UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI MILANO
FACOLTÀ DI SCIENZE AGRARIE E ALIMENTARI

Corso di Laurea in

Valorizzazione e tutela dell'ambiente e del territorio montano (classe l-25)

INDAGINE PEDOLOGICA E FLORISTICA DEI SUOLI DEL PALON DI TZÉRE NEL VALLONE DELLE CIME BIANCHE (AO)

Relatore: Prof. Michele Eugenio D'amico

Candidata: Margherita Cetti

Matricola: 33254A

A.A. 2025-2026

0. RIASSUNTO 5
1. INTRODUZIONE 6
2. PREMESSE 8
2.1 PEDOGENESI SU SERPENTINITE 8
2.2 VEGETAZIONE SU SERPENTINITE 10
2.3 FINALITÀ DELLO STUDIO 12
3. AREA DI STUDIO 13
3.1 SUBSTRATO GEOLOGICO 16
3.2 GEOMORFOLOGIA 19
3.3 CONDIZIONI CLIMATICHE 24
3.4 COPERTURA VEGETALE 26
3.5 ATTUALE CLASSIFICAZIONE PEDOLOGICA 27
3.5.1 UTS 12 Dystric Cambisol 29
3.5.2 UTS 4 Dystric Cambisol (Arenic, Protospodic) 29
3.6 FATTORE ANTROPICO 30
4. MATERIALI E METODI 32
4.1 ATTIVITÀ IN CAMPO 32
4.1.2 COLORE 33
4.1.3 ANALISI FLORISTICA 34
4.2 ANALISI IN LABORATORIO 36
4.2.1 pH 36
4.2.2 TESSITURA APPARENTE 38
4.2.3 CARBONIO, AZOTO E NICHEL 43
5. RISULTATI 46
5.1 PROFILO 1_ PALON DI TZERE 47
5.2 PROFILO 2_ SPALLA PALON DI TZERE 51

5.3 PROFILO 3_ GRAND LAC 55
5.4 PROFILO 4_ SENTIERO 6C SO 58
5.5 PROFILO 5_ SENTIERO 6C NE 61
5.6 PROFILO 6_ DOSSETTO CRIONIVALE 65
5.7 PROFILO 7_ TORBIERA 68
5.8 PROFILO 8_ LARICETO 71
5.9 PROFILO 9_ TORRENTE DI TZERE 74
5.10 PROFILO 10_ TMR 78
6. DISCUSSIONE DEI RISULTATI 82
6.1 ANALISI COMPARATIVA PEDOLOGICA 82
6.1.1 CARBONIO, AZOTO E NICHEL 83
6.1.2 CARBON STOCK 85
6.2 ANALISI COMPARATIVA FLORISTICA 89
6.2.1 INDICI DI LANDOT 89
6.2.2 SPECIE VEGETALI DEI METALLI PESANTI 98
6.2.3 SPETTRO COROLOGICO 100
7. CONCLUSIONI 102
8. RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI 103
9. RINGRAZIAMENTI 106

0. RIASSUNTO

Il suddetto elaborato si prefigge l'obiettivo di indagare i suoli e le comunità vegetali che su di essi vegetano in un ambiente montano d'alta quota. L'area di studio interessa i territori compresi nella Valle di Tzére e nel Vallone delle Cime Bianche. Si tratta di valli laterali della Val d'Ayas (AO) che rivestono un'elevata importanza ecologica grazie alla presenza di substrati litologici estremamente eterogenei, di specie vegetali che proprio qui raggiungono alcuni dei loro limiti altitudinali massimi, di numerose specie animali di interesse conservazionistico e dell'elevato grado di naturalità del territorio, determinato dalla pressoché totale assenza di infrastrutture antropiche permanenti. In quest'area, la presenza di estesi affioramenti di serpentinite conferisce ai suoli proprietà chimiche peculiari, tali da influenzare profondamente i processi pedogenetici e rappresentare un importante fattore di selezione e sviluppo delle comunità vegetali.

Lo studio ha condotto all'apertura, in punti rappresentativi, di dieci diversi profili pedologici, all'esecuzione di rilievi floristici e al campionamento dei suoli. I campioni ottenuti sono stati sottoposti a successive analisi di laboratorio condotte presso il Ge.S.Di.Mont. di Edolo e il Dipartimento di Scienze Agrarie e Ambientali – Produzione, Territorio, Agroenergia dell'Università degli Studi di Milano.

I dati ottenuti sono stati successivamente elaborati mediante rappresentazioni grafiche e i principali parametri pedologici sono stati confrontati al fine di valutare i processi pedogenetici in atto e la classificazione del suolo secondo la nomenclatura WRB 2022. Le analisi del suolo sono poi state raffrontate con i rilievi floristici per indagare come il substrato influenzi le comunità vegetali. Grazie ai dati ottenuti è stato possibile stimare il carbon stock e valutare l'importanza di questi ambienti nel sequestro del carbonio.

Lo studio contribuisce ad approfondire la conoscenza delle dinamiche suolo-vegetazione negli ecosistemi alpini d'alta quota e fornisce informazioni utili alla valorizzazione e alla conservazione di un'area di particolare interesse naturalistico.

1. INTRODUZIONE

Il suolo è un corpo tridimensionale costituito da elementi solidi, liquidi e gassosi. Esso rappresenta l'interfaccia fra le diverse sfere della Terra, è difatti il risultato dell'interazione fra atmosfera, litosfera, biosfera ed idrosfera. Questo strato superficiale della crosta terreste si origina per alterazione e disgregazione del substrato roccioso ad opera di agenti fisici, chimici e biologici. La pedosfera è un sistema dinamico aperto in continua evoluzione che eroga una vasta gamma di servizi ecosistemici. Tra questi rientrano le funzioni di approvvigionamento, come la produzione di cibo e materie prime, e quelle di regolazione, che si esplicano nell'influenza sui cicli biogeochimici dell'acqua e dei nutrienti, nella regolazione del microclima e nello stoccaggio del carbonio organico. Inoltre, svolge servizi ecosistemici di supporto rappresentando il substrato fisico e l'habitat di numerosissimi esseri viventi, costituendo un importante serbatoio di biodiversità.

Secondo il modello di Jenny (Jenny, 1941) la formazione del suolo è in funzione di cinque diversi fattori: il clima, la componente biotica, la topografia, la roccia madre ed il tempo. I processi pedogenetici sono pertanto il risultato di numerose variabili e portano alla formazione di suoli molto diversi fra loro. In ambienti montani questo aspetto è accentuato dall'elevata variabilità microclimatica influenzata dall'altitudine, dall'esposizione e dalla pendenza, dal susseguirsi ravvicinato di diverse litologie e dall'uso storico del territorio, che concorrono alla formazione di suoli peculiari. La maggior parte dei suoli montani si evolve lentamente ed è poco profonda perché le basse temperature limitano le attività biologiche, la genesi e l'evoluzione del suolo. Nelle aree montane fredde, i cicli di congelamento e disgelo riducono l'aggregazione dei suoli e, di conseguenza, la loro stabilità, fertilità e ritenzione idrica (FAO 2015).

La pedologia, ovvero lo studio del suolo, ha permesso di razionalizzare le caratteristiche dei diversi suoli creando diversi sistemi di classificazione (e.g., WRB *World Reference Base for Soil Resources*, USDA *Soil Taxonomy*) che consentono di comprendere meglio i diversi processi pedogenetici e capirne i risvolti nel tempo. Le aree montane più remote rappresentano un ottimo esempio di ambiente in cui i naturali processi evolutivi possono svilupparsi quasi indisturbati, data la scarsa, seppur mai assente, presenza antropica. In questo studio abbiamo considerato un'area che rientra nella Valle d'Aosta, una regione italiana sita nel Nord-Ovest del Paese, interamente compresa nelle Alpi nord-occidentali. Gli studi pedologici su questo territorio sono relativamente recenti: le prime indagini risalgono alla prima metà del XX secolo da parte del botanico Lino Vaccari che ha pubblicato la prima ricerca sulla relazione tra le specie vegetali e la chimica dei suoli sviluppati su

serpentino nella parte orientale della regione (Freppaz *et al.*, 2024). Negli anni successivi sono state condotte altre indagini, ma, fra tutte le attività pedologiche sviluppate nella regione, il contributo più rilevante è rappresentato dalla Mappa del Suolo della Valle d'Aosta (D'Amico *et al.*, 2020). È il risultato di ricerche e campionamenti di diversi decenni che hanno permesso di costruire un ampio database di informazioni pedologiche, basato su più di 700 profili/osservazioni, sul quale sono state effettuate elaborazioni cartografiche e statistiche che hanno portato alla realizzazione della mappa dei suoli della Valle d'Aosta a scala 1:100.000. Questo lavoro rappresenta uno strumento utile per affrontare le sfide legate allo sviluppo delle montagne. Come evidenziato nel *Long-term action plan Alpine Convention*, redatto nel 2022 dal *Permanent Secretariat of the Alpine Convention* (disponibile su: https://www.alpconv.org/), l'elevata vulnerabilità dei suoli alpini ai cambiamenti climatici porterà i territori montani ad affrontare numerose sfide. Al fine di affrontare al meglio l'aumento della pressione antropica su queste aree assume un ruolo di cruciale importanza l'uso sostenibile dei territori e la gestione dei suoli. In luce di ciò, un approfondimento pedologico del Vallone delle Cime Bianche, un'area caratterizzata da un'elevata naturalità e da un'interessante alternanza di substrati litologici diversi, i quali danno luogo a suoli con proprietà chimiche e fisiche estremamente differenziate, può portare a comprendere meglio i suoli montani, aiutando ad affrontare le sfide legate allo sviluppo sostenibile.

2. PREMESSE

2.1 PEDOGENESI SU SERPENTINITE

Il Vallone delle Cime Bianche rientra nell'unità Zermatt-Saas del Complesso Ofiolitico Piemontese, caratterizzata dalla presenza di unità ofiolitiche (con serpentiniti, gabbri e basalti metamorfici) ed unità di origine sedimentaria (con marmi e calcescisti), deformate e mescolate assieme per tettonica e metamorfismo. Le serpentiniti sono rocce ultramafiche che si formano per alterazione idrotermale delle peridotiti, che porta alla formazione di silicati di Mg idrati. Questo processo comporta l'allontanamento del Fe, del Ca e di una parte della silice (Passeri & Dal Piaz, 2024).

I suoli che si originano su questo materiale parentale sono caratterizzati da una condizione ecologica che viene definita da Hans Jenny *Serpentine Syndrome*: presentano concentrazioni relativamente elevate di elementi tossici per le piante (PTEs *Potentially Toxic Elements*) come Ni, Cr, Co, Cu, Fe; basse quantità di nutrienti principali come N, P, K, S; un rapporto molare calcio-magnesio (Ca:Mg) inferiore a 1 e un basso tasso di mineralizzazione della lettiera a causa dell'effetto dei metalli pesanti sulle comunità microbiche (Bini & Maleci, 2014). Questi suoli si trovano più spesso in paesaggi aperti e ripidi con substrati generalmente poco profondi e rocciosi, spesso con una capacità ridotta di ritenzione dell'umidità. Tali condizioni edafiche stressanti promuovono la speciazione di comunità vegetali con alti tassi di endemismo. Dati tutti questi aspetti, rilevanti per lo sviluppo della teoria ecologica ed evolutiva, così come per lo studio della genetica dell'adattamento e della speciazione, i suoli serpentinitici sono stati oggetto di numerosi studi e pubblicazioni (Rajakaruna & Boyd, 2014).

Le prime indagini riguardo la pedogenesi su serpentiniti in Valle d'Aosta evidenziano un processo evolutivo che parte dalla roccia nuda e procede principalmente attraverso la degradazione fisica, con un'alterazione chimica limitata (Verger, 1979). Si ha una prima frammentazione della roccia madre in grossi blocchi, segue il disfacimento in loco della roccia che, combinato con l'erosione eolica, fornisce una quantità limitata di terra fine (40 a 50 %) essenzialmente di natura sabbiosa (65 a 70 %). Grazie al clima relativamente secco della Valle d'Aosta, i detriti ben drenati delle rocce serpentinitiche presentano un'alterazione chimica che si limita all'essudazione del Fe, processo definito "ferruginizzazione". Il suolo mantiene un pH vicino alla neutralità (circa 6,8) e un complesso di alterazione saturo. Nella prima fase della pedogenesi le serpentiniti si comportano come un ambiente molto eutrofico o addirittura calcicolo, nonostante la roccia madre sia quasi priva di calcio. In uno studio successivo, che indaga quale sia l'influenza dei fattori edafici - legati al suolo - sulla distribuzione delle foreste subalpine, Verger evidenzia come nei suoli su

serpentinite l'abbondanza di magnesio satura il complesso assorbente del suolo, limitando l'acidità profonda (pH spesso > 5) e impedendo la podzolizzazione. Si osserva una liberazione di Fe legata all'alterazione dei minerali ferro-magnesiaci, che porta alla formazione di suoli bruni molto permeabili e soggetti a secchezza edafica, condizioni che permettono al larice (*Larix decidua* Mill.) di persistere come specie dominante. Mentre su gneiss e prasiniti la successione ecologica della foresta evolve verso la pecceta o la cembreta, sul substrato serpentino il lariceto rappresenta la vegetazione climax (Verger, 1990).

Altri studi sui suoli ofiolitici sono stati portati avanti nell'area del Massiccio Ultrabasico del Mont Avic, sito nella parte sudorientale della regione. Un primo studio nel 2008 ha dimostrato che, nonostante la letteratura precedente lo ritenesse improbabile su questi substrati, in condizioni ambientali favorevoli (clima freddo e umido, foresta di conifere e arbusti di Ericacee), la podzolizzazione è attiva anche su substrati che sono solitamente considerati inibitori di questo fenomeno, a causa del loro alto contenuto di basi e Fe (D'Amico *et al.* 2008). È stata osservata una chiara ridistribuzione verticale di Fe, Al e Si, oltre a metalli pesanti come Cu, Cr, Ni e Co, che migrano dagli orizzonti superficiali a quelli profondi portando alla formazione di orizzonti eluviali E sovrastanti orizzonti spodici Bs. Si tratta di suoli fortemente acidificati con rapporto Ca/Mg spesso inferiore a 1. I risultati evidenziano come il processo di podzolizzazione sia attivo principalmente su pendii stabili e moderatamente ripidi rivolti a nord, dove la copertura nevosa dura per periodi più lunghi, l'evapotraspirazione è più bassa e l'erosione non è un fattore limitante per la pedogenesi.

In uno studio successivo, condotto sempre nello stesso territorio, è stata data maggior attenzione alle influenze dei metalli pesanti sulle proprietà biologiche di suoli subalpini sviluppati su rocce ofiolitiche (D'amico *et al.* 2009). Si è visto come metalli pesanti quali Ni, Cr, Mn e Co vengono mobilizzati dal processo di podzolizzazione, accumulandosi negli orizzonti organici superficiali (A e AE) e negli orizzonti spodici profondi (Bs). Le concentrazioni di nichel bio-disponibile superano la soglia di tossicità di 6 mg/kg in tutti i suoli dove il materiale di partenza contiene oltre il 60-70% di serpentinite, portando a correlazioni negative sulla comunità di Microartropodi.

Lo studio della pedogenesi presenta un problema di scala: i tempi di alterazione del substrato sono estremamente dilatati rispetto a quelli osservabili in uno studio, anche quando si effettuano rilievi successivi e continuativi nel tempo; pertanto è spesso difficile ricostruire lo sviluppo e seguire nel dettaglio le diverse fasi evolutive di un suolo. Analizzare il suolo in aree recentemente liberate dal ritiro dei ghiacciai, note come aree proglaciali o *glacier forefields,* permette di risolvere parzialmente questa criticità. Il vantaggio principale è che habitat con età diverse, note grazie a foto storiche o studi correlati, coesistono a brevi distanze tra loro. Ciò permette di valutare la

variabile tempo dell'equazione di Jenny *S = f (cl, o, r, p, t)* mantenendo costanti i fattori geografici e climatici. Si può così osservare lo sviluppo delle proprietà del suolo e la dinamica degli ecosistemi dalle fasi iniziali e nelle successive cronosequenze. L'area proglaciale del ghiacciaio Verra Grande, situato nelle Alpi italiane occidentali ai piedi del Monte Rosa è situata a poca distanza dall'area considerata in questo elaborato e, motivo la simile litologia, permette di studiare le prime fasi di sviluppo del suolo su serpentinite. Da uno studio condotto nel 2015 si evince come la pedogenesi sia estremamente lenta, soprattutto su serpentinite pura. Infatti il bioriciclo dei nutrienti è limitato a causa della debole produttività primaria della comunità vegetale. Tuttavia, dove il till glaciale serpentinitico è arricchito da piccole quantità di gneiss ricco di P, si è osservata una rapida colonizzazione da parte di specie di prateria in grado di aumentare la velocità dei processi pedogenetici. Questa tendenza si mantiene laddove si ha l'invasione di specie arboree e arbustive, grazie a un forte bioriciclo dei nutrienti (D'amico *et al.*, 2015).

