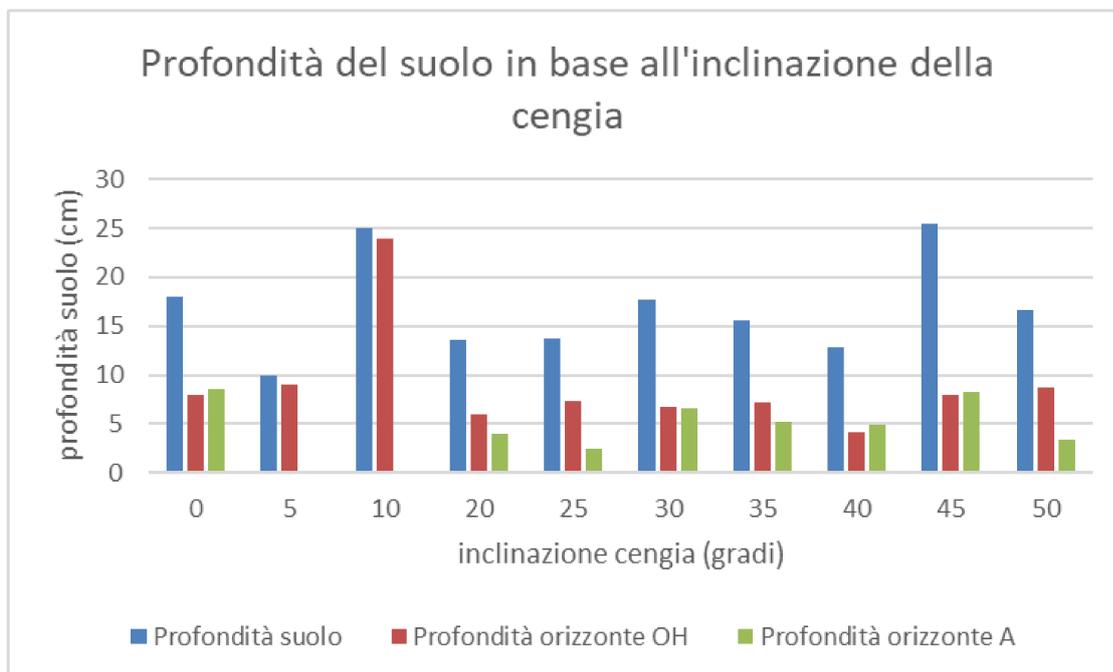


Figura 28: Grafico delle profondità del suolo e dei due orizzonti principali in bare all'inclinazione della cengia

Questo risultato ha portato a delle considerazioni riguardo l'inclinazione e la conformazione delle cenge. L'inclinazione massima misurata è di 50°, questo perché inizialmente al posto del suolo c'è solo un accumulo di detriti e l'inclinazione di un'

accumulo di detriti sciolti (ad esempio un ghiaione) è di circa 35° (pendio di Richter) (Trevisan 1979). In generale, le piante e il suolo generano e consolidano gli accumuli, e questi possono raggiungere pendenze maggiori, ma non di molto. Tuttavia quella misurata è l'inclinazione alla superficie dell'accumulo detritico e non della roccia sulla quale esso appoggia. Questo significa che la conformazione originale della cengia potrebbe essere ben diversa da come appare: infatti nella maggior parte dei casi l'inclinazione misurata era tra i 35° e i 40°. Inoltre l'inclinazione viene misurata su una distanza circa 2 m e non si tiene conto di brevissimi tratti con pendenza maggiore o minore in quanto causati, ad esempio, da apparati radicali di piante erbacee intrecciati che trattengono il suolo in alcuni punti, creando una serie di "scalini" nel suolo. Infine la misurazione di questo parametro non tiene conto delle caratteristiche della roccia madre, in particolare del fatto che ci si trovi in una situazione di franapoggio o di reggipoggio (Berruti 1994). Il termine franapoggio indica che gli strati di roccia, molto presenti nelle rocce sedimentarie, sono inclinati verso valle, quindi favoriscono lo scivolamento del materiale verso valle; con il termine reggipoggio si indica la situazione contraria, quindi quando gli strati sono inclinati verso l'interno della montagna, in questo caso, anche se la pendenza del versante è maggiore, viene favorito l'accumulo di materiale detritico. Nel nostro studio le correlazioni tra pendenza della cengia con la profondità del suolo e con gli spessori degli orizzonti è debole (intorno a 0.15), e la probabilità di non correlazione piuttosto alta (> 30%).

Un'altra caratteristica morfologica delle cenge che è stata analizzata è la larghezza, e cioè la distanza tra la parete verticale a monte e quella a valle della cengia. L'ipotesi era che una cengia più larga potesse favorire un maggiore accumulo di detriti e di lettiera e, di conseguenza, favorire la formazione di suoli più profondi. Analizzando i dati ottenuti risulta esserci una debole correlazione tra questa variabile e la profondità o lo spessore degli orizzonti OH e A. Come si può vedere dal grafico (fig. 29) lo spessore del suolo e degli orizzonti è risultato essere simile in cenge con larghezza molto diversa.

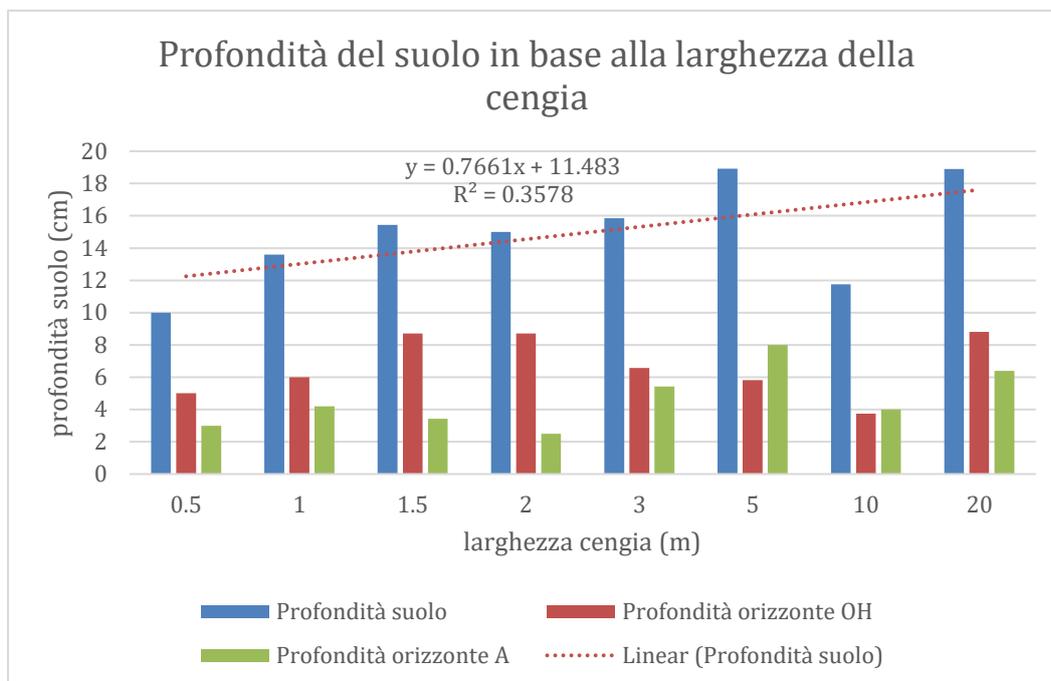


Figura 29: Grafico delle profondità del suolo e dei due orizzonti principali in base alla larghezza della cengia

Analizzando il grafico (fig. 29) sembra che la linea di tendenza della profondità del suolo evidenzia una correlazione con la larghezza. Non si capisce come mai questa tendenza si rompa a 10 metri di larghezza. Il suolo su cenge di 10 m di larghezza ritorna ad avere spessori confrontabili a quelli di suoli su cenge di 50 cm. Si tratta di quattro cenge, su substrato carbonatico, una a 1900 m di altitudine, le altre tre sopra ai 2200 m di altitudine. Molto probabilmente l'altitudine elevata non consente lo sviluppo del suolo. Il valore di correlazione tra larghezza della cengia e profondità del suolo è debole (+ 0.12)(tab 1). Se consideriamo il valore dell' R^2 , il 36% dei dati viene ben rappresentato dalla linea di regressione. La leggera correlazione potrebbe dipendere dal fatto che una cengia più larga favorisca l'accumulo di materiale e, quindi, la formazione di suolo in quanto il detrito proveniente dalla parete soprastante avrebbe più spazio e quindi più probabilità di fermarsi. Inoltre una cengia più larga potrebbe favorire il passaggio di animali che andrebbero ad aumentare la sostanza organica tramite le feci, ma anche il compattamento del suolo per calpestio (se diventa importante potrebbe avere anche effetti negativi). La probabilità di non correlazione tra larghezza della cengia e profondità del suolo o spessore degli orizzonti è molto alta: 38% per la profondità del suolo, 97% per l'orizzonte OH e 28% per l'A.

L'ultima caratteristica stazionale ad essere presa in considerazione è stata l'esposizione, cioè la direzione della linea di massima pendenza nel punto di campionamento. L'ipotesi formulata era che esposizioni più settentrionali e fredde potessero sfavorire la formazione di suolo.

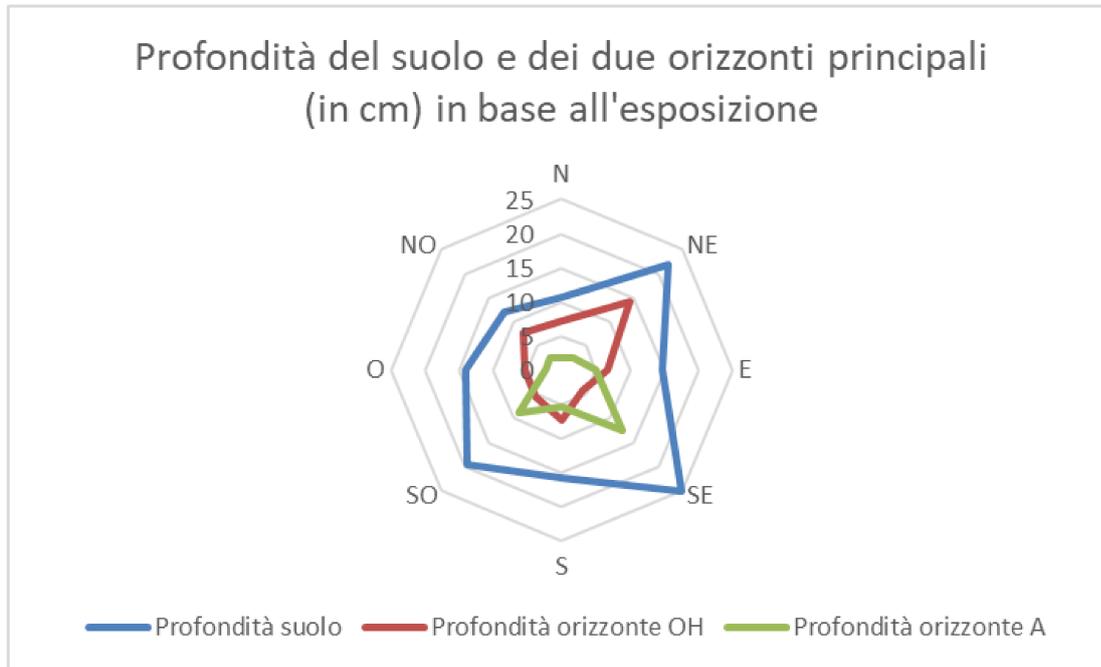


Figura 30: Profondità del suolo e di due orizzonti principali OH ed A in base all'esposizione della cengia

Dal grafico (fig. 30) si nota una differenza di spessore del suolo e degli orizzonti tra i versanti esposti a nord e quelli esposti a sud, in particolare si nota che lo spessore totale del suolo risulta essere massimo sulle cenge esposte a sud/est e minimo nelle cenge esposte a nord. Questo confermerebbe l'ipotesi che sui versanti nord le condizioni climatiche influenzino negativamente la formazione di suolo e lo sviluppo di vegetazione. Questo risultato può essere spiegato dal fatto che sui versanti esposti a nord la stagione vegetativa è più breve e le temperature medie sono più basse e, con presenza prolungata di neve e ghiaccio. Il risultato è confermato dai valori di probabilità dell'ipotesi di non correlazione tra esposizione e la profondità del suolo (0.048), o lo spessore dell'orizzonte A (0.011), i quali indicano un'alta probabilità di correlazione, che vale rispettivamente 0.26 e 0.34.

Per quanto riguarda la correlazione tra esposizione e profondità del suolo è possibile approfondire il metodo con il quale i dati sono stati analizzati: inizialmente il dato

dell'esposizione è stato annotato tramite i punti cardinali (N, NE, E, SE, S...), tuttavia per l'analisi delle correlazioni RStudio necessita di variabili numeriche, quindi si è deciso di riportare il dato utilizzando i gradi di direzione rispetto al nord ($N=0^\circ$, $NE=45^\circ$, $E=90^\circ$... $NO=315^\circ$). Una volta fatto ciò è stato possibile ricavare il valore della correlazione che è risultato essere pari a 0.02 (non in tabella), quindi praticamente nullo, questo però sembrava non corrispondere a quanto visibile dal grafico, in quanto i valori numerici estremi (0° e 315° , quindi N e NO) sono, nella realtà, divisi solamente da 45° , si è quindi deciso di indicare il valore dell'esposizione come differenza di direzione rispetto al nord. In questo modo i valori rispecchiano maggiormente le condizioni: infatti i valori estremi diventano N e S, rispettivamente 0° e 180° ed E e O assumono entrambi il valore di 90° . In seguito a questo aggiustamento la correlazione tra profondità del suolo e esposizione è risultata essere di 0.26 (tab. 1b) quindi un valore molto più alto rispetto alla prima analisi e in linea con quanto evidenziato dal grafico. Al contrario l'orizzonte OH non sembra avere alcuna correlazione rilevante con l'esposizione, mentre l'orizzonte A presenta una situazione simile alla profondità totale del suolo, in particolare risulta esserci una correlazione diretta con un valore di 0.34. Sul grafico (fig. 30) appare con evidenza l'opposizione tra i valori di spessore degli orizzonti A ed OH, collegati alla profondità totale del suolo. Un suolo profondo a NE (20-25 cm) mostra orizzonti OH con alto spessore (15 cm) rispetto a suoli in altre esposizioni. Un suolo profondo a SE (25 cm) mostra orizzonti A con alto spessore (15 cm) rispetto a suoli in altre esposizioni. Quello che si vede osservando la figura è che gli orizzonti OH ed A si oppongono: quando cresce l'uno l'altro diminuisce, e viceversa. Questo lascia pensare che l'OH possa "diventare" A, o che quando fosse presente un OH di alto spessore non "ci sia posto" per un orizzonte A.

In seguito all'analisi di questi risultati si è deciso di verificare questa possibile correlazione aggiungendo una serie di dati raccolti da altri due studenti (Brandolese 2019 e Carollo 2019) per aumentare il numero di campioni e rendere le analisi più accurate. Purtroppo a seguito di quest'ulteriore analisi il valore della correlazione è risultato essere minore sia per la profondità del suolo che per quella dell'orizzonte A, inoltre la probabilità che non vi sia correlazione è aumentata (0.23 per la profondità del suolo e 0.16 per quella dell'orizzonte A). Le correlazioni sono risultate essere rispettivamente di 0,13 e 0,15. Questi risultati potrebbero, tuttavia, essere influenzati dal fatto che una parte dei dati provenienti dagli altri due studi furono raccolti a quote decisamente inferiori. Questo potrebbe avere ridotto le differenze di spessore del

suolo tra i versanti esposti a sud e quelli esposti a nord, perché meno diversi in termini di temperature medie alle basse altitudini.

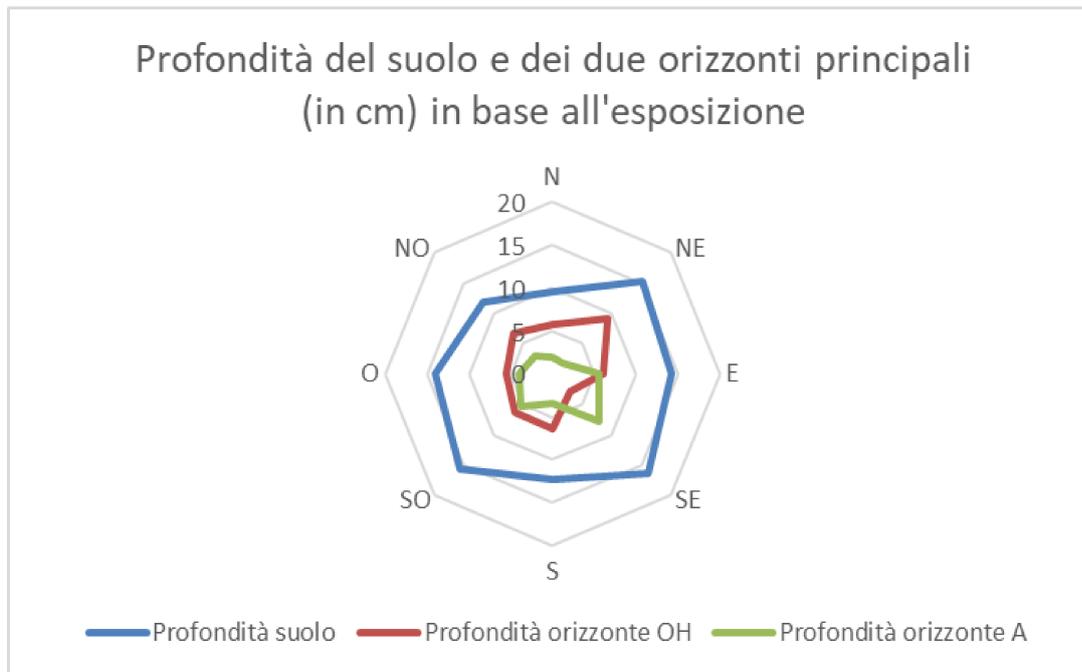


Figura 31: Grafico delle profondità del suolo e dei due orizzonti principali in base all'esposizione della cengia dopo l'aggiunta dei dati raccolti da altri due studenti

Dal grafico (fig. 31) si nota che rispetto al grafico precedente la differenza di spessore del suolo e degli orizzonti risulta essere meno forte in tutte le esposizioni. Anche in questo caso sui versanti nord si riscontrano gli spessori minimi come nel grafico precedente: in particolare i massimi si trovano ad est e ovest e i minimi a nord e sud. Il minimo a nord è presumibilmente dovuto alle temperature più basse, minore energia radiativa e maggiore permanenza di ghiaccio e neve, il minimo a sud potrebbe dipendere da una maggiore siccità. Infatti, la disponibilità di acqua in questo tipo di ambiente è molto limitata e la maggiore esposizione al sole potrebbe essere deleteria per vegetazione e, quindi, per la formazione del suolo. Gli spessori degli orizzonti A e OH sono più alti rispettivamente a SE e a NE, esattamente come prima.