2.2 VEGETAZIONE SU SERPENTINITE

Nel capitolo precedente si è visto come le fasi iniziali della pedogenesi siano particolarmente lente su serpentinite. Questo particolare substrato rallenta la successione delle piante attraverso una combinazione di fattori chimici e fisici che si possono riassumere col termine *Serpentine Syndrome*; inoltre, l'influenza dell'erosione, la crioturbazione e la siccità rendono difficile la stabilizzazione del suolo da parte delle piante pioniere. Uno studi nelle Alpi italiane, sempre svolto nell'area proglaciale del ghiacciaio Verra Grande, ha dimostrato che sulla serpentinite pura non si osservano cambiamenti significativi nella composizione delle specie vegetali anche dopo 190 anni dalla deposizione del materiale (D'Amico *et al.*, 2017a).

L'influenza dei fattori edafici nella crescita della vegetazione sui terreni derivanti da serpentinite nelle Alpi Occidentali italiane è stata oggetto di diversi studi. Nello studio precedentemente citato (Verger, 1990), viene proposta un nuovo termine per identificare i primi stadi di colonizzazione forestale degli *éboulis* (pietraie) sulle esposizioni calde (*adret*): *Junipero-Arctostaphyletum laricetosum*. In assenza totale del pino cembro e del pino uncinato, questo tipo di foresta viene integrato in una nuova subassociazione del *Juniperion nanae*. Si riscontrano specie quali *Larix decidua*, *Juniperus nana*, ora *Juniperus communis* L. subsp. *nana* Willd. Syme, *Arctostaphylos uva-ursi* L. e *Carlina acaulis* L. La Val d'Ayas, insieme alla Valle di Gressoney e alla Valtournanche, è stata oggetto di un altro studio riguardante la relazione tra la geologia del sottosuolo e la biodiversità vegetale. Le rocce ofiolitiche (serpentiniti e prasiniti) predominano nelle valli di Ayas e Valtournanche, mentre gli gneiss affiorano principalmente nella valle di Gressoney; questi contesti litologici e climatici ben definiti, hanno permesso di svolgere studi comparativi sulla

vegetazione e sui suoli. In particolare si è visto come la vegetazione su serpentinite mostra una spiccata specificità legata alla ricchezza di Mg e alla scarsa acidità dei suoli, distinguendosi nettamente dai raggruppamenti acidofili presenti su prasiniti e gneiss. Al piano montano, domina la pineta di pino silvestre nell'associazione fitosociologica *Deschampsio-Pinetum sylvestris,* con varianti a *Deschampsia flexuosa*, ora *Avenella flexuosa* L. Drejer subsp. *flexuosa,* e *Minuartia laricifolia* L. Schinz & Thell. subsp. *ophiolitica*, ora, *Cherleria laricifolia* L. Iamonico subsp. *ophiolitica,* specie serpentinofita. Elemento distintivo di questo piano è *Thlaspi alpinum* subsp. *sylvium, ora Noccaea sylvia* Gaudin F. K. Mey. Al piano subalpino, il *mélèze*, ovvero il *Larix decidua* diventa l'albero chiave, formando l'associazione *Junipero-Arctostaphyletum laricetosum* vista precedentemente. In stadi più evoluti compare il *Rhodoreto-Vaccinietum vitis-idaea laricetosum*. Nelle lande di cresta e nelle zone umide subalpine è caratteristica *Carex fimbriata*. Al piano alpino, su creste ventate si riscontrano comunità baso-neutrofile dell'*Elynetum*, è una prateria alpina densa dominata da *Elyna myosuroides* Vill., ora *Carex myosuroides* Vill. Sui ghiaioni si sviluppano il *Salicetum retuso-reticulatae* e il *Saxifragetum androsaceae*, con specie come *Hutchinsia brevicaulis*, ora *Hornungia alpina* L. O. Appel subsp. *brevicaulis*. Sulle pendici stabili si individua l'associazione peculiare *Caricetum fimbriatae* con specie caratteristiche della serpentinite quali *Noccaea sylvia*, e *Carex fimbriata* Schkuhr e *Cardamine plumieri* Vill. (Verger *et al*., 1993). Alcune fra le specie sopra citate, distintive degli ambienti con substrato serpentinitico, sono state riscontrate anche al di fuori della Val di Ayas. La vegetazione subalpina del Mont Avic è costituita da *Vaccinietum* acidofilo con specie vegetali endemiche o indicatrici, tra cui *Noccaea sylvia*, *Cardamine plumieri*, *Biscutella laevigata* L. e *Carex fimbriata*. Lo studio evidenzia come queste specie endemiche della serpentinite siano più abbondanti su suoli meno sviluppati rispetto ai terreni forestali, dove si ha un'estrema acidificazione, podzolizzazione, lisciviazione cationica e bioaccumulo di nutrienti. I risultati indicano la biodisponibilità del Ni come il fattore principale che modella la composizione delle specie locali. Le prime tre specie sopra citate sono cresciute tutte dove il Ni era superiore a 10–20 mg kg^{-1} e anche la presenza dell'ultima è risultata positivamente correlata con Ni scambiabile. (D'Amico & Previtali, 2012).

Ni e P appaiono come i principali fattori edafici che guidano le fasi iniziali della successione primaria e le due cause intrinseche della sindrome serpentinitica sulla vegetazione (D'Amico *et al.*, 2017b). Studi precedenti avevano già evidenziato come la discriminante fondamentale tra siti serpentinitici e non fosse la presenza di Ni (D'Amico *et al.*, 2014). Per dimostrare ciò sono stati scelti siti caratterizzati da un clima xerico: l'estrema aridità limita l'allontanamento degli elementi attraverso l'acqua e di conseguenza le caratteristiche chimiche del suolo rimangano più vicine a quelle della roccia madre. L'effetto ecologico della sindrome serpentinitica risulta così potenziato.

Queste particolari condizioni edafiche creano una pressione selettiva che porta all'evoluzione di specie vegetali specializzate. Le specie endemiche su serpentinite infatti si sono specificamente adattate a tollerare sia l'eccesso di Ni che quello di Mg, oltre ai bassi rapporti Ca/Mg. Spesso presentano forme di crescita stancate o nane, foglie ispessite e talvolta di colore violaceo, che aiutano a gestire lo stress ambientale. Una fra queste specie endemiche è *Carex fimbriata*, appartiene alla famiglia delle Cyperaceae e cresce su suoli saturi di magnesio su serpentino. Questa specie si trova sotto il clima alpino, in fessure rivestite di rocce frantumate all'interno di grossi blocchi, nelle Alpi centrali tra Lautaret (Hautes-Alpes in Francia) e la valle di Poschiavo (Svizzera) (Verger, 1993). Nella regione del Queyras è stata rilevata la presenza di *Carex fimbriata* in concomitanza di altre piante rare quali *Thlaspi alpinum* ssp. *sylvium*, ora nota come *Noccaea sylvia* Gaudin F.K. Mey. Questa specie è uno dei rari esempi di *Noccaea* strettamente legata a suoli nicheliferi derivanti da serpentine e altre rocce ultrabasiche grazie alla sua eccezionale capacità di iperaccumulare Ni, fino a 31.000 μg g^{-1}. Proprio a causa della sua esclusività la pianta è considerata un soggetto ideale per la prospezione biogeochimica, poiché la sua presenza segnala con precisione la natura del terreno sottostante (Reeves *et al.*, 1983). La natura del suolo può inoltre influenzare la morfologia delle piante che esso ospita. Uno studio riguardo l'influenza del substrato sulla variabilità intraspecifica di *Thlaspi rotundifolium,* ora *Noccaea corymbosa* J. Gay F.K. Mey., ha evidenziato come la lunghezza dello stilo, variabile da 1 a 6 mm, sia influenzata maggiormente dai contenuti di Ca e Mg dei litotipi colonizzati, piuttosto che alla sua distribuzione geografica. Gli individui presenti in aree con calcari e calcescisti presentano stili di lunghezza ridotta, mentre gli individui presenti in aree con calcari dolomitici, prasiniti, dolomie e, soprattutto, serpentiniti presentano stili di lunghezza maggiore (Favero Longo *et al*., 2004).

2.3 FINALITÀ DELLO STUDIO

Le forti limitazioni edafiche viste finora rappresentano un fattore di fragilità per questi ambienti dove l'invasione vegetale e la successione della vegetazione primaria risultano essere un processo lento e sensibile alle condizioni ambientali. È pertanto interessante approfondire lo studio su substrati ofiolitici al fine di valutare come diversi suoli possano supportare comunità vegetali differenti e vari servizi ecosistemici in ambienti di alta quota. La Val di Tzére ed il più ampio Vallone delle Cime Bianche rappresentano un'area caratterizzata da grande varietà naturalistica ed eterogeneità. Lo studio in questione ha l'obbiettivo di sviluppare conoscenze metodologiche e pratiche da applicare nell'indagine pedologica su substrati litologici diversi, che danno luogo a suoli con proprietà chimiche e fisiche estremamente differenziate.

3. AREA DI STUDIO

La Valle d'Aosta si estende su una superficie di 3264 km² e rappresenta poco più dell'1% della superficie nazionale (Figura 1). L'altitudine varia da 310 a 4810 m s.l.m. (cima del Monte Bianco), e il 60% del territorio regionale si trova sopra i 2000 m, con meno del 10% della superficie adatta all'urbanizzazione e all'agricoltura. Dato l'ampio intervallo di altitudini in un'estensione abbastanza limitata, nel territorio valdostano si trovano a pochi chilometri di distanza tutti i piani altitudinali compresi fra il piano collinare e quello nivale. La temperatura media annua varia da 10–12 °C (piano della valle principale) a 7,5 °C a 1200 m s.l.m., e intorno a 0 °C a 2500 m s.l.m. (Freppaz *et al.*, 2024). Le precipitazioni medie nella regione sono di 830 mm/anno (media 2001-2020), con un minimo vicino ad Aosta di 577 mm/anno (media 1991-2020) a causa delle condizioni interne alpine (dati consultabili al seguente link: https://cf.regione.vda.it/it/precipitazioni). Infatti, il centro della Regione, essendo contornato dalle elevate catene montuose che lo proteggono dalle perturbazioni e dall'umidità provenienti dall'Atlantico e dalla Pianura Padana, registra una delle più basse piovosità del territorio nazionale. Le precipitazioni regionali più elevate sono registrate sulla cima del Monte Bianco, al passo del Gran San Bernardo, e nel settore SE. Il *talweg* della valle centrale coincide con la fascia pianeggiante localizzata lungo il corso della Dora Baltea, il principale fiume che attraversa la regione da ovest ad est. Il corso d'acqua divide la Valle in due versanti, quello più soleggiato esposto a sud prende il nome di *adret*, opposto vi è l'*envers* esposto a nord (Bovio *et al.*, 2023).

La Val d'Ayas è una valle che, a partire da Verrès, si dirama in direzione sud-nord fino al confine settentrionale della Valle d'Aosta (Figura 2). Si sviluppa lungo il corso del torrente Evançon, affluente di sinistra della Dora Baltea. All'estremità nord, la valle è chiusa dal ghiacciaio di Verra Grande, appartenente al massiccio del Monte Rosa, che costituisce anche la linea di confine con la Svizzera (Figura 3).

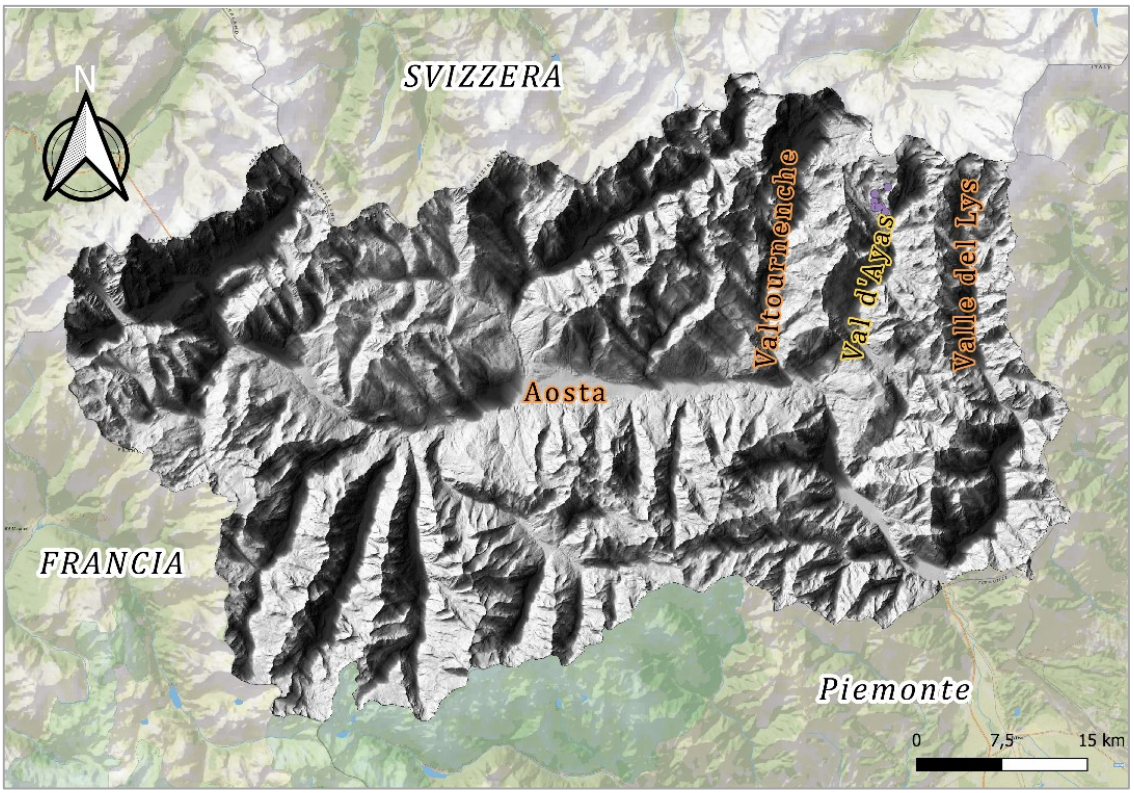


Figura 1_Elaborazione su Qgis del DTM a passo 25 della Valle d'Aosta, evidenziate le Valli del settore nord-orientale.

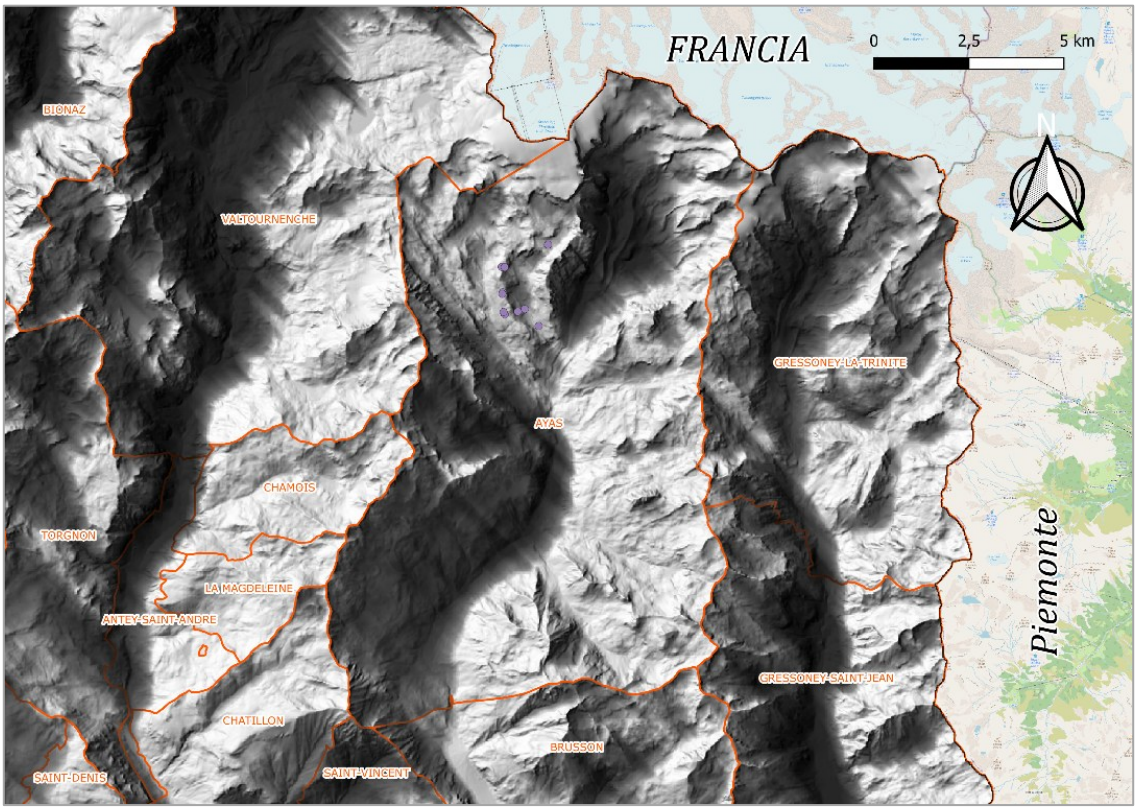


Figura 2_Elaborazione con Qgis del DTM con layer dei confini comunali che evidenzia la parte alta della Val d'Ayas, al centro il comune di Ayas..



Figura 3_ Fotografia scattata nel Pian di Verra Inferiore che raffigura il Ghiacciaio Grande di Verra, le cime da sx a dx sono Breithorn orientale, Roccia Nera, Polluce e Castore.

L'area oggetto di studio ricade nel territorio amministrativo del comune di Ayas; il centro abitato più prossimo è rappresentato dal villaggio di Saint-Jacques-des-Allemands. In particolare, l'analisi si focalizza sul comparto territoriale circostante il Palon de Céré (o Tzére), si tratta di una cima che arriva ai 2671 m s.l.m. compresa tra il Pian de Céré (Figura 4) e il Grand Lac, situato questo a quota 2860 m s.l.m.



Figura 4_ Al centro la cima del Palon di Tzére vista dall'omonimo piano.

Parte dell'area studiata rientra nel Sito Natura 2000 "Ambienti glaciali del gruppo del Monte Rosa" (codice IT1204220). Il Sito è stato istituito per salvaguardare questo territorio alpino di eccezionale valore naturalistico che include ghiacciai, formazioni moreniche e pareti rocciose ad alta quota. L'area interessata copre 8645 ettari ed è stata designata ufficialmente nel febbraio del 2013 come Zona Speciale di Conservazione (ZSC) tramite decreto ministeriale DM 07/02/2013 - G.U. 49 del 27-02-2013. Il sito ospita numerose specie di uccelli protetti dalla Direttiva 2009/147/CE tra cui aquila reale (*Aquila chrysaetos* L.), gipeto (*Gypaetus barbatus* L.), falco pellegrino (*Falco peregrinus* Tunstall), pernice bianca (*Lagopus muta helvetica* Montin), coturnice (*Alectoris graeca saxatilis* Meisner), fagiano di monte (*Lyrurus tetrix tetrix* L.). Tra i mammiferi troviamo specie quali lupo (*Canis lupus* L.), stambecco (*Capra ibex* L.) e lepre variabile (*Lepus timidus* L.). La zona rappresenta anche una tratta transfrontaliera per le linee migratorie dello stambecco che mettono in contatto le popolazioni di Ayas, Gressoney, Alagna e Macugnaga e da qui in Svizzera. Dal punto di vista della flora, la Società Botanica Italiana ha segnalato la zona delle Cime Bianche tra i biotopi italiani di rilevante interesse vegetazionale e meritevoli di conservazione. Difatti il versante meridionale del Monte Rosa è di particolare interesse per gli elevati limiti altitudinali raggiunti da alcune Fanerogame: sono state segnalate oltre sessanta entità floristiche che qui raggiungono i massimi limiti altitudinali nelle Alpi. Di queste superano i 4000 metri le seguenti entità: *Ranunculus glacialis* L. (fino a 4245 m), *Poa laxa* Haenke subsp*. laxa* (fino a 4245 m), *Androsace alpina* L. Lam., *Saxifraga oppositifolia* L., *Saxifraga exarata* Vill*.* subsp*. moschata* Wulfen Cavill*.* Tra gli arbusti raggiungono quote eccezionali: *Juniperus nana* (3570 m), *Vaccinium uliginosum* L. (3550-3630 m), *Vaccinium myrtillus* L. (3000-3200 m), *Vaccinium vitis-idaea* L. (3000-3200 m) e *Rhododendron ferrugineum* L. (3000 m) (Regione Autonoma Valle d'Aosta, 2024).

3.1 SUBSTRATO GEOLOGICO

Il Palon de Céré e il più vasto Vallone delle Cime Bianche rientrano, secondo la loro litologia, nell'Unità Piemontese caratterizzata dalla presenza di unità ofiolitiche ed unità di origine sedimentaria, deformate e mescolate assieme per tettonica e metamorfismo. Questa falda si suddivide in due componenti, l'unità Zermatt-Saas e l'unità del Combin. In particolare nell'Unità Zermatt-Saas vi è un metamorfismo eclogitico e abbondanza di pietre verdi (serpentiniti, gabbri, metabasalti) che sono il risultato dell'unione di frammenti della litosfera oceanica (Passeri & Dal Piaz, 2024).

Consultando la *Carta Geologica Continua* reperibile sul sito del GeoPortale SCT Sistema delle Conoscenze territoriali (consultabile al seguente link: https://geoportale.regione.vda.it/) è stato

possibile individuare ciascuna litologia interessata dall'apertura di un profilo (Figura 5). I risultati sono visionabili in Tabella 1. In campo ne è poi stata valutata la corrispondenza.

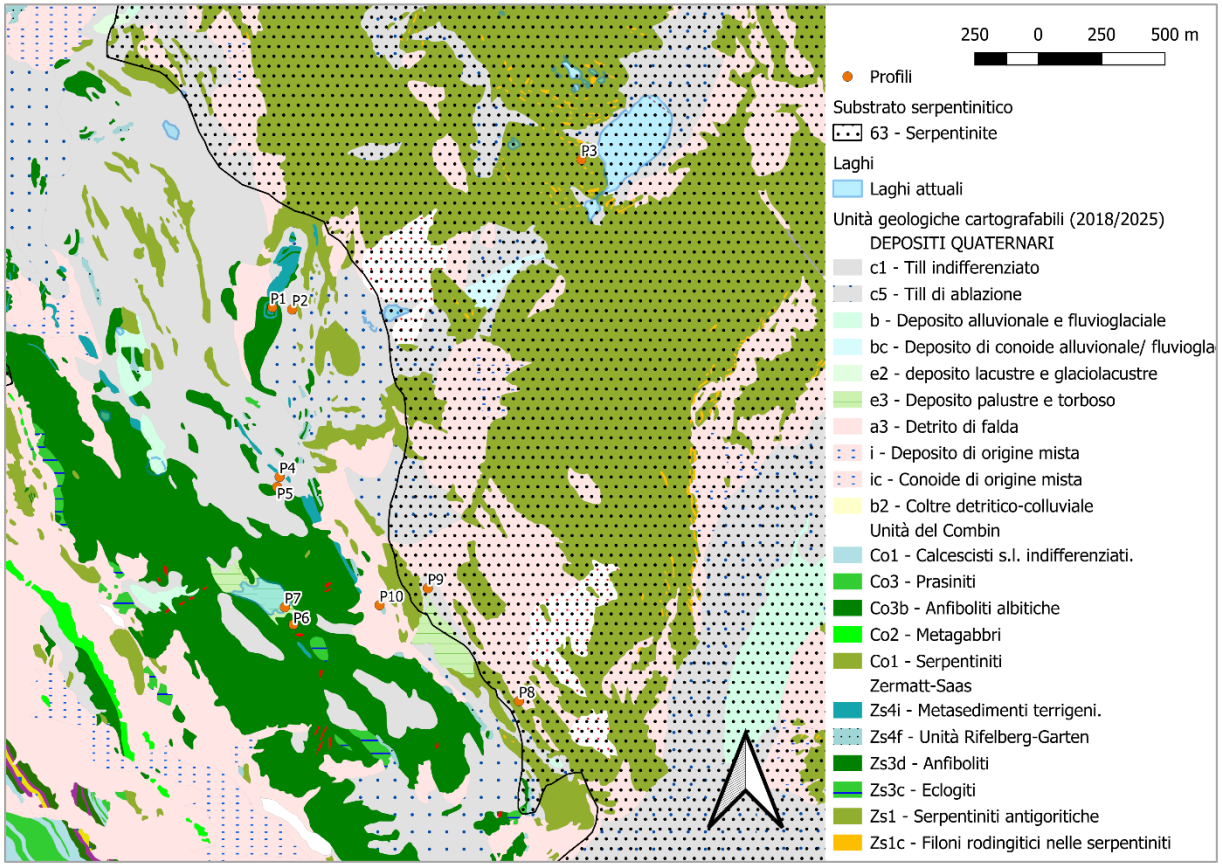


Figura 5_Elaborazione Qgis della carta geologica continua e del substrato serpentinitico che mostra la litologia della Val di Tzére con evidenziati i profili dello studio.

Tabella 1_ Si riportano le tipologie di ciascun profilo secondo il codice adottato nella legenda della carta geologica continua consultabile sul Geoportale della VDA.

Profilo	Simbologia Carta Geologica Continua
P1	Zs4i - Metasedimenti terrigeni
P2	c5 - Till di ablazione
P3	Zs1 - Serpentiniti antigoritiche Zs1c - Filoni rodingitici nelle serpentiniti
P4	c1 - Till indifferenziato Zs4i - Metasedimenti terrigeni.
P5	Zs3d - Anfiboliti
P6	Zs3d - Anfiboliti
P7	e3 - Deposito palustre e torboso
P8	a3 - Detrito di falda Zs1 - Serpentiniti antigoritiche
P9	c1 - Till indifferenziato Zs1 - Serpentiniti antigoritiche
P10	a3 - Detrito di falda Zs4f - Unità Riffelberg-Garten

Andiamo di seguito ad approfondire le litologie riscontrate.

Le anfiboliti sono rocce metamorfiche che, nel contesto delle Unità Piemontesi, derivano principalmente dalla trasformazione di magmi basaltici, come basalti oceanici, gabbri e diabasi, a causa del metamorfismo orogenico. In particolare l'anfibolite albitico-epidotica è composta principalmente da anfibolo actinolitico, plagioclasio sodico (albite) ed epidoto. Queste rocce si generano secondo due processi principali. Secondo il metamorfismo Regionale Prograde si formano direttamente dai magmi basaltici in condizioni di Facies Scisti Verdi, caratterizzate da basse temperature (LT) e pressioni medio-basse (LMP). Oppure secondo il metamorfismo Retrogrado possono originarsi dalla trasformazione di rocce precedentemente sottoposte a condizioni di pressione più elevata quando queste, durante la risalita della catena montuosa, ritornano a condizioni di pressione e temperatura inferiori (Passeri & Dal Piaz, 2024).

Le serpentiniti sono rocce metamorfiche derivate dalle peridotiti del mantello oceanico. Sono composte prevalentemente da antigorite, crisotilo e lizardite associati a minerali accessori ricchi di Fe quali magnetite, cromite, clorite e, in minor quantità, anfiboli. In Valle d'Aosta, gli affioramenti di serpentinite sono molto frequenti nel settore centro-orientale, tra la Valle di Champorcher, il Parco del Mont Avic, la Valle di Clavalité e il settore di Saint-Vincent e Châtillon. Nell'area nord-orientale si riscontrano nella Valtournenche, in Valle d'Ayas e anche presso Gressoney-la-Trinité. Si rinvengono affioramenti minori presso Verrayes, Saint-Denis, in alta

Valsavarenche, nella Valle di Rhêmes, a La Thuile, Ollomont e Gressan. Si tratta di rocce ultramafiche povere di elementi nutritivi per le piante (Ca, P, K) e ricchi di metalli pesanti quali Ni e Cr (D'Amico et al., 2019). Visivamente le serpentiniti si presentano come rocce con struttura da massiccia a fortemente scistoso-laminata. Presentano un colore da verde brillante a nerastro e talvolta sono intercalate da noduli di clorite e talco (pietra ollare). I filoni rodingitici sono strisce di rodingiti, silicati ricchi di minerali calcici come epidoto e granato, che si trovano dentro le serpentiniti. Derivano dalla segregazione di alcuni elementi, come Ca, Fe, Na, K, durante il processo di trasformazione da peridotiti magmatiche a serpentiniti metamorfiche e sono facilmente riconoscibili perché hanno colori vivaci - rosa, giallo o verde chiaro - che contrastano molto con il verde scuro delle serpentiniti (Paganone & Tripodi, 2013).

La facies Riffelberg-Garten rappresenta una tipologia di metasedimenti - sedimento che mostra i segni di azioni metamorfiche - appartenenti all'Unità Piemontesi. Sono una categoria di calcescisti particolarmente ricchi di componenti terrigeni - particelle solide derivanti dalla disgregazione di rocce preesistenti. I calcescisti della facies Riffelberg-Garten sono il risultato di condizioni di pressione e temperatura variabili che hanno portato alla formazione di rocce sia della facies eclogitica, tipica di zone a subduzione profonda con temperature e pressioni medio-elevate, che in facies scisti verdi, con metamorfismo di minor grado. La caratteristica macroscopica distintiva di questa facies è la presenza di inclusi tondeggianti (clasti) di qualche centimetro o decimetro, composti da eclogiti e anfiboliti basaltiche, immersi nella matrice scistosa. Un esempio significativo è visibile sotto la vetta del Palon de Resy in Val d'Ayas, ad est dell'area d'interesse, dove i clasti arrotondati di eclogite e anfibolite sono perfettamente preservati (Passeri & Dal Piaz, 2024).

3.2 GEOMORFOLOGIA

Il Vallone delle Cime Bianche ha un orientamento NO-SE ed è percorso dal Torrent de Courthoud che a Blanchard, frazione di Saint-Jacques-des-Allemandes, si riunisce con il Torrent de Véraz e de Cére a formare l'Évenson, nominato precedentemente come Evaçon. Dalla località Vardaz, a circa 2330 m s.l.m., parte una dorsale che si estende fino alla località di Cucaz, separando il vallone di Courthoud e una valle minore settentrionale rappresentata dal Pian de Cére. In direzione NO dal Palon de Cére, che si staglia sopra l'omonima valle (Figura 6Figura 6), si aprono la Comba d'Aventine e la Comba de Rollin, la quale termina con la Punta de Rollin, 3060 m s.l.m. Ad est del Palon vi è il monte de Véraz alle cui pendici è posto il Grand-Lac, lago di origine glaciale che alimenta il Torrent de Cére.



Figura 6_Veduta dal Palon di Céré dell'omonimo piano sottostante nel quale scorre il torrente di Cére, sullo sfondo si vede la località Mandria, la vetta più alta è il Testa Grigia, dietro la quale vi è la Valle di Gressoney.

Il confine con la Valtournenche è segnato dal Col Nord des Cimes Blanches e dal Col du Plateau Rosa, sotto i quali vi sono i diversi Lacs d'Aventine. La Valle delle Cime Bianche prende il nome da tre vette che - in ordine da ovest verso est - sono la Pointe Sud (2974 m), il Bec Carré (3005 m) e la Gran Sommetta (3165 m).

Negli anni Novanta il professor Giorgio Vittorio Dal Piaz (1935-2007), ordinario di Geologia all'Università di Padova, propose la creazione del "Parco dell'Oceano Perduto" nel vallone delle Cime Bianche. Come è riscontrabile nelle sue forme geomorfologiche l'area è nota per conservare ciò che resta di un antico mare tropicale, parte dell'oceano della Tetide.
Il bosco che da Blanchard, frazione di Saint-Jacques-des-Allemandes, si sviluppa fino all'imbocco del Pian de Tsère è punteggiato di massi di grandi dimensioni, di origine glaciale e depositati dal ritiro del ghiacciaio di Verra Grande. La Valletta di Tzére è circondata da incombenti costiere rocciose di serpentinite che formano lo specchio di faglia (Figura 7), dovuto allo scorrimento dei due blocchi di roccia fratturati. Le rocce qui presenti derivano dal basamento della placca oceanica, la zona di contatto fra il fondo oceanico e il mantello terrestre sottostante.