4.5 caratteristiche vegetazionali

In seguito si è passati ad analizzare eventuali correlazioni tra gli spessori del suolo e degli orizzonti e le caratteristiche vegetazionali dei siti di campionamento, in particolare i dati raccolti riguardo la vegetazione sono stati: presenza/assenza di vegetazione arborea e, nel caso fosse presente, altezza degli alberi, percentuale di copertura arbustiva e, per finire, percentuale di copertura erbacea. Per quantificare le percentuali di copertura si è deciso di usare la scala di Braun-Blanquet (0%, 1%, 5%, 5-25%, 25-50%, 50-75%, 75-100%). La vegetazione arborea non è molto presente nelle cenge, in quanto questo tipo di ambiente non offre molte risorse. Infatti lo studio è stato effettuato a quote prossime al limite della vegetazione arborea: oltre i 2100m circa il clima presenta condizioni troppo estreme per gli alberi. Infatti la vegetazione presente in alta quota è soggetta a cicli di congelamento durante l'inverno che possono portare a embolia e cavitazione delle tracheidi in proporzione al loro diametro (Pittermann e Sperry 2006). Questo fenomeno combinato con la scarsità di nutrienti limita molto lo sviluppo della vegetazione. Per questo motivo si è deciso di rilevare solo la presenza di alberi e non la percentuale di copertura, in quanto sarebbe stata poco rappresentativa. L'ipotesi formulata era che lo spessore del suolo fosse correlato con la presenza di alberi e con la loro altezza, o meglio, che questo tipo di vegetazione potesse crescere solo in presenza di un suolo abbastanza profondo e ben formato.

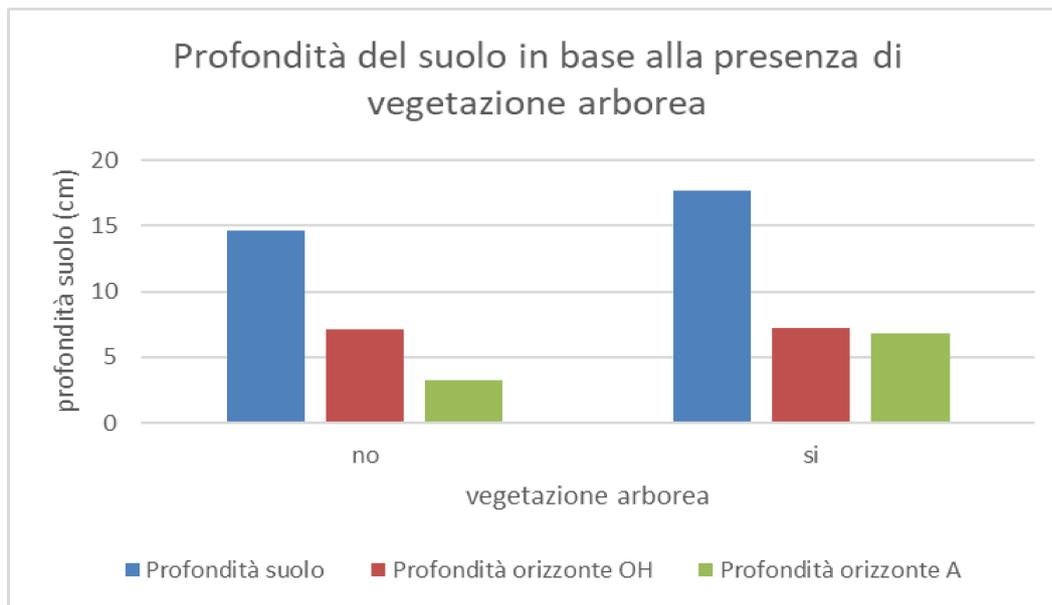


Figura 32: Profondità del suolo e degli orizzonti OH e A in base alla presenza o assenza di vegetazione arborea

Osservando il grafico (fig. 32) si nota che la profondità del suolo sembra maggiore nelle cenge con vegetazione arborea, lo stesso vale per la profondità media dell'orizzonte A che sembra maggiore nelle cenge con alberi; al contrario, lo spessore dell'orizzonte OH sembra equivalente in presenza o in assenza di alberi. Questa analisi visuale concorda con quanto trovato come correlazioni: la correlazione tra l'altezza degli alberi e la profondità del suolo risulta essere pari a 0.25, quella con lo spessore dell'orizzonte A risulta di 0.40, mentre con l'orizzonte OH la correlazione è negativa e molto bassa (0.05). L'ipotesi di correlazione nulla deve essere rigettata perché ha probabilità bassa per altezza alberi e profondità suolo (0.05) e molto bassa per altezza alberi e spessore orizzonte A (0.003).

In molti casi erano presenti specie arboree, con dimensioni molto ridotte a causa dei limiti climatici in nessuna delle cenge sono stati trovati alberi con altezza superiore ai 7/8 m; in certi casi si possono trovare alberi alti poche decine di centimetri e con incrementi annuali inferiori ai 2/3 cm e, in diversi casi sono stati trovati alberi nani e krummholz (alberi con una crescita prostrata al suolo) (Cairns 2005). Sul grafico (fig. 33) si è cercato di visualizzare una relazione lineare tra profondità del suolo o spessore degli orizzonti diagnostici A ed OH e altezza degli alberi sulle cenge.

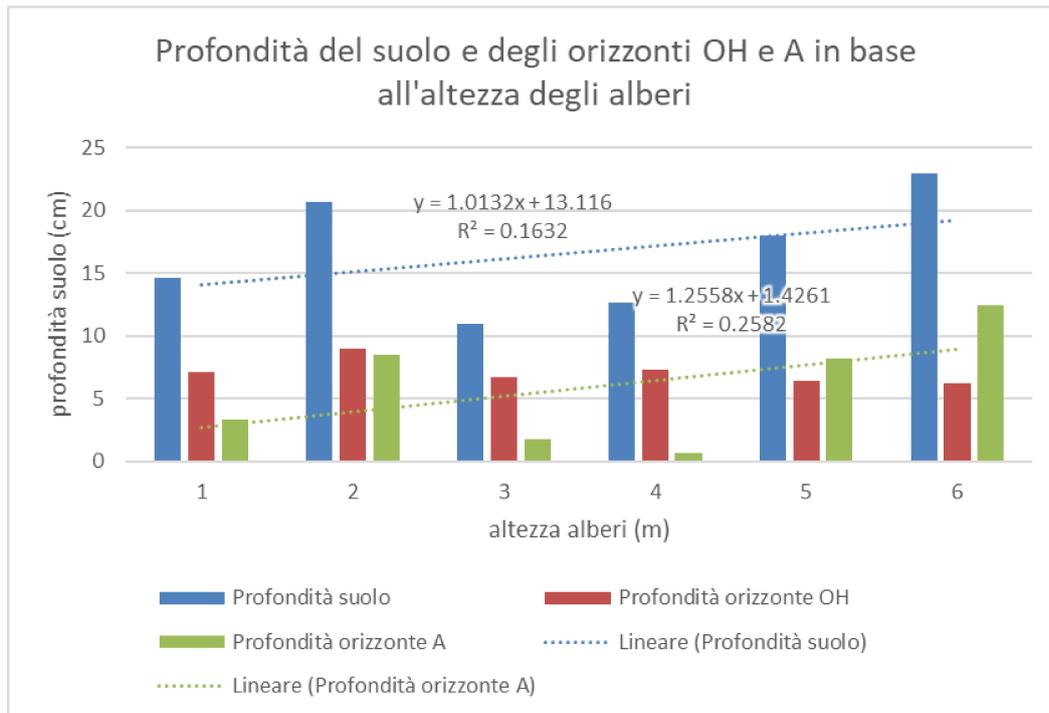


Figura 33: Profondità del suolo e spessore degli orizzonti OH e A in rapporto all'altezza degli alberi presenti

Le specie arboree trovate nei luoghi di campionamento sono specie prettamente montane, che in molti casi costituiscono gli ultimi popolamenti arborei di alta quota: sulle cenge prese in esame sono stati trovati individui di *Larix decidua*, *Pinus cembra*, *Picea abies* e, nelle cenge a quote più basse, *Salix caprea*. I motivi per i quali si trovano specie foresta sulle cenge in alta quota sono fondamentalmente due, una possibilità è che i semi siano stati trasportati lì dal vento, oppure, nel caso di semi non trasportabili dal vento come quelli del *Pinus cembra*, solitamente vengono trasportati anche in posti molto isolati e inaccessibili dagli animali che li prendono per cibarsene, li nascondono per avere scorte di cibo e poi non li utilizzano.

Sempre riguardo la vegetazione è stata analizzata la percentuale di copertura arbustiva: cioè la percentuale della superficie della cengia coperta da arbusti. Nella maggior parte dei casi si trattava di arbusti di piccole dimensioni (meno di 50 cm di altezza), in particolare gli arbusti più presenti sono stati: *Rhododendron ferrugineum*, *Rhododendron hirsutum*, *Juniperus communis*, *Pinus mugo* e *Erica carnea*. Tra questi solamente il *Pinus mugo* raggiunge dimensioni considerevoli (anche 4/5 m). Questi arbusti sono in grado di creare popolamenti molto densi, ad esempio *Rhododendron ferrugineum* e *R. hirsutum*, propagandosi per via vegetativa, (Escaravage et al. 1998)

possono creare popolamenti che coprono quasi totalmente un'area (Mayr et al. 2010). Anche il Pino mugo può creare popolamenti molto densi, ma non si propaga per via vegetativa, quindi gli individui sono più facilmente riconoscibili. Anche in questo caso l'ipotesi è che una maggior copertura arbustiva possa indicare la presenza di un suolo più profondo è stata sottoposta a verifica.