Figura 7_ Specchio di faglia dovuto allo scorrimento dei due blocchi di roccia fratturati alla testa del Pian di Tzére.

Alzandosi d'altitudine verso il Palon de Cére è possibile riscontrare una roccia più chiara e granulosa, composta da magmi basaltici intrusi nella crosta oceanica, in alcune aree è visibile l'Unità di Riffelberg-Garten. Un'altra linea di faglia è ben visibile nella torbiera che da Vardaz si sviluppa verso Mase e taglia longitudinalmente la valle. In località Vardaz, guardando la destra orografica del Vallone delle Cime Bianche, è ben visibili la netta distinzione fra la metabasite, roccia originariamente basaltica in cui si inseriscono alcune lenti di sedimenti oceanici, e le rocce oceaniche sottostanti. Di questo materiale sono composte le cime del Tournalin e della Roisetta, sul confine meridionale del Vallone (Prinetti, 2019). Queste due tipologie di rocce sono separate da una fascia di colore chiaro, come visibile in Figura 8Figura 8, che rappresenta il margine dell'antico continente con l'oceano allora in formazione.



Figura 8_ Mont Roisetta visto dal Lac de Rollin; è ben visibile la fascia di rocce più chiara, di origine sedimentaria, alla base del versante.

Si tratta di rocce sedimentarie di origine lagunare datate al Triassico (250-200 milioni di anni fa) e pertanto molto più antiche delle rocce oceaniche (circa 150 milioni di anni fa). Sono composte da calcari dolomitici e rocce evaporitiche, contenenti i sali marini derivanti dall'evaporazione delle lagune costiere. Questa fascia si interpone fra l'unità oceanica di Zermatt-Saas sottostante e quella del Combin (Prinetti, 2013). Le unità Zermatt-Saas e Combin costituiscono la falda ofiolitica piemontese e corrispondono rispettivamente al settore interno (orientale) ed esterno (occidentale) del bacino oceanico piemontese.

La unità Zermatt-Saas consiste in una sequenza ofiolitica che rappresenta la crosta oceanica e il relativo mantello: comprende peridotiti serpentinizzate, metagabbri e metabasalti, sormontati da una copertura sedimentaria eterogenea che include marmi e micascisti (Figura 9).



Figura 9_ Panoramica del Vallone delle cime bianche con segnalate le cime più significative e le principali litologie.

L'unità del Combin è invece stata deposta su una crosta continentale assottigliata – falda penninica del Monte Rosa, è composta da calcescisti, marmi e livelli metavulcanici. Queste due unità hanno seguito processi evolutivi differenti, la prima a causa della presenza di associazioni eclogitiche è presumibile che sia andata incontro a metamorfismo di alta pressione e bassa temperatura, legato ad una zona di subduzione profonda. Questi minerali sono stati poi parzialmente o totalmente sostituiti da associazioni in facies scisti verdi a causa della decompressione che il complesso subdotto ha subito dopo il suo distacco dalla placca litosferica. L'unità più occidentale invece mostra quasi esclusivamente gli effetti della ricristallizzazione in facies scisti verdi e nessuna traccia di metamorfismo eclogitico, suggerendo che questa unità sia rimasta a livelli più superficiali. Ciò suggerisce che le due unità del Complesso ofiolitico Piemontese abbiano seguito diversi processi tettonici e differenti condizioni di pressione e temperatura (Dal Piaz & Ernst, 1978).

3.3 CONDIZIONI CLIMATICHE

La Val d'Ayas, con il suo orientamento nord-sud, presenta un clima maggiormente oceanico rispetto alla conca di Aosta posta nella valle principale centroalpina, con minor escursioni termiche stagionali e una maggior quota di precipitazioni. I dati delle variabili meteorologiche sono stati raccolti dalla Stazione di Ayas-Alpe Aventine attraverso il sito del Centro Funzionale Regione autonoma della Valle d'Aosta (consultabili: https://presidi2.regione.vda.it). Il periodo di tempo considerato va dal 05/10/2009 al 01/01/2025. La stazione metereologica ha coordinate UTM N5081040 e E400685, si trova ad una quota di 2080 m s.l.m. con esposizione a sud. Altre informazioni sono visionabili alla Figura 10.

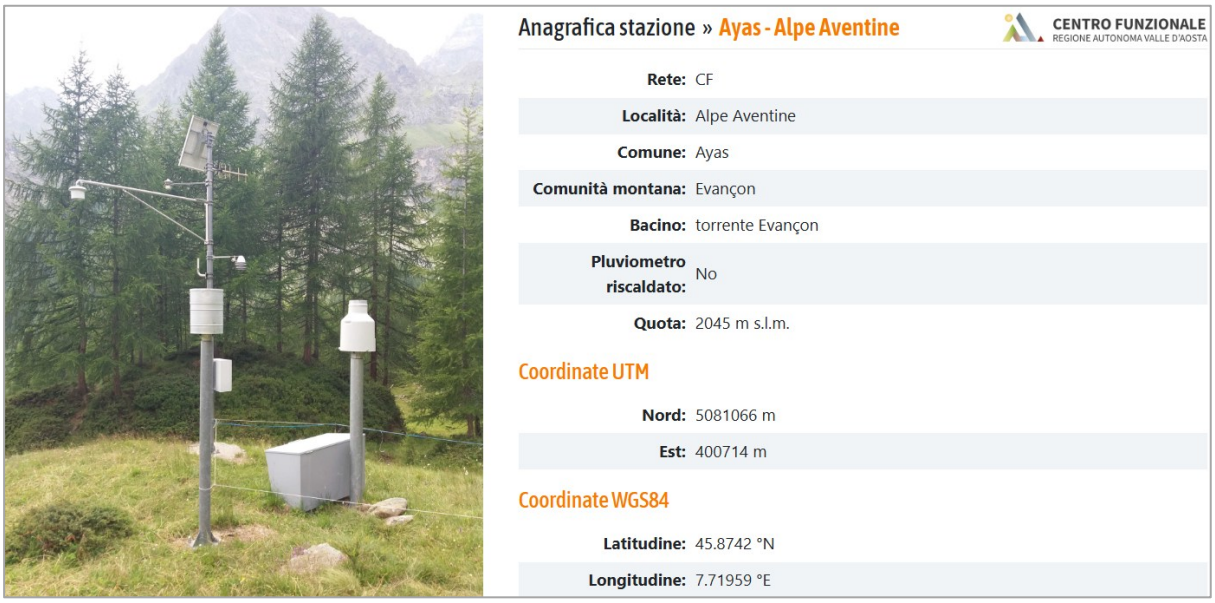


Figura 10_Anagrafica della stazione meteo di Ayas -Alpe Aventine.

Dai dati raccolti per l'arco di tempo considerato sono stati calcolati la somma delle precipitazioni annue ed il valor medio mensile (Tabella 2) e le medie mensili ed annuali delle temperature (Tabella 3). La Tabella 4 riporta sinteticamente le medie mensili delle precipitazioni e delle temperature. La somma delle precipitazioni è stata estratta dai dati ottenuti con il pluviometro a peso, in tal modo sono state incluse anche le quote di precipitazione nevosa.

Tabella 2_ Elaborazione dei dati metereologici della stazione Alpe Aventine, si riportano le medie mensili e la somma delle precipitazioni annuali nel periodo 2011-2024.

	Somma Precipitazioni Mensili (mm)														
PERIODO	**2011**	**2012**	**2013**	**2014**	**2015**	**2016**	**2017**	**2018**	**2019**	**2020**	**2021**	**2022**	**2023**	**2024**	**MEDIA**
Gennaio	14,81	108,39	16,37	71,54	84,40	125,16	29,01	23,25	34,72	41,52	148,01	10,67	25,89	51,93	**56,12**
Febbraio	23,09	3,35	53,45	107,68	61,10	137,26	40,09	13,23	19,66	58,36	19,24	33,30	13,68	73,67	**46,94**
Marzo	39,78	49,02	69,69	78,40	85,26	26,97	86,82	77,16	52,58	40,16	43,90	26,44	149,61	180,51	**71,88**
Aprile	23,26	145,48	189,72	136,66	48,94	77,68	85,14	86,52	139,72	57,01	53,47	81,96	55,96	86,18	**90,55**
Maggio	103,91	97,78	176,84	77,61	86,51	107,80	86,89	183,34	65,42	127,56	128,18	66,34	126,52	222,25	**118,35**
Giugno	201,08	64,93	57,03	90,18	114,41	104,08	108,94	86,24	105,62	159,53	92,52	88,51	112,46	152,63	**109,87**
Luglio	129,50	56,41	151,37	224,48	32,45	74,93	69,54	126,03	79,29	49,50	111,56	34,47	61,98	65,02	**90,47**
Agosto	64,79	/	89,87	113,78	222,34	40,74	107,49	124,55	103,00	85,69	43,17	104,71	180,33	31,80	**100,94**
Settembre	78,29	/	61,64	34,88	80,28	50,26	29,81	4,06	23,26	31,10	68,69	47,76	60,32	120,98	**53,18**
Ottobre	41,06	/	74,75	59,03	94,07	60,42	4,52	114,47	75,94	166,91	55,10	82,39	27,30	155,94	**77,84**
Novembre	136,37	42,17	142,37	180,83	33,56	134,27	13,46	33,40	116,53	2,33	72,45	50,08	34,65	68,17	**75,76**
Dicembre	100,30	78,03	119,00	29,80	2,51	4,29	98,76	51,15	91,95	50,54	79,58	76,12	101,55	50,43	**66,72**
SOMMA	**956,24**	**/**	**1202,10**	**1204,87**	**945,83**	**943,86**	**760,47**	**923,40**	**907,69**	**870,21**	**915,87**	**702,75**	**950,25**	**1259,51**	964,85

Tabella 3_ Elaborazione dei dati metereologici della stazione Alpe Aventine, si riportano le medie mensili e la somma delle temperature annuali nel periodo 2011-2024.

	Media Temperature Mensili (°C)														
PERIODO	**2011**	**2012**	**2013**	**2014**	**2015**	**2016**	**2017**	**2018**	**2019**	**2020**	**2021**	**2022**	**2023**	**2024**	**MEDIA**
Gennaio	-4,26	-1,80	-2,74	-2,53	-2,26	-2,56	-4,75	-2,05	-4,55	-1,14	-5,50	-0,27	-3,29	-0,69	**-2,74**
Febbraio	-0,57	-4,72	-6,78	-3,34	-3,59	-1,59	-1,03	-6,50	0,83	-0,36	-1,43	-0,89	-0,25	0,69	**-2,11**
Marzo	-0,11	3,11	-2,32	1,21	0,54	-1,43	2,88	-2,37	0,21	-1,23	-1,08	-1,18	-0,06	-0,29	**-0,15**
Aprile	5,20	1,35	2,98	4,18	3,94	2,73	3,27	4,32	0,81	3,93	-0,22	1,72	1,23	2,03	**2,68**
Maggio	8,01	6,89	3,75	5,47	7,78	5,33	7,28	7,05	3,80	7,35	3,67	8,67	5,81	4,62	**6,11**
Giugno	10,17	11,65	9,49	10,59	11,30	9,91	12,98	11,79	12,38	8,75	11,10	12,67	11,05	10,01	**10,99**
Luglio	10,35	12,93	13,37	10,81	15,99	13,58	13,00	13,95	13,84	13,08	11,80	15,12	13,66	13,98	**13,25**
Agosto	13,36	13,97	12,34	10,28	12,32	13,30	13,69	13,23	12,61	12,80	11,53	13,20	13,24	14,83	**12,91**
Settembre	11,16	8,78	9,63	9,06	6,96	9,97	6,80	10,42	9,32	9,10	9,32	7,72	11,12	7,22	**9,04**
Ottobre	5,40	5,36	5,28	6,80	4,09	3,95	7,40	6,02	5,99	2,72	4,49	8,09	7,47	5,96	**5,65**
Novembre	2,62	1,08	-0,66	2,39	4,06	-0,02	-0,22	-0,13	-1,98	3,22	0,15	0,58	-0,35	2,21	**0,92**
Dicembre	-1,91	-4,25	-0,11	-1,32	2,54	1,20	-3,80	-1,27	-0,86	-4,05	-0,86	-1,93	-0,06	-0,79	**-1,25**
MEDIA	**4,95**	**4,53**	**3,69**	**4,47**	**5,31**	**4,53**	**4,79**	**4,54**	**4,37**	**4,51**	**3,58**	**5,29**	**4,96**	**4,98**	4,61

Tabella 4_Vengono riportate le temperature medie e le precipitazioni sommate nei dodici mesi del periodo 2011-2024.

PERIODO	T MEDIA (°C)	P SOMMATE (mm)
Gennaio	-2,74	56,12
Febbraio	-2,11	46,94
Marzo	-0,15	71,88
Aprile	2,68	90,55
Maggio	6,11	118,35
Giugno	10,99	109,87
Luglio	13,25	90,47
Agosto	12,91	100,94
Settembre	9,04	53,18
Ottobre	5,65	77,84
Novembre	0,92	75,76
Dicembre	-1,25	66,72

È stato poi prodotto un grafico ombrotermico di Gaussen (Figura 11) partendo dai dati ottenuti. Si noti che è stata impostata la scala delle precipitazioni con la proporzione P = 2T. I maggiori livelli di piovosità si verificano nei mesi da maggio ad agosto e durante tutto l'anno non si verificano periodi di aridità. Le temperature medie si mantengono costantemente al di sotto della soglia dei

15°C, nei mesi invernali al di sotto della soglia dello zero termico. Il clima della Val d'Ayas risulta pertanto umido, con estati fresche e piovose, inverni freddi e rigidi con cospicue precipitazioni nevose.

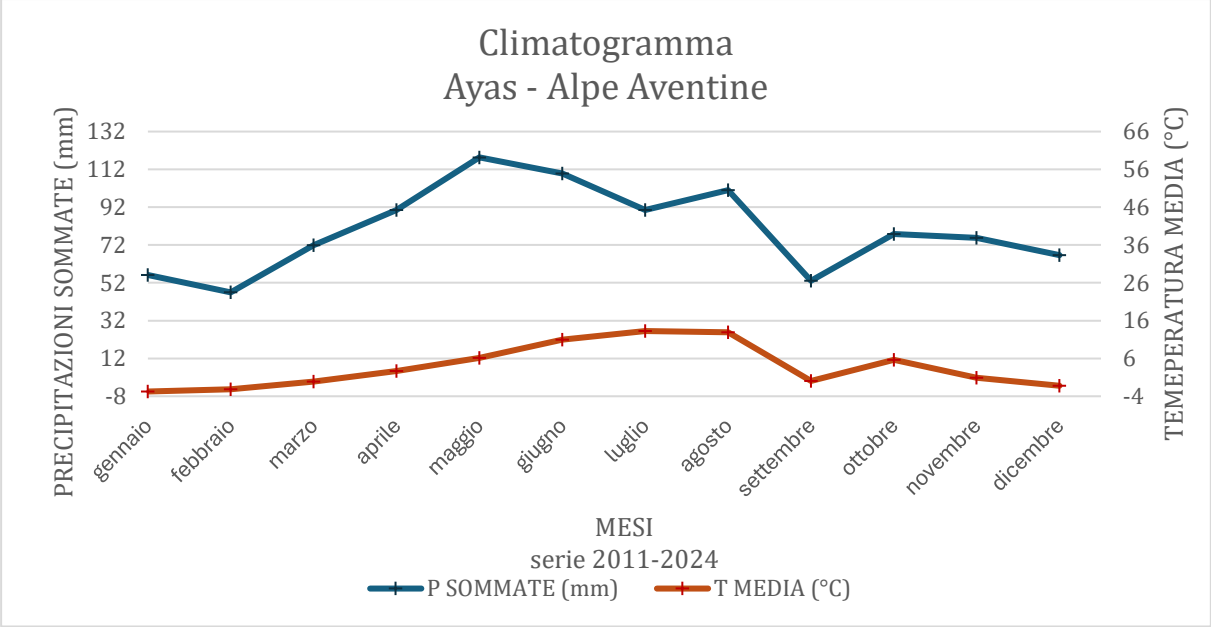


Figura 11_ Il grafico ombrotermico riporta l'andamento delle temperature medie e delle precipitazioni sommate per ogni mese nel periodo 2011-2024, l'area colorata nella curva delle precipitazioni evidenzia il raddoppiamento dei valori dell'asse delle ordinate.

3.4 COPERTURA VEGETALE

L'area di studio è caratterizzata da un'eterogeneità di ambienti e fitocenosi.

Visionando la *Carta di copertura del suolo* 2024 (reperibile presso: https://mappe.regione.vda.it/pub/geoCartoSCT/) è stato possibile identificare i diversi siti dove effettuare le aperture dei profili, al fine di ottenere un campionamento che andasse a considerare le diverse comunità vegetali presenti sul territorio. Sono stati interessati diversi ambienti nominati, secondo l'edizione più recente della carta Liv. 4 2024 a scala 1:10 000, come: Praterie naturali e pascoli alpini (P10); Roccia affiorante (P1, P2, P3 P8, P9); Zone umide alpine (P6, P7); Vegetazione erbacea sparsa di alta quota (P4, P5). In campo ne è stata poi valutata la corrispondenza della classificazione. Si alternano quindi superfici naturali o naturaliformi, caratterizzate da un'evoluzione naturale o da pratiche di condizionamento gestionale a livello pastorale, con aree contraddistinte dalla presenza di rocce affioranti e zone umide come paludi e torbiere.

3.5 ATTUALE CLASSIFICAZIONE PEDOLOGICA

Consultando la *Carta dei Suoli Pedologica* a scala 1: 100 000 (reperibile presso: https://mappe.regione.vda.it/pub/geoCartoSCT/) (D'Amico, 2019) è stato possibile avere una prima indicazione su cui basare la futura classificazione dei profili aperti (Figura 12). La consultazione ha portato ai dati esposti in Tabella 5, dove sono stati evidenziati in verde i profili su serpentinite.

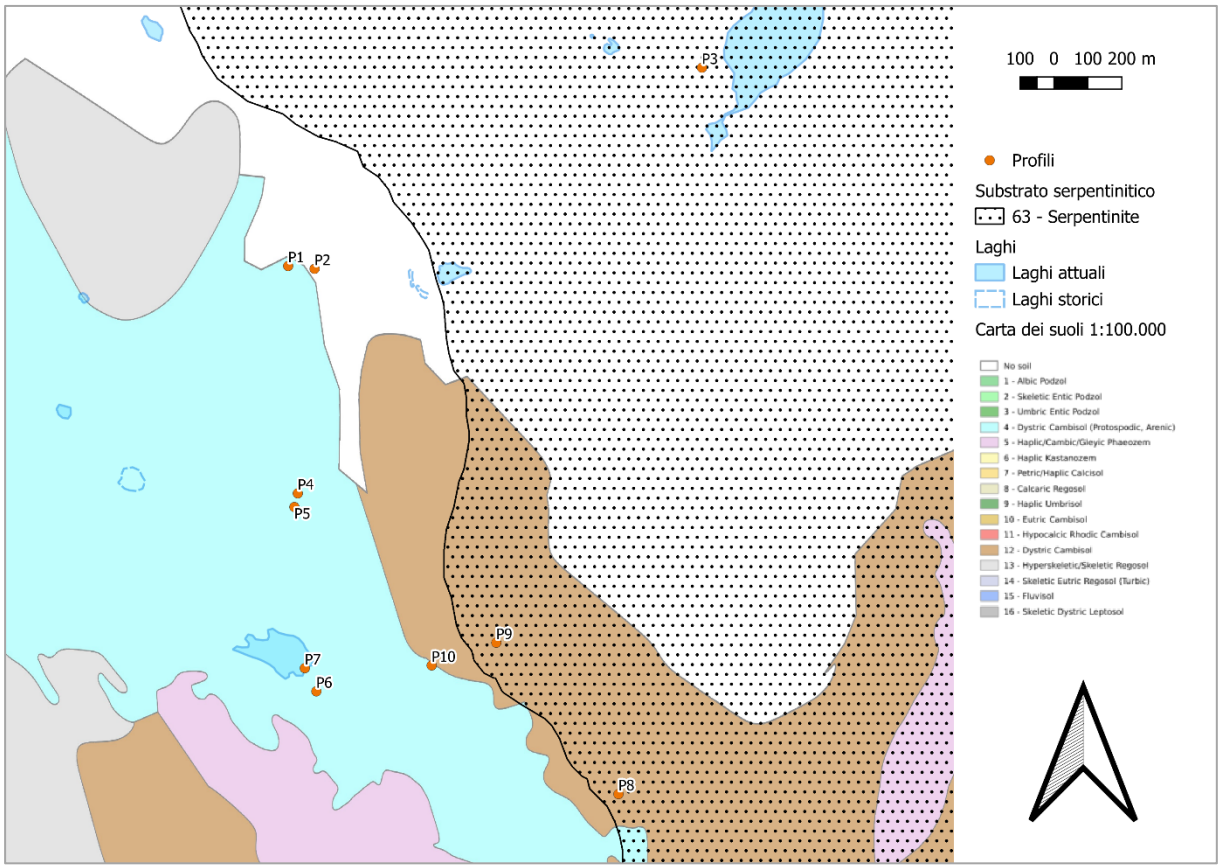


Figura 12_Elaborazione Qgis della carta pedologica della VdA, si evidenzia il substrato serpentinitico e i profili interessati dallo studio.

Tabella 5_ Classificazione pedologica dei profili secondo la Carta del suolo reperibile sul Geoportale della VdA.

Profilo	Codice STC	C stock	UC	WRB 2015
P1	1109	5.51	4	Dystric Cambisol (Protospodic, Arenic)
P2	446	/	/	No soil
P3	446	/	/	No soil (Serpentinite)
P4	1109	5.51	4	Dystric Cambisol (Protospodic, Arenic)
P5	1109	5.51	4	Dystric Cambisol (Protospodic, Arenic)
P6	1109	5.51	4	Dystric Cambisol (Protospodic, Arenic)
P7	1109	5.51	4	Dystric Cambisol (Protospodic, Arenic)
P8	2222	6.11	12	Dystric Cambisol (Serpentinite)
P9	2222	6.11	12	Dystric Cambisol (Serpentinite)
P10	1109	5.51	4	Dystric Cambisol (Protospodic, Arenic)

Secondo le descrizioni presenti nelle *Note Illustrative della Carta dei suoli* si esplichino in seguito i significati degli acronimi e delle sigle riportate in Tabella 5, quali UC e C stock (Codice STC è riferito al ID del poligono della carta). Le Unità Cartografiche UC (superficie minima di 10 ettari) rappresentano i 16 tipi di suolo dominanti nel territorio regionale. Queste racchiudono le tipologie di suoli simili - da un punto di vista pedogenetico e funzionale - classificati sulla base della tassonomia WRB 2015. Per ogni UC è stato calcolato il C stock. Questo rappresenta lo stock di carbonio organico, calcolato dai profili appartenenti ad una data UC. Il valore è stato ottenuto considerando il contenuto in carbonio organico (TOC), la densità apparente (BD), lo spessore di ogni orizzonte (D) e il contenuto in scheletro (SK, valutato come volume % sul campo), in base all'Equazione 1:

$$C_{stock} = \frac{TOC\ \left(\frac{kg}{kg}\right) * BD\ \left(\frac{kg}{m^3}\right) * D\ (m)}{10} * (1 - SK)$$

Equazione 1_ Utilizzata nel calcolo del Carbon Stock ottenuto come kg di C su m² di suolo

Nell'analisi non sono stati considerati quei suoli che accumulano C in modo più efficiente, come gli Histosols, per evitare errori nella scala della *Carta degli Stock di carbonio organico*, carta derivata dal lavoro *Soil types of Aosta Valley (NW-Italy)* (D'Amico *et al.*, 2020).

3.5.1 UTS 12 Dystric Cambisol

Il Dystric Cambisol è un suolo con medio grado di sviluppo, in cui i processi di alterazione hanno consentito la formazione di un orizzonte superficiale A (minerale) e uno sottosuperficiale Bw (cambico). Il Bw è caratterizzato da un colore bruno e una struttura poliedrica subangolare media. Queste caratteristiche derivano entrambe dalla moderata liberazione di idrossidi di Fe provenienti dal materiale parentale, spesso composto da goethite. La loro formazione necessita di un rapporto tra precipitazioni ed evapotraspirazione a favore delle prime e di substrati molto acidi. I Dystric Cambisols sono suoli fortemente acidificati con pH medi tra 5 e 5.5, desaturati, in cui i nutrienti sono stati poco lisciviati in profondità. L'acidità di questi suoli rende l'ambiente difficile per la proliferazione dei lombrichi, pertanto la principale funzione di alterazione della sostanza organica è svolta dagli artropodi, che creano una struttura grumosa fine, dall'aspetto "sale e pepe". Gli orizzonti OL e OF sono quasi sempre presenti, mentre gli OH sono più rari.
Questi suoli possono svilupparsi anche sotto lariceto subalpino con sottobosco ad ericacee. La presenza di copertura forestale piuttosto continua non li rende particolarmente vulnerabili all'erosione. Tuttavia è essenziale che copertura e orizzonti organici vengano mantenuti, poiché negli orizzonti minerali sottostanti la suscettibilità all'erosione aumenta sensibilmente.
Questi suoli possono svolgere diversi servizi ecosistemici, fra i quali si segnalano: il controllo del ciclo del carbonio, la produzione di biomassa forestale, la ritenzione idrica, la filtrazione, la purificazione dell'acqua e il supporto agli habitat e alla biodiversità. (D'Amico, 2019).

3.5.2 UTS 4 Dystric Cambisol (Arenic, Protospodic)

Il Dystric Cambisol (Arenic, Protospodic), similmente a quanto visto precedentemente, è un suolo discretamente evoluto caratterizzato da un orizzonte caratteristico AE (minerale-eluviale) e un Bw (cambico). L'orizzonte superficiale AE è nero-grigiastro e, a causa della tessitura sabbiosa e della bassa attività biologica - dovuta alla quota elevata ed alle basse temperature -, ha un'aggregazione molto fine e piuttosto debole. L'orizzonte Bw, che può essere anche BC, è rossastro o bruno intenso e presenta una struttura molto debole e dalla consistenza quasi sciolta a causa dell'abbondanza di mica. La sequenza di colori degli orizzonti, i bassi valori del pH e la debole o moderata redistribuzione del Fe evidenziano una forte acidificazione e lisciviazione. In alcuni casi, a seconda delle condizioni climatiche e vegetali è talvolta associabile a un processo di debole podzolizzazione. È un suolo diffuso su calcescisto sotto prateria alpina, tendenzialmente su pendenze inferiori ai 20-30°, dove i processi erosivi non sono particolarmente intensi. Per arrivare ad avere pH fortemente acidi su un materiale parentale ricco in carbonato di Ca, che tiene insieme i cristalli di mica, occorre la dissoluzione completa di questo. Il risultato è un materiale

sabbioso molto permeabile. La percolazione dell'acqua porta all'asportazione di gran parte del Ca e del Mg e il pH del suolo si abbassa. Tale processo si verifica grazie al clima di alta quota, dove l'evapotraspirazione è inferiore alle precipitazioni e dove la spessa copertura nevosa fornisce abbondante acqua di fusione al disgelo.
Per quanto riguarda l'humus si hanno sottili orizzonti organici OL, OF e, in questo caso, anche OH e scarsa presenza di artropodi e vermi. Vengono classificati pertanto come Hemimoder o Hemimor (humus Mor, ma con orizzonti O più sottili). Sono tipologie biologicamente poco attive: accanto alla scarsa presenza di artropodi gli anellidi sono quasi del tutto assenti. La lenta degradazione del materiale radicale che ne consegue porta ad un accumulo di sostanza organica che rimane separata dalla matrice minerale sabbiosa, che in questi orizzonti è molto consistente, assumendo un aspetto "sale e pepe".
Questo suolo è caratteristico di ambienti di prateria alpina dominata da *Carex curvula* o *Carex curvula* subsp. *rosae*, talvolta con pascolo brado e solo localmente intenso. La copertura del suolo è tipicamente discontinua, ma la loro vulnerabilità all'erosione è limitata dalla presenza di orizzonti organici OF e OH. Se soggetti ad un'eccessiva pressione di pascolo o ad altre attività che possono danneggiarne la copertura, l'erodibilità aumenta significativamente.
Questi suoli sono rilevanti soprattutto per la ritenzione idrica e il controllo dell'erosione e, sebbene poco produttivi in termini di biomasse (pascoli estensivi), essi svolgono comunque un ruolo rilevante anche nel controllo del ciclo del carbonio (D'Amico, 2019).

Finalità dello studio sarà confrontare i risultati ottenuti con la corrente classificazione pedologica per evidenziarne concordanze o discrepanze. Si analizzeranno i fattori locali che possono essere causa di tali fenomeni e le specifiche particolarità territoriali legate al substrato e alla fitocenosi.

3.6 FATTORE ANTROPICO

Il Vallone delle Cime Bianche, come visto precedentemente, è identificato come Zona di Protezione Speciale (ZPS) "Ambienti Glaciali del Gruppo del Monte Rosa", il che regola lo sviluppo di infrastrutture antropiche impattanti. Nel territorio non sono presenti insediamenti stabili o strutture ricettive di alcun genere. L'unica costruzione attualmente utilizzata saltuariamente è rappresentata dal bivacco Città di Mariano. Il pascolo è la principale attività umana praticata, dimostrazione ne sono i resti di antichi alpeggi (Alpe Aventine, Alpe Cuccaz, Alpe Vardaz e Alpe Mase) che testimoniano la presenza stagionale di mandrie negli anni trascorsi. Attualmente il pascolo si limita a greggi ovini-caprini transumanti nel periodo estivo da luglio ad agosto. Per quanto riguarda il turismo il vallone è meta di escursioni a piedi e in mountain bike, specialmente

verso il Colle Superiore delle Cime Bianche e il Gran Lago nel periodo estivo e di ciaspolatori e scialpinisti in quello invernale, non vi è la presenta impianti di risalita.

Recenti reperti archeologici rivelano come il Vallone delle Cime Bianche rappresenti un'importante areale di approvvigionamento per l'estrazione di cloritoscisti a grana fine, impiegati nella lavorazione della pietra ollare. La pietra ollare è un vasellame domestico particolarmente adatto alla cottura e alla conservazione dei cibi grazie alle sue proprietà termodinamiche - come la resistenza al fuoco e la capacità di trattenere il calore - e organolettiche, che permettono di non alterare i sapori. Con il termine di "pietra ollare", letteralmente "pietra da olle" (*pera douça* in patois), non si identifica un minerale vero e proprio, ma una categoria merceologica di vasi in pietra di diversa forma e grandezza. Si tratta di una produzione di grande valore economico per le comunità montane della Valle d'Aosta, con laboratori artigianali attivi dall'età tardoantica (IV secolo) al Medioevo (XIII secolo). Le "olle" venivano realizzate al tornio idraulico. Nelle cave situate ad alta quota, come quelle delle Cime Bianche - dove l'attività estrattiva si svolgeva anche a 2.400–2.500 metri di altitudine - la lavorazione poteva avvenire direttamente sul posto durante la stagione estiva degli alpeggi. In questi casi, la strumentazione necessaria per il funzionamento del tornio idraulico veniva trasportata a dorso di mulo. La pietra ollare delle cave di Saint-Jacques-des-Allemands si distingue dagli altri litotipi per la presenza di cloritoscisti a grana grossa con frequenti granati (Cortelazzo, 2023).

Grazie alla limitata presenza antropica, circoscritta a specifici periodi dell'anno, questo territorio conserva un carattere più naturale rispetto alle vallate vicine, come quelle interessate dal comprensorio del Monte Rosa Ski. Le condizioni ambientali risultano quindi più vicine a quelle originarie: di conseguenza, lo studio di quest'area offre l'opportunità di analizzare lo sviluppo dei processi naturali in assenza di significativi interventi umani.