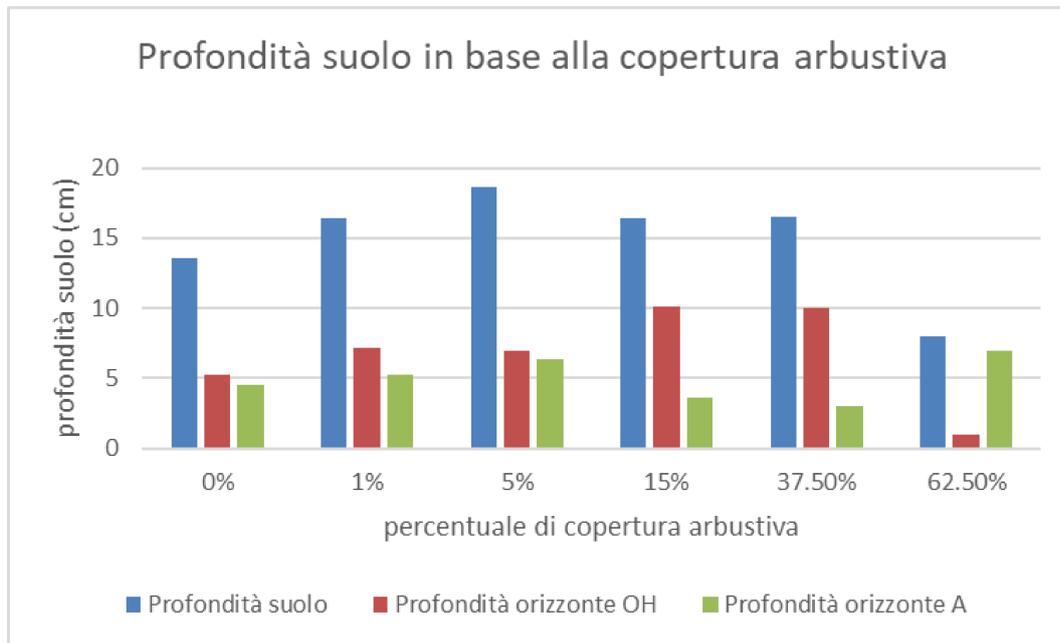


Figura 34: Profondità del suolo e lo spessore degli orizzonti OH e A in base alla percentuale di cengia coperta da vegetazione arbustiva

Osservando il grafico (fig. 34) si nota che le profondità media del suolo e degli orizzonti OH e A non sembra essere correlata con la percentuale di copertura arbustiva. Questo risultato è confermato dall'analisi delle correlazioni, che mostrano valori molto bassi tra copertura e profondità del suolo (-0.01), o spessore OH (0.14), o spessore A (-0.07), e alte probabilità (> 30% e fino al 96%) che non ci sia correlazione.

Come ultimo dato relativo alla vegetazione è stata analizzata la percentuale di copertura erbacea. Nella maggior parte dei casi le cenge prese in esame presentavano una buona percentuale di superficie coperta da vegetazione erbacea, tuttavia in alcune cenge a quote elevate ed esposte a nord, la vegetazione era quasi assente. L'ipotesi alla base di quest'analisi è che percentuale di copertura erbacea e profondità del suolo presentino una correlazione positiva, in quanto una maggiore presenza di vegetazione erbacea potrebbe favorire la formazione di suolo fornendo sostanza organica e trattenendo il suolo già presente grazie agli apparati radicali. Le

specie erbacee trovate sui siti analizzati sono molte, però si è vista una differenza abbastanza evidente tra suoli carbonatici e suoli vulcanici. Su roccia carbonatica è stata riscontrata una diversità di specie erbacee molto più elevata rispetto alle cenge su roccia vulcanica, dove, in molti casi, sono stati riscontrati popolamenti meno differenziati. Su roccia carbonatica i popolamenti puri sono stati trovati meno di frequente, in alcuni casi le specie presenti si limitavano a 2 o 3 specie, ma in quei casi era limitata anche la presenza di vegetazione in generale.

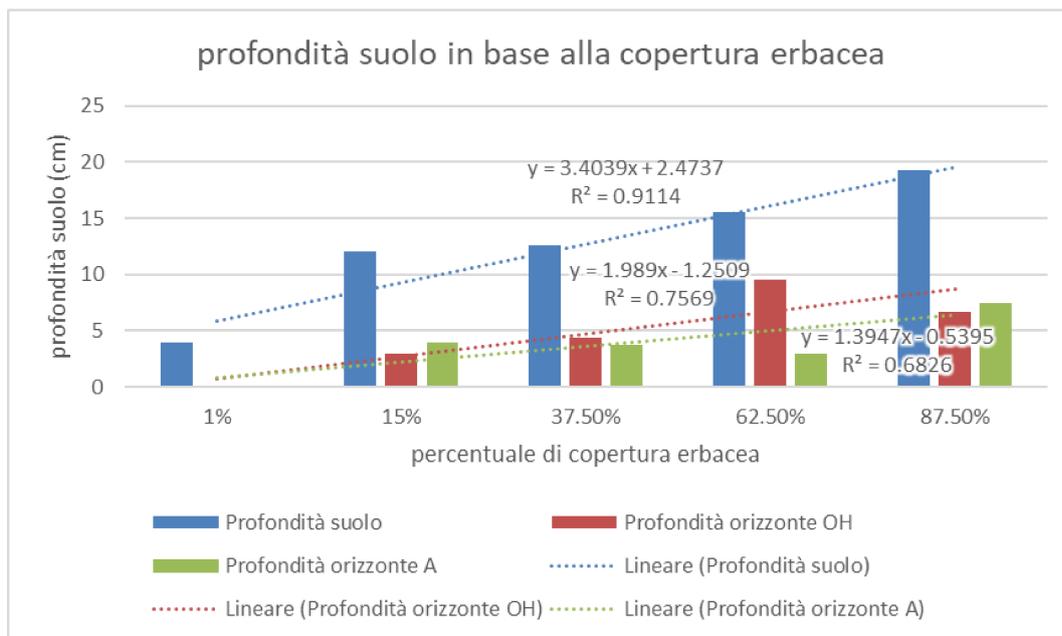


Figura 35: Profondità del suolo e spessore degli orizzonti OH e A in base alla percentuale di cengia coperta da vegetazione erbacea

Osservando il grafico (fig. 35) si nota che sia la profondità del suolo sia quella dei due orizzonti principali presenta una correlazione diretta con la percentuale di copertura erbacea. In particolare la profondità del suolo presenta una correlazione pari a 0.44 con la copertura erbacea, quindi una correlazione molto significativa; la profondità dell'orizzonte OH e dell'orizzonte A risultano essere correlate, sempre positivamente, ma in maniera meno forte e rispettivamente di 0.24 e 0.23. Inoltre i valori di R^2 , come si può vedere dal grafico (fig. 35), indicano che le rette rappresentano bene la maggior parte dei dati: in particolare la linea di tendenza della profondità dal suolo in confronto alla copertura erbacea si dimostra un buon modello per il 91% dei dati, mentre le linee dello spessore profondità degli orizzonti OH e A sono rappresentative, rispettivamente del 76% e 68% dei dati. Se confrontiamo queste analisi con quella dell'ipotesi di

correlazione nulla tra queste variabili, vediamo che la correlazione tra copertura erbacea e profondità del suolo è ben confermata (ha una probabilità di essere nulla molto bassa : 0.001); l'ipotesi di correlazione nulla è invece superiore al 5% per gli spessori di OH ed A, ma rimane inferiore al 9% (tab. 2).

4.6 pH

L'ultima parte delle analisi riguarda il pH dei suoli e l'ipotesi alla base di questo studio è che vi siano differenze di pH a seconda del tipo di substrato geologico (vulcanico o carbonatico), del tipo di roccia madre e anche tra gli orizzonti OH ed A a parità di substrato. Per prima cosa sono stati confrontati i suoli campionati su tipi di substrato. Ci si aspettava un pH decisamente più basso nei suoli di substrati acidi vulcanici. Il pH non è solo un indicatore dell'acidità del suolo, ma è correlato con molte altre caratteristiche e proprietà (Sparks et al. 2020), ad esempio la disponibilità di nutrienti (Härdtle et al. 2004). In generale i suoli hanno valori di pH tra 4 e 8.5, ma in alcuni casi si possono trovare suoli con pH inferiori a 3 o maggiori di 10 (Marzadori et al.). In questo studio i valori di pH registrati variano da 3.9 a 9.1. I valori di pH degli orizzonti OH e A sono stati analizzati separatamente. Per avere un solo valore (pH del suolo) per ogni campione, durante lo studio statistico è stata fatta la media dei valori trovati in OH ed A.