4. MATERIALI E METODI

4.1 ATTIVITÀ IN CAMPO

La fase operativa è stata avviata con il rilevamento pedologico di campagna. L'apertura dei profili è stata effettuata nelle giornate del 11, 19 e 25 agosto 2025. La logica del campionamento è stata quella di coprire i diversi ambienti, litologie, pendenze, altitudini, esposizioni e associazioni fitosociologiche dell'area presa in esame. L'intervallo dei piani altitudinali interessati spazia dal piano subalpino, con l'altitudine minima di 2150 m s.l.m. del P8, al piano alpino, toccando il massimo dell'elevazione ai 2675 m s.l.m. del P3. L'apertura dei profili ha interessato aree caratterizzate da diverse fitocenosi: fino a circa 2200 m domina il larici-cembreto su rodoreto-vaccinieto (P8, P9), con l'incremento dell'altitudine si susseguono praterie alpine di tipo acidofile (P1, P2, P4, P5, P6), vi è inoltre una comunità di torbiera (P7), fino ad arrivare al limite della vegetazione che si aggira attorno ai 2600 m. Il P3 è situato nei pressi del Grand-Lac in un'area recentemente liberata dal ghiacciaio d'Aventine, la comunità vegetale presente in loco è rappresentata da specie pioniere colonizzatrici di depositi glaciali recenti. I punti specifici sono visionabili in Figura 13: la foto satellitare restituisce una prima impressione sulla vegetazione presente in loco. Una volta identificato il punto di apertura del profilo si sono raccolti i dati inerenti a coordinate, pendenza ed esposizione tramite dispositivo GPS Garmin®; la copertura vegetale è stata stimata visivamente. Sono poi state raccolte delle fotografie dell'area e delle specie vegetali presenti, utili al fine di una futura identificazione. Dopo queste fasi preliminari si è impostato lo scavo. La profondità del suolo indagata variava in funzione del suo sviluppo, è stato possibile raggiungere l'orizzonte C - composto dal materiale parentale - in tutti i casi eccetto il P7, dove la notevole profondità del terreno torboso non ha permesso di rivelare il substrato litologico. Si è proseguito con l'identificazione dei diversi orizzonti, del loro spessore, della loro struttura e del loro colore. Tutti i dati sono stati riportati in una scheda apposita, dove è stata redatta una breve descrizione dell'area e, quando necessario, un bozzetto della disposizione degli orizzonti. In ultimo sono stati raccolti un campione di terreno per orizzonte - fatta eccezione degli strati organici - posti in buste pulite, sigillati e catalogati. Per la catalogazione si è utilizzata una sigla che riporta il numero del profilo dal quale è stato prelevato e la tipologia di orizzonte più probabile, per gli orizzonti sconosciuti si è adotta una numerazione (es. P1_A, P9_1). Una volta raccolti tutti i dati necessari allo studio, i profili sono stati richiusi e la copertura vegetale riposizionata, al fine di riportare l'area interessata quanto più vicino possibile alle condizioni antecedenti allo scavo.

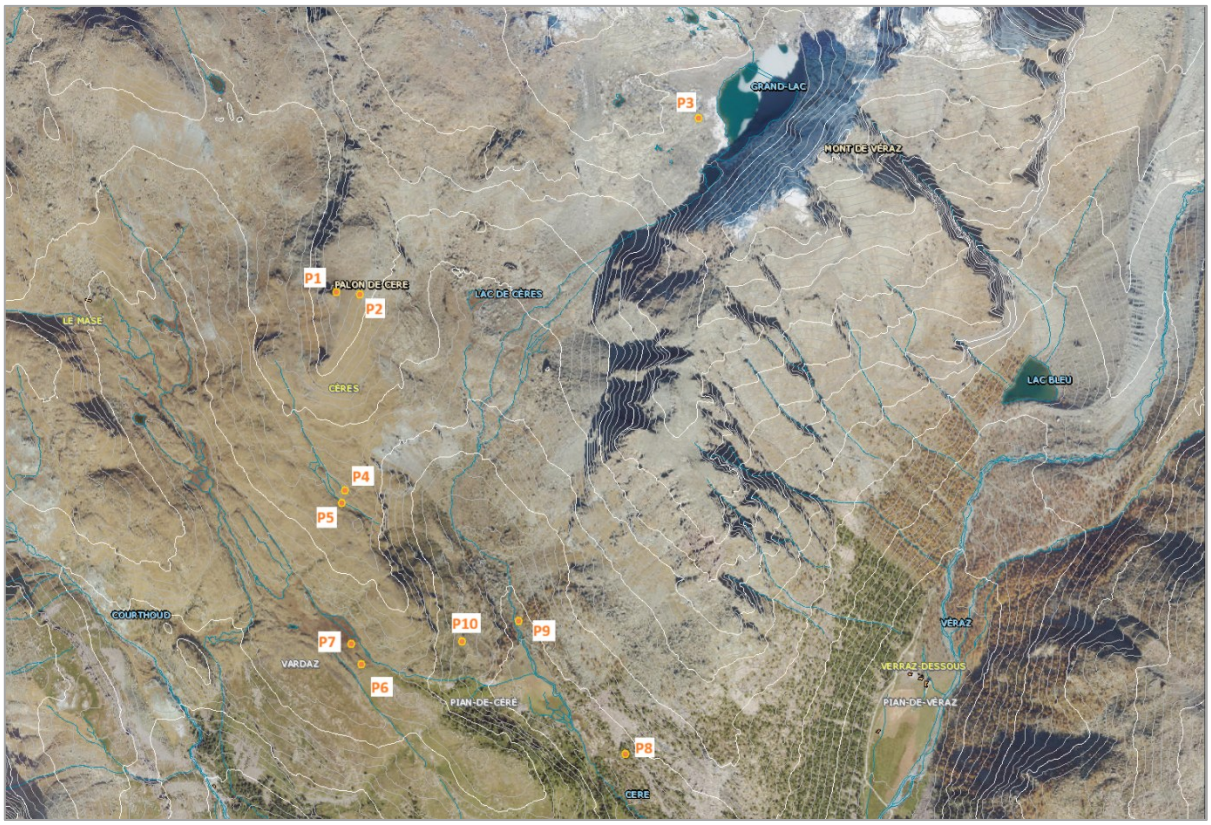


Figura 13_ La figura rappresenta una foto satellitare con le curve di dislivello in sovrapposizione su cui sono evidenziati i 10 profili oggetto dello studio. La stampa è stata realizzata tramite GeoNavigatore VDA con ulteriori modifiche. Scala 1:10 000.

4.1.2 COLORE

Fra le caratteristiche fisiche del suolo il colore è il parametro che ci restituisce informazioni riguardo al materiale parentale e alla presenza di sostanza cromofore, quali la sostanza organica e gli ossidi di Fe e Mn. Talvolta possono essere presenti screziature, rappresentate da macchie di diversi colori o tonalità di colore, intercalate con il colore dominante del suolo. Esse rivelano la presenza di processi ossido riduttivi determinati da condizioni alternate di umidità e aridità.

Il colore è stato identificato in campo utilizzando la notazione Munsell Soil Color Charts che riporta tre parametri descrittivi (Figura 14): *Hue* è il colore dello spettro dominante (rosso, giallo, verde, blu o viola); V*alue* è la luminosità del colore, va da 1 (scuro) a 8 (chiaro); *Chroma* è la purezza o intensità del colore, va da 1 (pallido) a 8 (vivace). Per le descrizioni di routine, i colori del suolo devono essere determinati al riparo dalla luce solare diretta e confrontando un campione di suolo umido con il campione di colore delle Tabelle Munsell. Dove possibile, il colore del suolo dovrebbe essere determinato in condizioni uniformi. Le letture di prima mattina e di tarda sera non sono accurate. Inoltre, è da tenere in nota che la determinazione del colore da parte delle stesse o di diverse persone si è spesso rivelata incoerente (FAO, 2006).

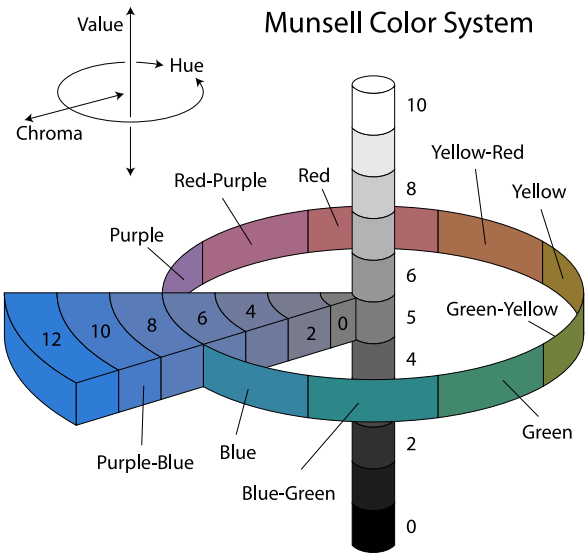


Figura 14_ Rappresentazione spaziale dei rapporti fra Hue, Value e Chroma nel sistema Munsell. Immagine estratta da https://en.wikipedia.org/wiki/Munsell_color_system © 2007, Jacob Rus

4.1.3 ANALISI FLORISTICA

Per ogni punto di campionamento è stata eseguita un'indagine della flora presente, con lo scopo di identificare le principali specie vegetanti. Per l'identificazione sono state in primis necessarie le preziose competenze del prof. D'Amico, che hanno permesso di identificare la maggior parte delle entità. Successivamente per le specie sconosciute è stato consultato il manuale *Guida alla flora della Valle d'Aosta* della Blu Edizioni (2023). Per concludere il riconoscimento, le foto scattate in campo sono state sottoposte all'attenzione del botanico dott. Andrea Mainetti, ricercatore presso il Parco Naturale del Gran Paradiso e massimo esperto della flora della Valle d'Aosta, che ha saputo identificare le specie ancora incerte. È stato così possibile riconoscere le diverse entità presenti nell'area di raggio 3 m attorno ad ogni profilo, entro un raggio di circa tre metri dal punto di scavo.

Dopo aver redatto un elenco delle entità presenti si sono andati a calcolare gli indici ecologici. Si tratta di un metodo che utilizza gli organismi viventi come indicatori di parametri ecologici. Nello specifico si è adottata la bioindicazione di Landot, questa consiste in 9 indici - che assumono valori compresi in una scala da 1 a 5 - che qualificano le esigenze ecologiche di ciascuna specie vegetale. In dettaglio si valuta: la granulometria e l'aerazione del substrato (D), l'umidità (F), la quantità di humus (H), esigenze in termini di oceanicità e continentalità delle specie (K), luminosità (L), il contenuto di azoto assimilabile nel terreno (N), il pH (R), la concentrazione di sali (S) e la temperatura (T). Si è scelto di utilizzare questo sistema di bioindicazione poiché, a differenza di altri metodi (Ellemberg, Pignatti, ecc.), è stato formulato a partire dalla flora svizzera e pertanto è

il sistema più pertinente al contesto alpino della Valle d'Aosta. L'ultimo perfezionamento risale al 2010, si considerino i valori di suddetto aggiornamento (Landolt *et al.*, 2010). In questo studio si è scelto di adottare una semplificazione: i risultati di ciascun indice, per ognuno dei dieci profili, non tengono conto della distribuzione delle specie presenti. Infatti si è calcolata la media e la deviazione standard, assumendo che ogni specie avesse lo stesso peso, indipendentemente dalla sua abbondanza relativa.

4.2 ANALISI IN LABORATORIO

Durante le attività di campo sono stati raccolti complessivamente 30 campioni di suolo dai 10 profili aperti. Prima delle analisi di laboratorio, i campioni sono stati essiccati all'aria per circa tre mesi; qualora fosse stata presente eventuale umidità residua, sono stati successivamente asciugati in stufa a 50 °C per 24 ore. Il materiale è stato quindi setacciato con una maglia di 2 mm, per separare lo scheletro dalla terra fine, che costituisce la frazione analitica del suolo. Lo scheletro è stato poi pesato e la sua percentuale determinata per ciascun orizzonte. I campioni così preparati sono stati infine classificati e sottoposti alle indagini successive. Le analisi sono state svolte in parte nel laboratorio del Centro di Ricerca Ge.S.Di.Mont. di Edolo ed in parte nei laboratori di Scienze Agrarie e Alimentari dell'Università degli Studi di Milano.

4.2.1 pH

Il pH del suolo è il parametro che descrive l'acidità o l'alcalinità del terreno. Il suo valore esprime la concentrazione degli ioni idrogeno (H^+) definita come logaritmo negativo in base 10. Esso influenza in modo significativo la disponibilità dei nutrienti, la struttura del suolo e numerosi processi biologici e chimici, tra cui le reazioni di ossidoriduzione, responsabili dei fenomeni di complessazione, precipitazione e dissoluzione delle specie chimiche presenti nel sistema suolo.

Il pH può essere misurato in una sospensione con acqua distillata; tuttavia a causa della presenza di sali solubili si possono utilizzare anche soluzioni di cloruro di potassio (KCl) o cloruro di calcio ($CaCl_2$). In queste analisi è stato adottato il metodo di misurazione del pH tramite soluzione con acqua distillata, l'analisi più interessante dal punto di vista ecologico. Per l'analisi si è utilizzato un pHmetro. Si tratta di uno strumento in grado di rilevare la differenza di potenziale della soluzione e di tradurne il valore nella scala pH. Per funzionare correttamente l'elettrodo deve essere tarato con una soluzione buffer a pH noto, le calibrazioni devono essere eseguite prima delle analisi, in un intervallo di tempo il più possibile ravvicinato. Poiché lo strumento esegue una calibrazione sulla base della temperatura, risulta essenziale immergere nella soluzione da analizzare anche il termometro collegato al pHmetro. Per determinare i valori di pH dei campioni è stata preparata una soluzione di terra e acqua distillata in rapporto 1:2,5 massa su volume. Sono stati prelevati 10 ± 0,2 g di terra e disposti in provette di polietilene da 50 ml. Per i campioni del P7 - rispettivamente P7_Ha, P7_He e P7_Hi - sono stati utilizzati 2,5 ± 0,2 g di terra con un rapporto di 1:10 peso su volume. Questo poiché il profilo P7 è stato aperto in un suolo di torbiera ricco di sostanza organica, la cui elevata capacità di ritenzione idrica ha determinato un marcato aumento del volume apparente del campione durante la preparazione della sospensione, che è andato ad occupare

tutto lo spazio disponibile nella provetta. Per ottenere una soluzione omogenea i campioni sono stati agitati manualmente per 30 secondi e poi lasciati in stato di quiete per 12-14 ore. La misurazione del pH è stata effettuata con i campioni decantati. Quindici minuti prima della misurazione questi sono stati agitati nuovamente per 15 secondi e poi lasciati sedimentare. La soluzione in nessun caso era perfettamente limpida, la presenza di particelle in sospensione non ha compromesso l'esito della misurazione. L'elettrodo, prima di essere immerso nel campione, è stato lavato con acqua distillata e lo stesso procedimento è stato ripetuto al termine di ogni misurazione. Dopo aver posizionato correttamente l'elettrodo e il termometro nella provetta, si è atteso il tempo necessario alla stabilizzazione della misura, rispettando un intervallo obbligatorio di 2 minuti, cronometrato, per ciascuna determinazione (Figura 15). Il valore del pH è stato registrato una volta che si è stabilizzato e per ogni campione è stata svolta una sola misurazione.

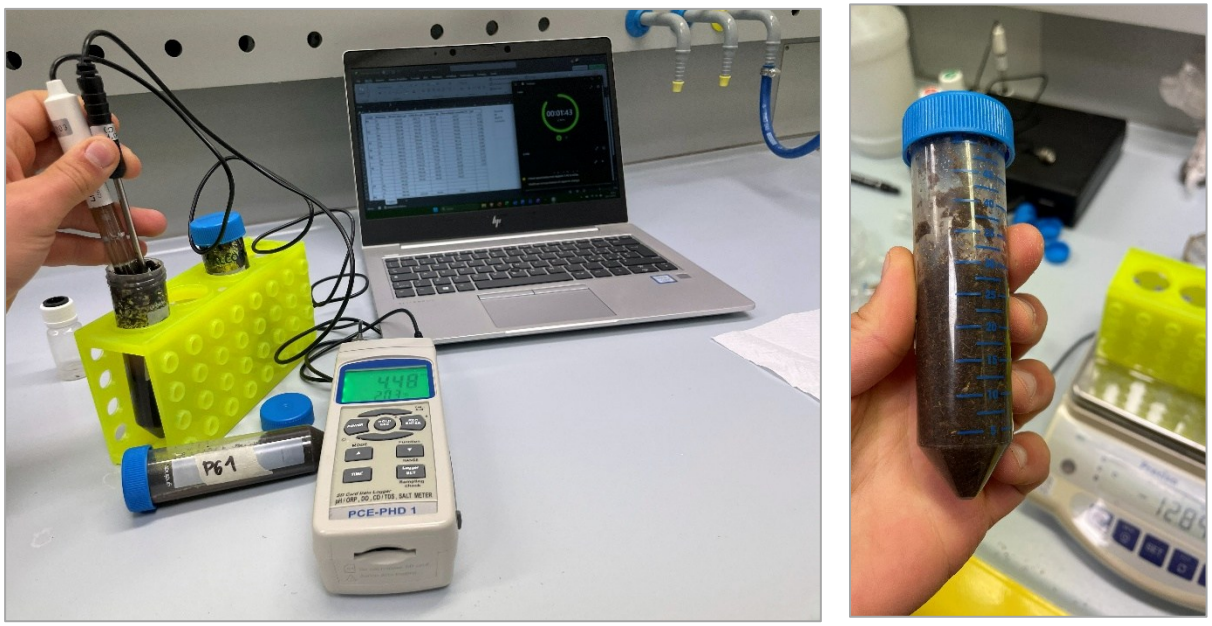


Figura 15_In primo piano l'immagine a sinistra mostra il pHmetro durante una misurazione, nel campione sono posizionati sia l'elettrodo che il termometro, a destra si vede la provetta contenente il campione diluito.