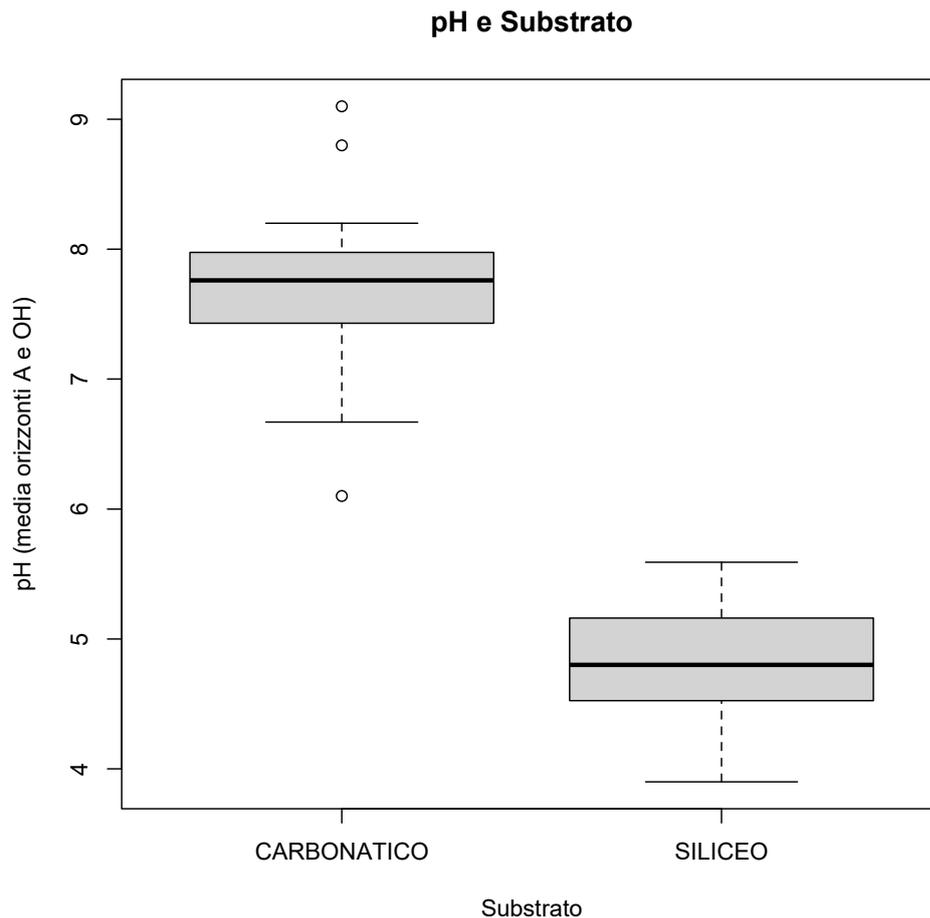


Figura 36: Confronto (boxplot) del pH di suoli su substrato carbonatico e vulcanico. Mediana (linea spessa nel riquadro), primo (basso) e terzo (alto) quartile ai lati del riquadro e intervallo di confidenza del 95% della mediana (baffi). Ci possono essere dei punti "anomali" = estremi, fuori dai baffi.

In questo caso è stato effettuato il test Kruskal-Wallis, è un test non parametrico, quindi, non serve che i dati siano in numero uguale nei gruppi, e non serve che i dati siano distribuiti in modo normale (= a campana).

Test di Kruskal-Wallis del pH verso Substrato

chi-squared = 20.077, df = 1, p-value = 7.44e-06

Il test ha evidenziato una probabilità molto bassa (0.00000744) che non vi sia correlazione tra pH e substrato.

Come atteso, il pH del suolo (media tra i due valori di pH dei due orizzonti A e OH) è risultato diverso nei due substrati (roccia madre acida o carbonatica). Anche

osservando il grafico (fig. 36) si nota una grande differenza di pH tra i suoli carbonatici e quelli vulcanici. È stata trovata anche un'alta correlazione tra pH e tipo di substrato (0.88). In seguito si è deciso di analizzare separatamente i dati dei due orizzonti per evidenziare eventuali differenze nei valori di pH anche sullo stesso tipo di substrato. Non tutti i profili avevano i due orizzonti A ed OH: i profili dei sistemi Mull non hanno l'orizzonte OH; i profili dei sistemi Mor non hanno invece l'orizzonte A; per questo sono stati presi in considerazione solo i campioni in cui erano presenti entrambi gli orizzonti diagnostici OH ed A, quindi i sistemi Moder (suoli acidi), Amphi e Tangel (suoli basici).

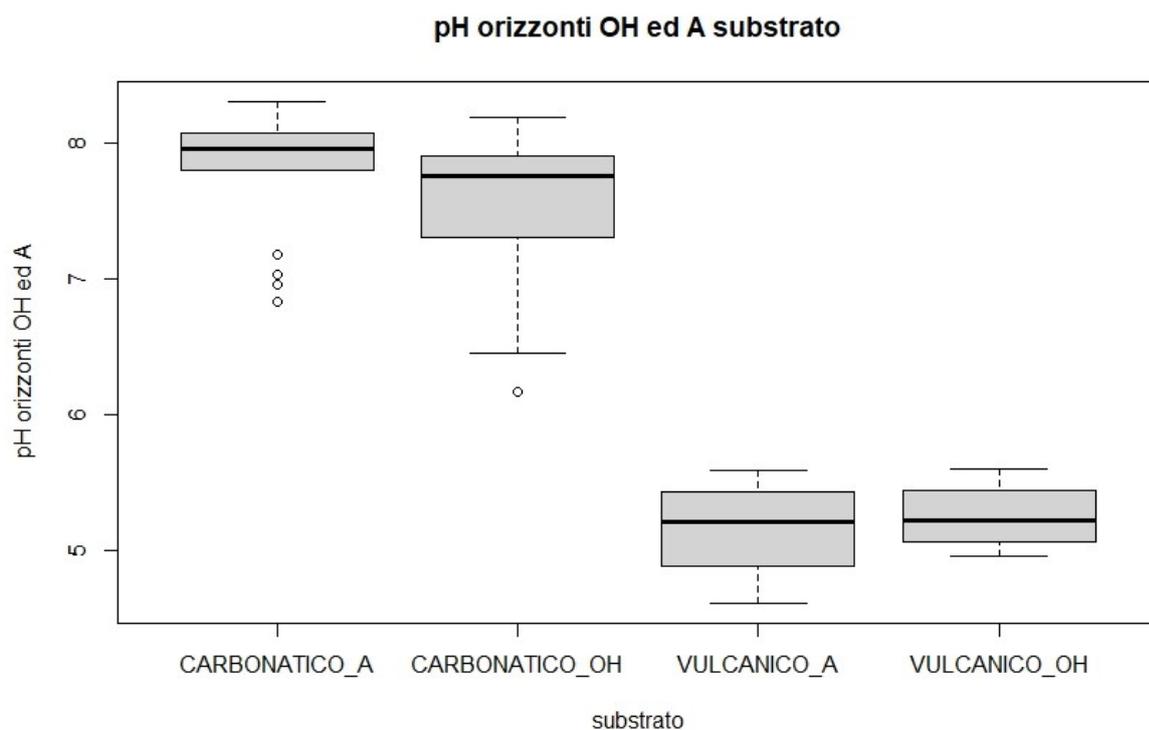


Figura 37: Confronto (boxplot) tra il pH degli orizzonti OH e A su substrati carbonatici e vulcanici

Disponendo su un grafico i valori di pH degli orizzonti OH ed A (fig. 37) si vede che questi due orizzonti avevano un pH basico (pari circa a 8) su substrati carbonatici, e un pH acido (intorno a 5) sui substrati vulcanici acidi. Nei suoli su substrati carbonatici si nota una differenza di pH anche tra i due orizzonti diagnostici. In particolare l'orizzonte A risulta essere mediamente più basico rispetto all'orizzonte OH. Questo potrebbe essere causato dalla maggior presenza di parte minerale basico nell'orizzonte A, che rende più basico tutto l'orizzonte. Per quanto riguarda i terreni

vulcanici la differenza di pH medio tra i due orizzonti è meno evidente. Per confrontare le varianze tra gli orizzonti diagnostici OH ed A sullo stesso substrato e su substrati diversi è stato effettuato un test di Tukey (tab. 3).

Tabella 3: Risultati test di Tukey per il degli orizzonti OH ed A in base al substrato

	diff	lwr	upr	p adj
CARBONATICO_OH-CARBONATICO_A	-0.2590	-0.6709	0.1528	0.3476
VULCANICO_A-CARBONATICO_A	-2.6704	-3.3985	-1.9422	0.0000
VULCANICO_OH-CARBONATICO_A	-2.5754	-3.3035	-1.8472	0.0000
VULCANICO_A-CARBONATICO_OH	-2.4113	-3.1394	-1.6832	0.0000
VULCANICO_OH-CARBONATICO_OH	-2.3163	-3.0444	-1.5882	0.0000
VULCANICO_OH-VULCANICO_A	0.0950	-0.8488	1.0388	0.9931

Si nota che la probabilità (p adj) che non vi siano differenze di pH tra gli orizzonti diagnostici OH ed A è nulla se si confrontano suoli basici con suoli acidi, mentre è abbastanza alta (0.3476) tra gli orizzonti OH ed A su substrato carbonatico e molto alta tra gli orizzonti OH ed A su substrati vulcanici (0.9931). Questo indica che non vi sono differenze di pH tra l'orizzonte OH e l'orizzonte A su suoli carbonatici.

In seguito i dati sono stati analizzati in base alla roccia madre, per evidenziare eventuali differenze anche tra le rocce carbonatiche.