In base al valore del pH i suoli sono stati classificati tenendo conto dei valori riportati in Tabella 6 (Soil Survey Staff, 1999).

Tabella 6_ Classificazione del suolo in acido, neutro o alcalino sulla base dei valori del pH, secondo indicazioni del Soil Survei Staff, 1999

Valore pH in acqua distillata	Classificazione
< 4,5	Estremamente acidi
4,5 – 5,0	Molto fortemente acidi
5,1 – 6,0	Moderatamente acidi
6,1 – 6,5	Debolmente acidi
6,6 – 7,3	Neutri
7,4 – 7,8	Debolmente alcalini
7,9 – 8,4	Moderatamente alcalini
8,5 – 9,0	Fortemente alcalini
> 9,0	Molto fortemente alcalini

4.2.2 TESSITURA APPARENTE

Nel suolo, le particelle della terra fine (Ø < 2 mm) sono mantenute coese grazie a interazioni elettrostatiche tra diverse sostanze di natura organica e inorganica, quali carbonati, gesso, ossidi di Fe, Al, ecc. L'analisi della tessitura ha lo scopo di ripartire in classi granulometriche la terra fine del suolo, ma per spezzare questi legami e rendere indipendenti le particelle, si rendono necessari dei pretrattamenti. La tessitura apparente si ottiene con una dispersione standard. Diversamente dalla tessitura reale questo procedimento trascura la rimozione preliminare di carbonati e ossidi di ferro responsabili della cementazione delle particelle (Giordano, 2002).

Le classi granulometriche seguono diverse classificazioni: USDA, ASTM, CCSC, ISSS, confrontabili in Figura 16. La classificazione adottata in questo studio è quella americana del USDA *United States Department of Agriculture* che distingue, sulla base del loro diametro le particelle in: sabbia 2,0 – 5,0 10^{-1} mm, limo 5,0 10^{-1} – 2,0 10^{-3} mm e argilla 2,0 10^{-3} - 2,0 10^{-4} mm. Vi è poi un'ulteriore classificazione della sabbia in: molto grossolana, grossolana, media, fine e molto fine. Nella procedura adottata la sabbia è stata separata in grossa e fine con il valore Ø = 0,2 mm come discriminante.

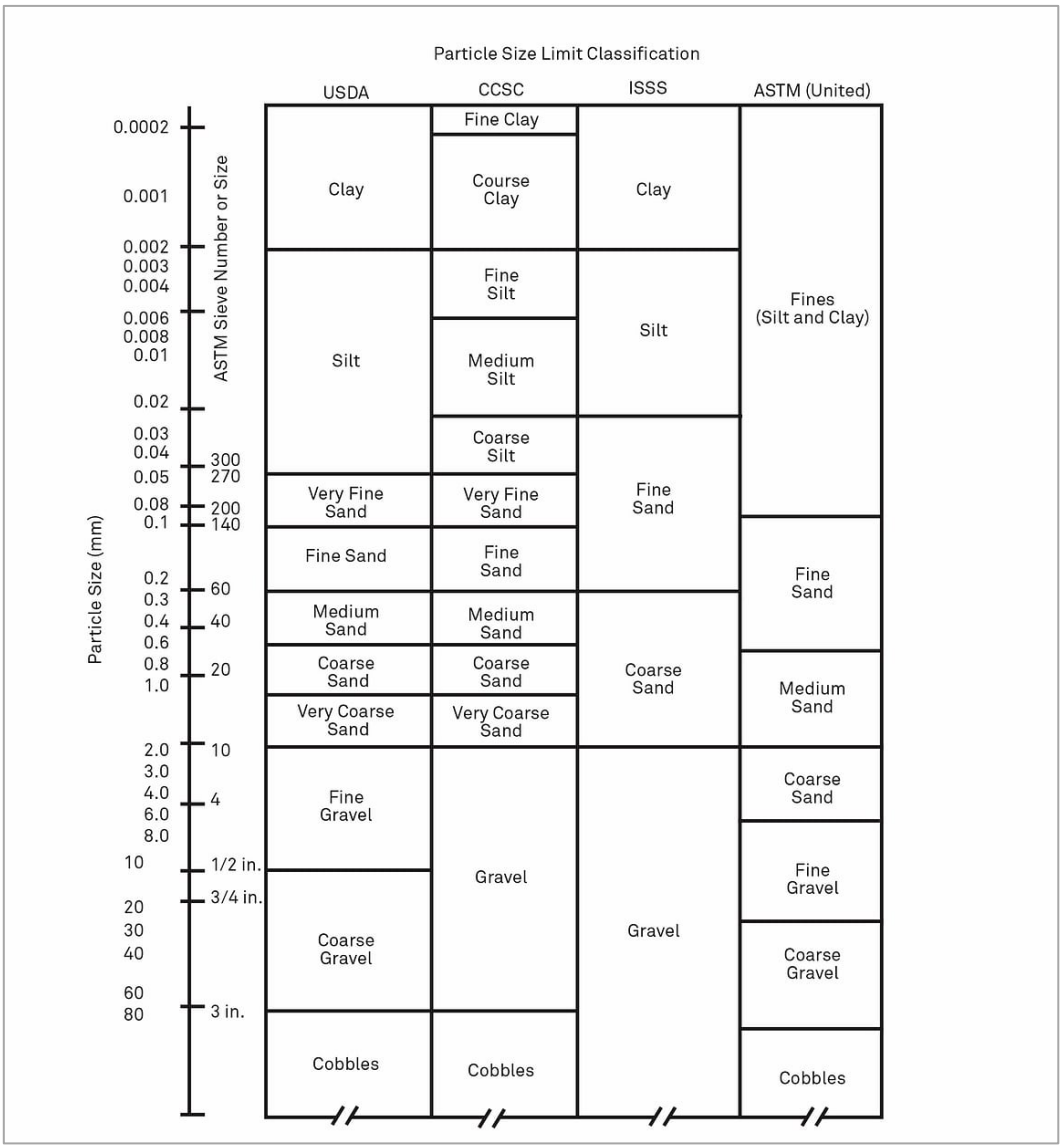


Figura 16_Classificazione dei limiti granulometrici: "Limiti granulometrici secondo diversi schemi di classificazione attuali, USDA, U.S. Department of Agriculture (Soil Survey Staff, 1075); CSSC, Canada Soil Survey Committee (McKeague, 1978; ISS, International S Soil Sci. Soc. (Yong & Warkentin, 1966); ASTM (Unified), American Society for Testing and Materials (ASTM, D-2487, 200a)". Fonte https://metergroup.com/.

L'analisi della tessitura si basa sui diversi tempi di sedimentazione di particelle disperse in soluzione. Affinchè le particelle di terra fine siano in sospensione, al campione di terra viene aggiunta una soluzione deflocculante a cui segue un'agitazione meccanica. La soluzione deflocculante è composta da 20 g di sodio esametafosfato ($NaPO_3$), 6,5 g di bicarbonato monoidrato ($Na_2CO_3 \cdot H_2O$) e 1000 ml di acqua deionizzata. Il sodio esametafosfato agisce da disperdente, complessando i cationi bivalenti di Ca e Mg delle argille, ne aumenta la carica negativa superficiale e favorisce la repulsione elettrostatica delle particelle. In questo modo si ottiene una dispersione completa dei flocculi che permette una corretta stima del contenuto di argilla, in caso contrario si avrebbe una sottostimata di questa.

La sedimentazione delle particelle segue la legge di Stokes esperssa di seguito (Equazione 2). Questa legge definisce le relazioni tra il diametro delle particelle in sospensione e il loro tasso di sedimentazione in un liquido a temperatura costante (Giordano, 2002).

$$v = \frac{d^2\ g\ (\rho_p - \rho_l)}{18\mu}$$

Equazione 2_ Legge di Stokes per determinare la velocità di sedimentazione delle particelle in un liquido viscoso. d diametro delle particelle, g accelerazione di gravità, ρ_p densità delle particelle, ρ_l densità del liquido, μ coeff. viscosità.

La variabile che incide maggiormente è la dimensione delle particelle, esiste una proporzione quadrata fra la velocità di sedimentazione e il raggio di queste. Vi è poi una proporzionalità diretta con la differenza di densità fra il fluido e le particelle e con la forza di gravità. Il risultato è invece inversamente proporzionale alla viscosità del fluido.

Secondo questa legge è possibile andare a separare le particelle nelle diverse classi granulometriche conoscendo i tempi di sedimentazione alle diverse temperature ambientali. Per fare ciò si utilizza il levigatore con pipetta di Esenwein: è composto da un cilindro di sedimentazione alto 25 cm, con alla base un rubinetto che permette di prelevare campioni di 10 ml. La procedura eseguita segue le direttive contenute in *Metodi di analisi chimica del suolo. Ministero delle Politiche Agricole e Forestali,* Franco Angeli editore (2010), capitolo II.5. Per ogni profilo, fatta eccezione del P7, è stato individuato un orizzonte caratteristico, generalmente il più spesso. Di seguito, nella Tabella 7, è riportato l'elenco dei nove orizzonti scelti.

Tabella 7_ Riporta i profili impiegati nell'analisi della tessitura apparente, secondo la sigla adottata in tutte le analisi.

Profilo	Orizzonte per la tessitura apparente
P1	P1_Bw
P2	P2_BA
P3	P3_C@
P4	P4_Bw
P5	P5_AB
P6	P6_AB
P8	P8_B
P9	P9_Bg
P10	P10_B

Per prima cosa si sono andate a preparare le soluzioni unendo i campioni al deflocculante.

I campioni di terra asciutta sono stati prima omogenizzati tramite azione manuale e in seguito ne è stata prelevata una porzione e pesata su bilancia con risoluzione di 1 mg. La quantità prelevata

varia in funzione della tessitura attesa: per maggior percentuali di sabbia sono stati impiegate quantità di analisi maggiori, mentre una maggiore presenza di argilla attesa ha comportato una riduzione della massa utilizzata. I valori delle masse impiegate nell'analisi sono compresi tra un minimo di 9,489 g e un massimo di 11,963 g. In seguito i campioni sono stati trasferiti in contenitori di polietilene da 250 ml, ai quali sono stati aggiunti 10 ml di soluzione flocculante e successivamente 90 ml di acqua deionizzata. I barattoli, chiusi con sotto-tappo e tappo, sono stati inseriti nell'agitatore rotante e mantenuti in agitazione per circa 2 ore e 30 minuti a una frequenza di 28 giri al minuto. Al termine del tempo di agitazione i campioni sono stati prelevati, pronti per essere predisposti nei rispettivi levigatori. Al di sopra dell'apertura superiore della vetreria è stato posizionato un imbuto ed un setaccio con maglie di 200 μm in modo tale da separare la frazione di sabbia grossa. Si è prestato attenzione a recuperare la frazione, composta da limo e argilla, ancora legata alla sabbia, tramite lavaggi successivi con acqua deionizzata. Questa in seguito è stata pesata separatamente, previa evaporazione della frazione acquosa. Il cilindro del levigatore è stato poi riempito di acqua fino a raggiungere la quota di 500 ml. I levigatori sono stati disposti in ordine sul banco di lavoro, come visionabile in Figura 17, pronti per le successive operazioni.



Figura 17_ Si mostrano i levigatori contenenti i 9 campioni di suolo pronti per il prelievo.

Per quantificare la porzione di sabbia, le relative piastre sono state messe in stufa a 105°C fino alla completa evaporazione della frazione acquosa, una volta estratte, durante la fase di raffreddamento, sono state riposte in un essiccatore onde evitare che assorbissero l'umidità ambientale. L'essiccatore impiegato sfruttava gel di silice (SiO_2) precedentemente scaldato, ma possono essere utilizzati anche altri composti, quali il cloruro di calcio $CaCl_2$. Le piastre sono state in seguito pesate; al valore riportato sulla bilancia è stata sottratta la tara, per ottenere la massa netta di sabbia grossa.

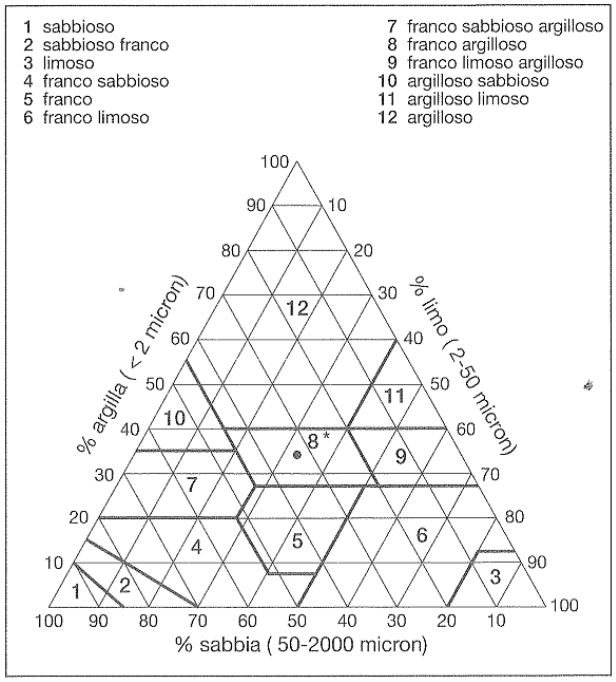
Per campionare la frazione di limo si è fatto riferimento a tempi di sedimentazione tabellari che tengono conto della temperatura del fluido. In primis è stata effettuata un'agitazione manuale del

levigatore avendo cura di non disperdere alcuna goccia di soluzione. L'operazione è stata protratta per 30 secondi mediante un movimento basculante dello strumento. Una volta riposizionato su un piano stabile, con l'ausilio di un cronometro, è stato fatto partire il conteggio del tempo di sedimentazione. È stato fondamentale che lo strumento rimanesse completamente in quiete durante questa fase. Dalle le tabelle il tempo di sedimentazione del limo a 25 °C, temperatura alla quale è stata condotta la procedura, è di 1 minuto e 42 secondi. Allo scadere del tempo, sono stati prelevati 10 ml di soluzione torbida e trasferiti su una piastra Petri. Il tempo di prelievo è stato di massimo 10–15 secondi. Le piastre sono state prima poste in stufa, successivamente in essiccatoio ed infine sono state pesate. Dal valore ottenuto, per differenza con la tara, è stato ottenuto il peso del limo. Un procedimento analogo è stato effettuato per la quantificazione dell'argilla. In questo caso i tempi di sedimentazioni sono stati significativamente maggiori e si sono protratti per diverse ore. Poiché in questo arco di tempo la temperatura ambientale del laboratorio ha subito delle variazioni significative, anche di diversi gradi centigradi, è stato preso nota dei valori minimi e massimi, al fine di considerare un valore medio nell'applicazione dei valori tabellari. La torbida è stata prelevata a 17 ore, 45 minuti e 36 secondi ed è stata raccolta nella stessa piastra Petri utilizzata precedentemente. Si è proseguito con il metodo adottato precedentemente. La Figura 18 mostra i campioni usciti dalla stufa. Dalla massa finale della piastra è stata sottratta sia la massa del limo sia la tara per ottenere la massa netta dell'argilla.



Figura 18_Piastre Petri dei 9 campioni contenenti la frazione limosa ed argillosa, appena uscite dalla stufa.