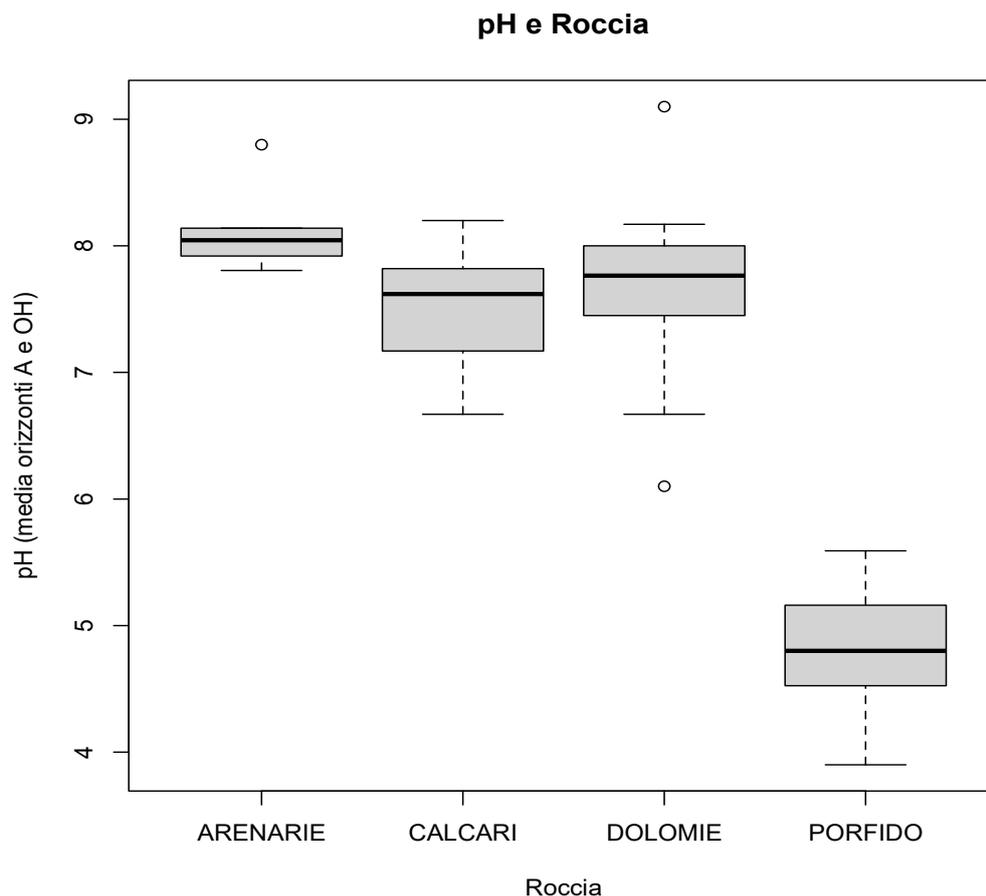


Figura 38: pH del suolo in base alla roccia madre

È stato effettuato, anche in questo caso, un test di Tukey, per confrontare le varianze dei valori corrispondenti ai diversi tipi di roccia (tab. 4).

Tabella 4: Risultati test di Tukey per il pH del suolo in base alla roccia

	diff	lwr	upr	p adj
CALCARI-ARENARIE	-0.5885	-1.2327	0.0556	0.0847
DOLOMIE-ARENARIE	-0.4798	-1.1737	0.2142	0.2683
PORFIDO-ARENARIE	-3.3183	-4.0864	-2.5503	0.0000
DOLOMIE-CALCARI	0.1088	-0.3627	0.5802	0.9274
PORFIDO-CALCARI	-2.7298	-3.3048	-2.1548	0.0000
PORFIDO-DOLOMIE	-2.8386	-3.4689	-2.2083	0.0000

Si nota che la probabilità (p adj) dell'ipotesi nulla tra rocce carbonatiche e porfido, è nulla, e bassa tra calcari e dolomie (0.0847), anche se non significativa. Questo indica che sarebbe necessario prelevare più campioni per trovare una differenza significativa di pH tra i suoli su Arenarie e Calcari; per ora, questi suoli mostrano una buona tendenza ad avere un pH diverso.

Osservando il grafico (fig. 38) si nota come i suoli prelevati su porfido presentino valori di pH decisamente inferiori agli altri tipi di roccia. I suoli campionati su rocce carbonatiche risultano avere valori medi di pH superiori sulla dolomia rispetto alle altre rocce, anche se sono presenti valori estremi che coprono la gamma di quelli degli altri tipi di roccia. Questi risultati indicano che la generalizzazione applicata in precedenza raggruppando i tre tipi di rocce carbonatiche sedimentarie non è stata influenzata in modo particolare da uno dei tre tipi di roccia. Le correlazioni tra pH e tipo di roccia sono confermate dal test che rifiuta l'ipotesi di non correlazione (tab. 2). Durante la fase di campo e di prelievo dei campioni sono state osservate delle diversità tra i terreni su substrato carbonatico e quelli su substrato vulcanico: la vegetazione che si trova su un tipo di substrato è spesso diversa da quella che si trova sull'altro. L'esempio più evidente di questa differenza è la presenza di due specie del genere *Rhododendron*: il *Rhododendron ferrugineum* cresce su terreni acidi, mentre il *Rhododendron hirsutum* predilige terreni basici. È piuttosto facile distinguere le due specie: l'*hirsutum* presenta peli sulle foglie, mentre il *ferrugineum* ha foglie glabre con il lato inferiore color ruggine. Queste piante sono quindi un ottimo indicatore della presenza di substrati acidi o carbonatici. Solamente nel caso del campione 12a sono state trovate entrambe le specie di *Rhododendron*, ed il pH del suolo misurato in laboratorio è risultato essere neutro.

Discussione

Con questo studio ho cercato di individuare delle correlazioni tra la profondità del suolo o dello spessore dei suoi orizzonti diagnostici OH ed A con le caratteristiche geolitologiche, morfologiche, vegetazionali e chimiche delle cenge, per cercare di capire cosa potesse influenzare la formazione di suolo in questi ambienti estremi. Si tratta di uno studio preliminare in quanto non si è avuto il tempo di rilevare bene le caratteristiche fisiche e chimiche di questi ambienti. Le analisi hanno evidenziato diverse correlazioni positive o negative tra le caratteristiche dei suoli e delle cenge. In diversi casi non è stato invece possibile confermare una correlazione tra le variabili studiate. Questo problema potrebbe essere dovuto principalmente al numero limitato di campioni raccolti e al gran numero di variabili che entrano in gioco nella formazione del suolo. Abbiamo raccolto 54 campioni distribuiti in 18 siti differenti, con una media di soli 3 campioni per sito. Servirebbero ulteriori indagini per aumentare il numero di campioni e rinforzare le tendenze evidenziate con le nostre analisi.

Entrando nel dettaglio dei risultati ottenuti, per quanto riguarda i substrati non sono emerse differenze di dimensioni o inclinazione a livello di cenge e neppure di profondità del suolo su substrati vulcanici o carbonatici. Questo potrebbe indicare che a livello di dinamiche di accumulo di detriti e formazione del suolo sono abbastanza simili e che, contrariamente a quanto si potesse prevedere, la profondità del suolo non dipenda dal fatto che il substrato sia acido o basico. Anche gli spessori dei due orizzonti diagnostici presi in considerazione (l'OH e l'A) non hanno mostrato differenze tra i due tipi di substrato. Entrando più nello specifico e prendendo in considerazione tutti i tipi di roccia su cui sono stati fatti i campionamenti viene confermata l'omogeneità degli spessori rilevati: solamente i campioni raccolti su dolomia sono risultati essere meno profondi, ma questa differenza di spessore potrebbe essere dovuta dalla quota. Infatti, i campioni raccolti su dolomia sono anche quelli raccolti mediamente a quote maggiori, soprattutto rispetto ai campioni fatti su calcare: i campioni raccolti su porfido erano a quote abbastanza simili a quelli su dolomia, e quindi in questo caso si potrebbe ritenere che una differenza negli spessori degli orizzonti del suolo possa esistere tra porfido e dolomia. Per poter confrontare correttamente anche i valori di arenarie e calcari bisognerebbe raccogliere altri campioni a quote maggiori per eliminare l'influenza di questa variabile. Le formazioni di calcare presenti nell'area di studio raggiungono solo localmente i 2200/2300 mslm, e le dolomie si trovano

raramente sotto i 2100/2200 mslm in quanto sotto tale quota si trovano altre formazioni geologiche che fungono da basamento alle dolomie. Analizzando separatamente gli orizzonti OH e A è emerso che i suoli su arenarie hanno un orizzonte OH di spessore più basso e un orizzonte A di più alto spessore, rispetto a suoli su altre rocce. Questo indica che la decomposizione della lettiera e la sua integrazione nell'orizzonte A avviene più velocemente in questa roccia madre. Questa particolarità è di grande interesse in quanto la sostanza organica è una delle componenti di maggiore importanza nel suolo e ne influenza molte proprietà chimiche, fisiche e biologiche (Fumanti et al. 2014). La decomposizione della lettiera comprende tutti i meccanismi fisici, chimici e biologici che liberano nutrienti in forma minerale dalla materia organica trasformando i residui in forme a crescente stabilità (Panzacchi et al. 2010). Quello che si può dire è che la quantità di sostanza organica influenza le proprietà del suolo, ad esempio, la quantità di nutrienti disponibili alla vegetazione o la capacità di trattenere acqua (Fumanti et al. 2014) e (Panzacchi et al. 2010).

Dai risultati riguardo l'analisi delle caratteristiche morfologiche delle cenge sono emerse due correlazioni interessanti: la correlazione inversa con la quota e la correlazione con l'esposizione (in questo caso non ha senso parlare di correlazione diretta o inversa, in quanto l'esposizione è un valore circolare, quindi non c'è un massimo e un minimo). Si può sostenere che salendo di quota la profondità del suolo tenda a diminuire, anche se la retta di regressione presenta un R^2 basso e pari a 0.15. L'intervallo di quote in cui sono stati raccolti i campioni è relativamente ristretto (tra i 1500 e i 2400 mslm), e ciò significa che questa tendenza potrebbe non esistere a quote inferiori. In questo studio non sono stati raccolti campioni a quote inferiori perché le cenge si trovano dove ci sono pareti rocciose e al di sotto dei 1500 mslm non se ne trovano molte, soprattutto se si vogliono confrontare diversi tipi di roccia. Inoltre, questa fascia altitudinale comprende i due principali limiti di vegetazione, quello degli alberi (Grace et al. 2002) e (Zilioli and Bini 2009) e, nei versanti esposti a nord, anche il limite della vegetazione erbacea. Al limite di vegetazione potrebbe corrispondere anche un limite di spessore del suolo. È lecito immaginare che in ambienti come le cenge ci sia uno spessore massimo del suolo: non avendo alcun supporto a valle, superato tale spessore il suolo tenderebbe ad essere dilavato e a franare. Questo limite allo spessore del suolo sembra essere di circa 40 cm (fig. 20), e sembra indipendente dai sistemi di humus e dal tipo di substrato.

Sui versanti nord i suoli sono mediamente meno profondi. Anche in questo caso il risultato potrebbe in parte dipendere dalla quota. Sappiamo però che per molti mesi all'anno i versanti nord sono ricoperti da ghiaccio e neve, mentre le cenge esposte a sud alla stessa quota sono spesso libere dalla neve anche in pieno inverno. Questa differenza era visibile già in fase di campionamento in alcune aree, in particolare alle quote più elevate le cenge esposte a nord erano quasi del tutto prive di vegetazione, mentre quelle esposte a sud (alla stessa quota) solitamente erano quasi completamente inerbite.

A livello di vegetazione è emersa una correlazione con la presenza e l'altezza degli alberi. Bisogna però chiarire che il fattore legato alla profondità del suolo non è tanto la presenza in sé di vegetazione arborea, quanto la dimensione che questi alberi raggiungono. In molti casi, infatti, gli alberi trovati sulle cenge erano di dimensioni molto piccole (anche meno di 1 m), mentre solo in rari casi sono stati trovati alberi di altezza superiore ai 5 m. Il fatto che molti alberi non crescano in altezza, ma restino molto piccoli potrebbe dipendere principalmente dal clima: infatti in climi freddi le forme arbustive hanno dei vantaggi termici (Grace et al. 2002). L'analisi della percentuale di copertura arbustiva (non dell'altezza degli arbusti, che non è stata misurata) non ha però evidenziato correlazioni con la profondità del suolo, mentre la percentuale di copertura erbacea è risultata essere fortemente collegata alla profondità del suolo e degli orizzonti OH e A. Questo presumibilmente dipende dal fatto che le piante erbacee sono le prime a colonizzare un suolo appena formato e che lo costruiscono con le loro radici (Huo et al. 2017; Eze et al. 2018; Zanella et al. 2018a).

Rispetto a quelli di piante arbustive o arboree, i semi delle piante erbacee sono tendenzialmente più leggeri e vengono più facilmente trasportati dal vento anche in posti poco accessibili. Inoltre, una volta cresciute le prime erbe queste aiutano la formazione di suolo sia tramite l'apporto di sostanza organica, sia stabilizzando i detriti con l'apparato radicale.

Infine è stato analizzato il pH degli orizzonti OH ed A e sono emerse differenze tra i suoli su terreno vulcanico e quelli su terreno carbonatico. Tuttavia a livello di profondità del suolo e di spessore degli orizzonti OH e A il pH non sembra avere grande influenza. Se si confrontano le profondità dei suoli con pH acido con quelle dei suoli con pH basico non si notano grandi differenze. Questo suggerisce che la profondità del suolo sia influenzata più dalla vegetazione in generale che non dal tipo di piante o dal tipo di substrato litologico, quindi dalla quantità di materiale organico prodotto dalle

piante e messo a disposizione della pedofauna e dei microrganismi per formare nuovo suolo.

Conclusioni

Lo scopo di questo studio consiste nell' indagare le variabili geologiche, morfologiche e vegetazionali che influenzano la formazione di suolo sulle cenge di alta montagna. La difficoltà principale della ricerca è stata di raccogliere un numero sufficiente di campioni per poter analizzare statisticamente tali variabili e, contemporaneamente, di scegliere siti di campionamento in modo che ogni variabile non venisse eccessivamente influenzata dalle altre. Ovvero, per studiare le caratteristiche del suolo in base alla quota è stato necessario campionare cenge a quote diverse, ma per studiare altre variabili (ad esempio l'esposizione), sarebbe stato preferibile raccogliere tutti i campioni alla stessa quota per eliminare l'influenza della variabile quota. E' stato necessario quindi trovare un compromesso nell'individuazione dei siti, che ha permesso di analizzare tutte le variabili oggetto dello studio. Una buona parte dei risultati non è statisticamente provata per via del numero limitato di campioni.

Per rendere lo studio più completo, l'ideale sarebbe di aumentare il numero di campioni e di concentrarsi su una variabile alla volta. In questo caso non è stato possibile raccogliere un numero maggiore di campioni fondamentalmente per ragioni di tempo: in un ambiente come le cenge di montagna il tempo necessario per effettuare un campionamento è molto superiore rispetto ad ambienti più accessibili, soprattutto a causa del percorso di avvicinamento all'area di studio. In molti casi, per recarsi nei luoghi di prelievo dei campioni, è stato necessario arrampicare, o comunque procedere in sicurezza tramite l'uso di corde e imbrago e l'avvicinamento alle pareti di roccia è stato necessariamente percorso a piedi. Questo ha condizionato anche la quantità di campioni che sono stati raccolti, poiché tali campioni devono essere riportati a valle in uno zaino, spesso dovendo effettuare passaggi tecnici di arrampicata con questo sulle spalle; se fosse stato raccolto troppo materiale questo avrebbe reso difficile e pericoloso il rientro a valle a causa del peso eccessivo (il numero massimo di campioni raccolti in un'uscita è stato di 7).

Per quanto riguarda il presente studio, una delle eventuali applicazioni potrebbe essere la valutazione della possibile migrazione della vegetazione di montagna a quote superiori rispetto alle attuali, in risposta ai cambiamenti climatici. Alcuni studi, infatti, dimostrano che la vegetazione arborea sta salendo di quota grazie alle temperature meno rigide e tuttavia questo non avviene allo stesso ritmo delle temperature: queste ultime crescono più velocemente di quanto non salga il limite

della vegetazione (Hättenschwiler and Körner 1995) e (Grace et al. 2002). Questo potrebbe dipendere dal fatto che la formazione del suolo ha tempi molto lunghi per consentire alla vegetazione di salire di quota. Se le temperature dovessero aumentare troppo velocemente le specie che ora costituiscono il limite della vegetazione potrebbero avere problemi di sopravvivenza, non riuscendo ad adattarsi e non potendo spostarsi, in tempi brevi, in luoghi più freddi per mancanza di suolo. Sia vegetazione che suolo dipendono principalmente da substrato e clima (D'Amico et al. 2009) e (D et al. 2008), quindi quasi sicuramente i cambiamenti climatici avranno effetti su entrambe queste componenti dell'ecosistema. Da alcuni studi, inoltre, è emersa una correlazione tra contenuto di carbonio nel suolo e regime delle piogge (Fantappiè et al. 2010) e, considerando che i suoli contengono quantità maggiori di carbonio organico sia rispetto all'atmosfera che rispetto alla vegetazione (Fantappiè et al. 2010), questo sarà un dato molto importante da analizzare per prevedere le possibili variazioni delle caratteristiche del suolo a causa dei cambiamenti climatici.

In conclusione questo studio potrebbe essere considerato preliminare all'individuazione delle variabili su cui concentrarsi in un eventuale successiva fase di approfondimento dello studio dei suoli di cengia, (non ci sono infatti, per ora, molte analisi riguardanti questo argomento) e, in particolare, per l'individuazione delle dinamiche di neoformazione del suolo in luoghi che attualmente ne sono privi (per esempio, ad altitudini superiori a quelle prese in considerazione in questo lavoro).

Appendice: qualche informazione sulla fauna

Le cenge costituiscono una parte importante degli ambienti di montagna anche per quanto riguarda la fauna selvatica sia permettendone gli spostamenti sia come aree di riposo che come luoghi di approvvigionamento.

Per quanto riguarda i movimenti, infatti, le cenge costituiscono dei camminamenti naturali che permettono a molti animali di attraversare aree altrimenti non percorribili attraverso le pareti di roccia. Di fatto costituiscono dei corridoi ecologici che collegano varie zone dell'ambiente montano. Questo porta vantaggi all'ecosistema in quanto la rete di passaggi costituisce una sorta di rete ecologica che collega in modo più diretto parti dell'ecosistema altrimenti isolate o più difficili da raggiungere. Ad esempio non è raro vedere gruppi di camosci e stambecchi (fig. 39) che percorrono le cenge per raggiungere piccole aree prative altrimenti isolate o che attraversano pareti rocciose senza dover scendere nel fondovalle per poi risalire; non è raro neppure trovare le tracce della volpe che usa questi passaggi per raggiungere velocemente aree di caccia altrimenti isolate alla ricerca di lepri variabili, pernici bianche (fig. 40) o piccoli roditori. Inoltre questi ambienti costituiscono luoghi di riposo o di approvvigionamento, soprattutto durante l'inverno: infatti le cenge esposte a sud si liberano velocemente dalla neve perché le pareti rocciose si scaldano al sole e la neve si scioglie prima che in altri luoghi, permettendo a molti animali di cibarsi senza dover scavare nella neve stessa per raggiungere il sottostante strato vegetale.



Figura 39: stambecco su una cengia libera dalla neve nei mesi invernali



Figura 40: Pernice bianca in abito estivo

Ringraziamenti

Innanzitutto ringrazio la mia famiglia, in particolare i miei genitori che mi hanno sempre supportato e spronato durante questo percorso di studi.

Ringrazio inoltre il Professor Zanella che mi ha supportato e aiutato durante questo studio. Inoltre ringrazio il Parco Nazionale Dolomiti Bellunesi e il Parco Naturale Paneveggio Pale di San Martino per avermi permesso di campionare all'interno dei due parchi naturali.

Bibliografia

- 1984TettonicaTranspressiva-with-cover-page-v2.pdf. (At: <https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/32627713/1984TettonicaTranspressiva-with-cover-page-v2.pdf>).
- 111019_La_reazione_del_suolo.pdf. (At: https://scienzadelsuolo.org/docs/commissioni/111019_La_reazione_del_suolo.pdf).
- A, Z., R, S., L, T., B, J. & F, V. 2008. Struttura degli orizzonti diagnostici e classificazione delle forme di humus. *Forest@ - Journal of Silviculture and Forest Ecology*, **5**, 68.
- Analysis of Freeze-Thaw Embolism in Conifers. The Interaction between Cavitation Pressure and Tracheid Size | Plant Physiology | Oxford Academic. (At: <https://academic.oup.com/plphys/article/140/1/374/6114989?login=true>).
- Berruti, G. ALCUNI CASI DI DEFORMAZIONE DI VERSANTE NELLE ALPI MERIDIONALI BRESCIANE A SUD DELL'ADAMELLO*. 13.
- Brandolese A. 2019. Studio preliminare di suoli di cengia. Esempi di forme di Humus su roccia madre acida. Relatore Zanella A. Dipartimento Territorio e Sistemi Agro-Forestali, Facoltà di Agraria, Università degli studi di Padova, Legnaro.
- Businelli, M. 2007. *Principi di chimica del suolo*. Morlacchi Editore.
- Cairns, D.M. 2005. Simulating carbon balance at treeline for krummholz and dwarf tree growth forms. *Ecological Modelling*, **187**, 314–328.
- Cevasco, R. & Moreno, D. 2014. Pendici liguri: riscoprire le relazioni tra suoli e copertura vegetale. *Uomini e Ambienti. Dalla Storia al Future*, 46–67.
- Carollo S. 2019. Studio preliminare di suoli di cengia. Esempi di forme di Humus su roccia madre basica. Relatore Zanella A. Dipartimento Territorio e Sistemi Agro-Forestali, Facoltà di Agraria, Università degli studi di Padova, Legnaro.
- Clonal diversity in a *Rhododendron ferrugineum* L. (Ericaceae) population inferred

from AFLP markers - ESCARAVAGE - 1998 - Molecular Ecology - Wiley Online Library.

Conforti, M., Longobucco, T., Scarciglia, F., Niceforo, G., Matteucci, G. & Buttafuoco, G. 2020. Interplay between soil formation and geomorphic processes along a soil catena in a Mediterranean mountain landscape: an integrated pedological and geophysical approach. *Environmental Earth Sciences*, **79**, 59.

D, C., P, C., L, F. & S, N. 2008. Studio della componente organica del suolo di faggete trentine in correlazione al trattamento selvicolturale. *Forest@ - Journal of Silviculture and Forest Ecology*, **5**, 20.

D'Ambrogi, C. & Doglioni, C. Struttura delle Vette Feltrine. 5.

D'Amico, M.E., Calabrese, F. & Previtali, F. 2009. Suoli di alta quota ed ecologia del Parco Naturale del Mont Avic (Valle d'Aosta). 16.

Esposito, A., Ciccazzo, S., Borruso, L., Zerbe, S., Daffonchio, D. & Brusetti, L. 2013. A Three-Scale Analysis of Bacterial Communities Involved in Rocks Colonization and Soil Formation in High Mountain Environments. *Current Microbiology*, **67**, 472–479.

Eze, S., S. M. Palmer, and P. J. Chapman. 2018. Soil organic carbon stock and fractional distribution in upland grasslands. *Geoderma*. 314.

Fantappiè, M., L'Abate, G. & Costantini, E. 2010. Variazioni di carbonio organico nei suoli italiani dal 1979 al 2008. *Biologi Italiani*, 45–54.

Filippa, G., Freppaz, M. & Zanini, E. 2009. Suolo e neve in ambiente alpino: effetti sul ciclo dell'azoto. 10.

Fumanti, F., Giandon, P., Vinci, I. & Di Leginio, M. 2014. L'IMPORTANZA DELLA SOSTANZA ORGANICA NEI SUOLI: LA SITUAZIONE IN ITALIA E IL PROGETTO SIAS. *reticula*.

GRACE, J., BERNINGER, F. & NAGY, L. 2002. Impacts of Climate Change on the Tree Line. *Annals of Botany*, **90**, 537–544.

- Hättenschwiler, S. & Körner, C. 1995. Responses to recent climate warming of *Pinus sylvestris* and *Pinus cembra* within their montane transition zone in the Swiss Alps. *Journal of Vegetation Science*, **6**, 357–368.
- Huo, C., Y. Luo, and W. Cheng. 2017. Rhizosphere priming effect: A meta-analysis. *Soil Biol. Biochem.* 111:78–84 Available online at: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0038071717304662>.
- Kowalska, J.B., Zaleski, T., Józefowska, A. & Mazurek, R. 2019. Soil formation on calcium carbonate-rich parent material in the outer Carpathian Mountains – A case study. *CATENA*, **174**, 436–451.
- Mayer, M., Matthews, B., Rosinger, C., Sandén, H., Godbold, D.L. & Katzensteiner, K. 2017. Tree regeneration retards decomposition in a temperate mountain soil after forest gap disturbance. *Soil Biology and Biochemistry*, **115**, 490–498.
- Mayr, S., Beikircher, B., Obkircher, M.-A. & Schmid, P. 2010. Hydraulic plasticity and limitations of alpine *Rhododendron* species. *Oecologia*, **164**, 321–330.
- Nachtergaele, F. 2010. *The classification of Leptosols in the World Reference Base for Soil Resources*.
- Panzacchi, P., Scandellari, F. & Tonon, G. Contributo della decomposizione della lettiera alla nutrizione minerale delle colture arboree. 12.
- Relationship between pH-values and nutrient availability in forest soils – the consequences for the use of ecograms in forest ecology - ScienceDirect. (At: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0367253004701061>. Accessed: 3/2/2022).
- Sparks, D.L., Page, A.L., Helmke, P.A. & Loeppert, R.H. 2020. *Methods of Soil Analysis, Part 3: Chemical Methods*. John Wiley & Sons.
- Stock_attuale_di_carbonio_nei_suoli_di_m20151202-24301-jh62u6.pdf. (At: https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/40596241/Stock_attuale_di_carbonio_n_ei_suoli_di_m20151202-24301-jh62u6.pdf?1449128770=&response-content-

disposition=inline%3B+filename%3DStock_attuale_di_carbonio_nei_suoli_di_m.pdf).

Trevisan, L. LE CENGIE NEI VERSANTI IN CALCARI E DOLOMIE. 1.

Trombetta, G.L. & Masetti, D. GEOLOGIA, STRATIGRAFIA E SEDIMENTOLOGIA DEL TRIASSICO MEDIO DELLA VALLE DI SAN LUCANO (GRUPPO DELLE PALE DI SAN MARTINO, PROVINCIA DI BELLUNO). 17.

VILLANI_191-219.pdf.

(At:https://www.openstarts.units.it/bitstream/10077/14954/1/VILLANI_191-219.pdf).

Zanella, A., K. Katzensteiner, J.-F. Ponge, B. Jabiol, G. Sartori, E. Kolb, R.-C. Le Bayon, et al. 2019. TerrHum: An iOS application for classifying terrestrial humipedons and some considerations about soil classification. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 83.

Zanella, A., J.-F. Ponge, I. Fritz, N. Pietrasiak, M. Matteodo, M. Nadporozhskaya, J. Juilleret, et al. 2018a. *Humusica 2*, article 13: Para humus systems and forms. *Appl. Soil Ecol.* 122(Part 2):181–199 Available online at: www.elsevier.com/locate/apsoil; last accessed April 12, 2018.

Zanella, A., J.-F. Ponge, J.-M. Gobat, J. Juilleret, M. Blouin, M. Aubert, O. Chertov, and J. L. Rubio. 2018b. *Humusica 1*, article 1: Essential bases – Vocabulary. *Appl. Soil Ecol.* 122(Part 1):10–21 Available online at: <https://www.researchgate.net/publication/320848305>.

Zanella, A., J.-F. Ponge, B. Jabiol, G. Sartori, E. Kolb, R.-C. Le Bayon, J.-M. Gobat, et al. 2018c. *Humusica 1*, article 5. Terrestrial humus systems and forms – Keys of classification of humus systems and forms. *Appl. Soil Ecol.* 122:75–86.

Zanella, A., J.-F. Ponge, B. Jabiol, G. Sartori, E. Kolb, J.-M. Gobat, R.-C. Le Bayon, et al. 2018d. *Humusica 1*, article 4: Terrestrial humus systems and forms — Specific terms and diagnostic horizons. *Appl. Soil Ecol.* 122(Part 1):56–74 Available online at: <https://www.researchgate.net/publication/318658907>.

Zilioli, D.M. & Bini, C. 2009. Dieci anni di ricerche pedologiche in ambiente alpino: considerazioni sulla distribuzione e sull'evoluzione dei suoli nella regione dolomitica. 8.

Sitografia

[KoBoToolbox](https://kf.kobotoolbox.org/accounts/login/?next=%2F%23%2F#/), <https://kf.kobotoolbox.org/accounts/login/?next=%2F%23%2F#/>

[Servizio di scaricamento WFS - Geoportale Nazionale \(minambiente.it\)](http://www.pcn.minambiente.it/mattm/servizio-di-scaricamento-wfs/),

<http://www.pcn.minambiente.it/mattm/servizio-di-scaricamento-wfs/>

[Surflt \(ingv.it\)](http://tinality.pi.ingv.it/download.html), <http://tinality.pi.ingv.it/download.html>