Durante il processo non si è riusciti a separare completamente la frazione più fine dal ritentato del setaccio a maglie 200 μm durante la processazione del campione P10, pertanto è stata effettuata una seconda analisi sullo stesso materiale. Nei risultati sono stati considerati i valori della seconda misurazione. Grazie ai dati ottenuti è stato possibile calcolare le diverse percentuali di sabbia grossa, sabbia fine, limo e argilla e classificare i suoli sulla base della loro tessitura apparente. Di seguito viene riportato il diagramma che permette la classificazione del suolo sulla base delle classi tessiturali e la loro nomenclatura in italiano ed in inglese (Figura 19).



Classi di tessitura			
Italiano		Inglese	
Sigla	Dicitura	Sigla	Dicitura
S	Sabbioso	S	*Sand*
SF	Sabbioso-franco	LS	*Loamy sand*
FS	Franco-sabbioso	SL	*Sandy loam*
F	Franco	L	*Loam*
FSA	Franco-sabbioso-argilloso	SCL	*Sandy clay loam*
FA	Franco-argilloso	CL	*Clay loam*
FL	Franco-limoso	ZL	*Silty loam*
L	Limoso	Z	*Silt*
FLA	Franco-limoso-argilloso	ZCL	*Silty clay loam*
AS	Argilloso-sabbioso	SC	*Sandy clay*
AL	Argilloso-limoso	ZC	*Silty clay*
A	Argilloso	C	*Clay*

Suoli sabbiosi: suoli a tessitura grossolana	S, SF
Suoli franchi:	
suoli a tessitura moderatam. grossolana	FS
suoli a tessitura media	F, FL, L
suoli a tessitura moderatam. fine	FA, FSA, FL
Suoli argillosi: suoli a tessitura fine	AS, AL, A

Figura 19_ Il diagramma delle classi percentuali permette, tramite una triangolazione, di identificare la classe di tessitura sulla base del contenuto percentuale di sabbia, limo e argilla. A fianco sono riportate le sigle e le diciture delle classi di tessitura in italiano ed in inglese (Giordano, 2002).

4.2.3 CARBONIO, AZOTO E NICHEL

All'interno del suolo il carbonio si trova sottoforma di sostanza organica - costituita da residui vegetali e animali in decomposizione - o come C inorganico. La componente organica, a seconda del grado di decomposizione, si divide in diverse frazioni, troviamo: i residui inalterati, ancora riconoscibili per forma e composizione, le sostanze semplici derivate dall'alterazione completa (polisaccaridi, glucidi, protidi, lipidi, tannini, lignina, ecc.) e le sostanze umiche. La sostanza organica ha un'influenza positiva sulle caratteristiche del suolo; ne migliora le proprietà strutturali - stabilizzando gli aggregati, aumentando l'areazione e diminuendo l'erodibilità -, incrementa la ritenzione idrica - trattenendo una maggior quota di acqua e rendendola disponibile all'assorbimento radicale - e libera, durante la sua decomposizione, elementi minerali

direttamente assimilabili dalle piante, quali nitrato (NO_3^-), potassio (K^+), diidrogeno fosfato ($H_2PO_4^-$) e idrogeno fosfato (HPO_4^{2-}). Questa frazione promuove inoltre l'inattivazione, attraverso via chimica o microbiologica, di elementi tossici quali i metalli pesanti. Gli acidi humici e fulvici formano con questi dei complessi organo-metallici, regolandone la mobilità e l'assunzione da parte dei vegetali (Giordano, 2002). Durante la fase di decomposizione della frazione organica viene rilasciato anche azoto. Questo elemento, insieme a P e K, rappresenta uno macroelementi essenziali per la vita delle piante.
Quantificare le quantità di carbonio (%C) e azoto (%N) permette di valutare in prima analisi la fertilità e la salute del suolo. Oltre a ciò, è utile calcolare il rapporto C/N che restituisce il grado di umificazione della sostanza organica. Valori minori riflettono una rapida mineralizzazione che porta ad un'immediata disponibilità di azoto, valori maggiori invece segnalano un lento andamento del processo di decomposizione, probabilmente legato a specifiche condizioni climatiche o litologiche.

Per la quantificazione del C e dell'N sono stati analizzati i trenta campioni totali. La fase di preparazione comprende un primo sminuzzamento della terra tramite mortaio a cui segue un vaglio mediante setaccio a maglie 0,455 mm. Per l'analisi bisogna prelevare una quantità di campione che va dai 10 ai 40 mg, in base alla quantità di sostanza organica che ci si aspetta di riscontrare. Per suoli organici, quali i suoli torbosi, il quantitativo scende anche al di sotto dei 10 mg. Il prelievo, pesato su una bilancia di precisione con sensibilità di 0,001 mg, viene posizionato e sigillato all'interno di un cilindretto di alluminio, si sono utilizzati contenitori cilindrici di raggio 10 mm e pari altezza (Figura 20). Per la quantificazione del C e dell'N si è fatto affidamento ad un Analizzatore Elementare CHN. Il funzionamento del macchinario prevede una prima combustione del campione ad alta temperatura (circa 900–1200 °C) in presenza di ossigeno. I composti di C, H, N si scindono e si ricostituiscono nei loro composti gassosi: rispettivamente anidride carbonica, acqua ed azoto molecolare. I gas prodotti vengono trasportati da un gas vettore inerte, solitamente elio, e vanno incontro ad un'analisi di spettrometria tramite la quale il macchinario è in grado di restituire i valori di carbonio organico totale TSOC, azoto totale TN ed il rapporto C/N.



Figura 20_ Si mostrano gli strumenti impiegati nella preparazione dei campioni per l'Analizzatore Elementare CHN.

Partendo da questi dati si è potuto andare a quantificare il *carbon stock* per ogni suolo analizzato.

In primis si è andati a ricavare la densità apparente del suolo. Per il calcolo della *bulk density* BD si è fatto ricorso alla seguente espressione che è stata creata basandosi su 691 campioni di suoli naturali e seminaturali in ambiente alpino da D'Amico *et al.*:

$$BD = -0{,}238 \cdot \ln\left(C_{org}\left(\frac{g}{kg}\right)\right) + 1{,}667$$

Equazione 3_ Per calcolare la bulk density si è utilizzata la seguente formula che ha come variabile la percentuale di carbonio organico

Con questi dati si è infine potuto calcolare lo stock di carbonio mediante la seguente formula precedentemente citata (Equazione 1):

$$C_{stock}\left(\frac{kg}{m^2}\right) = SOC(\%) \cdot BD\ \left(\frac{kg}{m^3}\right) \cdot D\ (m) \cdot (1 - SK)$$

Per l'analisi dei metalli caratterizzanti la *Serpentine Syndrome,* si è deciso di analizzare esclusivamente la concentrazione di nichel scambiabile, in quanto rappresenta uno delle maggiori discriminanti per i suoli del substrato serpentinitico (D'Amico *et al.*, 2014). Per ogni profilo è stato scelto l'orizzonte superficiale con il maggior grado di attività biologica e la maggior concentrazione di radici e i risultati ottenuti sono stati espressi come mg di Ni per kg di terreno.

5. RISULTATI

Per la classificazione dei suoli si è fatto affidamento alla classificazione WRB 2022 (IUSS Working Group WRB, 2022). Questo metodo si basa sull'identificazione di orizzonti diagnostici, la cui presenza, assenza o combinazione permette di collocare il suolo in una determinata categoria. Le categorie sono costituite da due livelli gerarchici di dettaglio. Il Primo Livello prende il nome di *Reference Soil Groups* (32 GSRs) e viene assegnato grazie ad una chiave dicotomica che evidenzia le differenze nel suolo prodotte dai processi pedologici primari; il Secondo Livello, definisce dei *qualifiers*, ovvero qualificativi principali e supplementari, questi possono essere dei prefissi - caratteri genetici/diagnostici - o suffissi - caratteri gestionali, agronomici e genetici meno importanti. L'orizzonte del suolo, per essere definito tale è uno strato di suolo che presenta almeno una sua proprietà legata ai processi di pedogenesi. Nella classificazione questo termine viene utilizzato per identificare gli orizzonti diagnostici, essenziali per collocare il suolo in un determinato GSRs. Un orizzonte genetico, per essere diagnostico, deve rispettare tutti i requisiti fissati dal WRB.

Di seguito si riportano i risultati delle proprietà raccolte sul campo e delle analisi di laboratorio per ognuno dei dieci profili aperti. Gli acronimi utilizzati nelle tabelle fanno riferimento alle indicazioni contenute in *Annex 1: Field Guide*, del WRB 2022 (IUSS Working Group WRB, 2022). In seguito ogni orizzonte è stato classificato secondo quanto riportato in *Annex 3: Horizon and layer designations*.

5.1 PROFILO 1_ PALON DI TZERE

Nome	P1
Data	11/08/2025
Condizioni metereologiche	PC Partly cloudy
Coordinate	Lat 45°53'36,522'' Long 007°42’47,8’’
Altitudine	2358 m
Esposizione	ENE 076°
Pendenza	35% 17°
Posizione	SH Shoulder
Tipo e copertura vegetale	GS Ground stratum 60%
Pietrosità superficiale	Elevata con blocchi di medio-piccole dimensioni
Segni di erosione	Eolica e da gelo
Litologia materiale parentale	Calcescisto (MF Felsic metamorphic)
WRB (2022)	Dystric Skeletic Leptic Cambisol (Arenic, Humic)



Figura 21_ Ambiente circostante al punto di apertura del P1

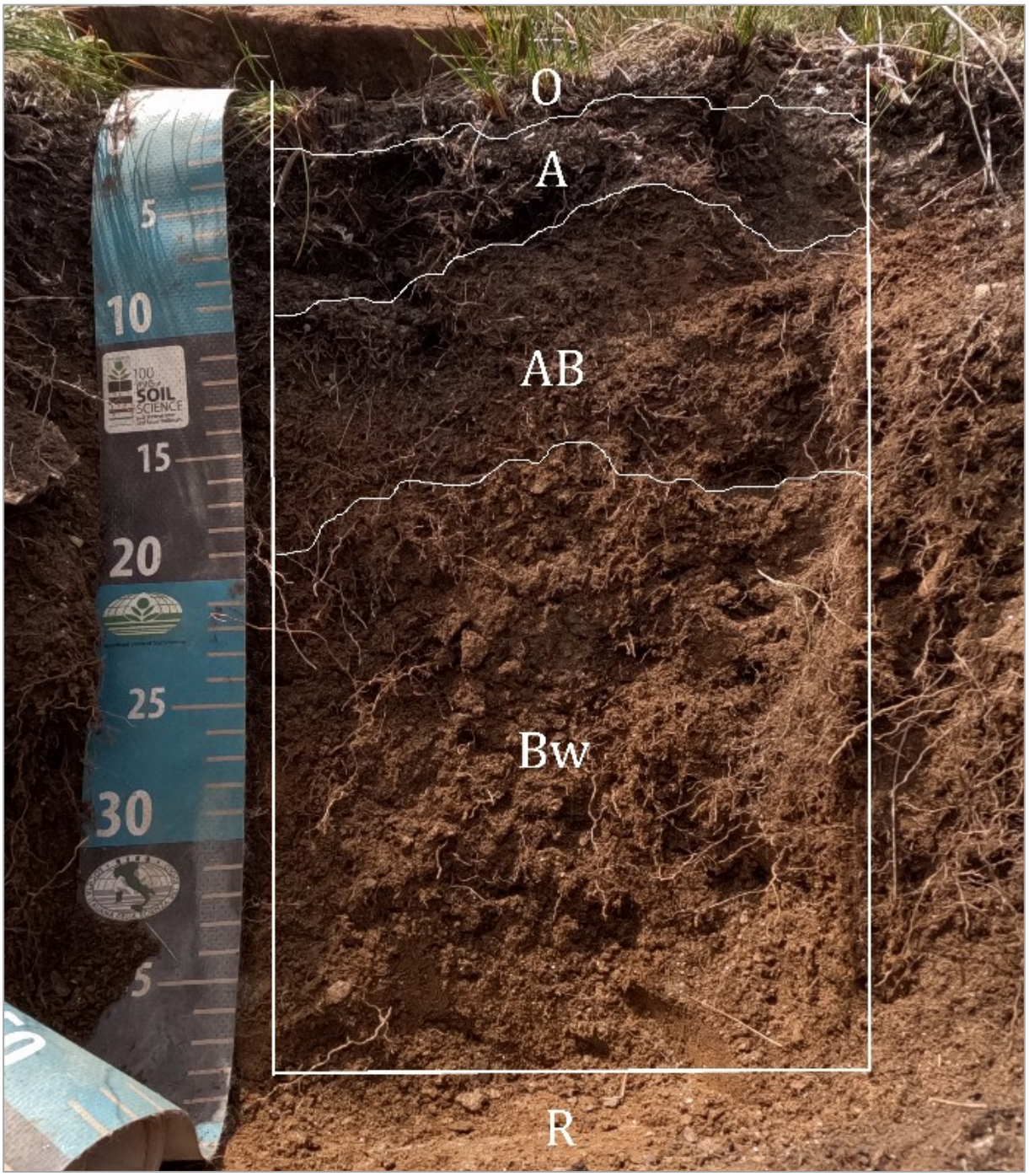


Figura 22_ Profilo P1 aperto

ID	Profondità (cm)	Spessore (cm)	Limite orizzonte	Colore	Struttura	Radici	Pietrosità	Descrizione e note
P1_Oi	0 - 2	2	-	-	-	A	< 5%	Sottilissimo strato di sostanza organica composto principalmente dalle radici fitte ed abbondanti delle comunità vegetali presenti. Elevata quantità di mica, pulita e molto evidente.
P1_A	2 - 9	7	W, C	5YR 2,5/1	GR	A	50%	Presenti granuli di mica. Grumi molto fini (ø<1mm).
P1_AB	9 - 20	11	W, G	10YR 3/2	SS	M	50%	Alta presenza di radici. SS causata dall'elevata presenza di mica, anche se meno visibile rispetto agli orizzonti precedenti.
P1_Bw	20 - 39	19	S, C	10YR 3/4	SS	C	50%	Scheletro sotto forma di roccia alterata.

ID	Spessore (cm)	Struttura	Scheletro %	pH	N%	C%	C/N	Ni (mg/kg)
P1_A	7	GR	50,00	5,21	0,22	3,19	14,59	1,28
P1_AB	11	SS	50,00	5,27	0,14	2,05	14,62	
P1_Bw	19	SS	50,00	5,28	0,04	0,61	13,63	

ID	BD (g/cm^3)	Cstock (kg/m^2)	Cstock TOT (kg/m^2)
P1_A	0,84	0,94	
P1_AB	0,95	1,07	
P1_Bw	1,24	0,72	**2,73**

	GRANULOMETRIE %			
ID	**L**	**A**	**ST**	**CLASSE**
P1_Bw	12,62	1,89	85,49	SF

Specie vegetali P1	**T**	**K**	**L**	**F**	**R**	**N**	**H**	**D**	**S**
Carex curvula	1	4	5	2,5	3	2	3	3	3
Carex fimbriata	1	3	5	3	3	1	1	5	-
Carex myosuroides (Elyna m.)	1,5	4	4	2	3	2	3	3	2
Carex sempervirens	1,5	4	5	2	3	1	5	5	2
Erigeron uniflorus	1,5	4	5	2,5	3	2	3	3	2
Euphrasia minima	5	4	3	1	4	2	3	3	-
Festuca halleri	1,5	4	5	2	2	2	3	3	2
Gentiana ramosa	1,5	4	4	2,5	2	2	3	1	2
Juncus trifidus	1,5	4	5	2	1	2	3	5	-
Primula hirsuta	1,5	3	4	3	2	2	3	5	-
Sempervivum montanum	1,5	3	5	2	2	2	3	5	-
MEDIA	1,7	3,7	4,5	2,2	2,5	1,8	3,0	3,7	2,2
DEVIAZIONE STANDARD	1,1	0,5	0,7	0,6	0,8	0,4	0,9	1,3	0,41

5.2 PROFILO 2_ SPALLA PALON DI TZERE

Nome	P2
Data	11/08/2025
Condizioni metereologiche	PC Partly cloudy
Coordinate	Lat 45°53'38,952'' Long 007°42'51,42''
Altitudine	2364 m
Esposizione	SSE 170°
Pendenza	2°
Posizione	BS Backslope
Tipo e copertura vegetale	GS Ground stratum 50%
Pietrosità superficiale	Elevata con blocchi di grandi dimensioni
Segni di erosione	Eolica e da gelo
Litologia materiale parentale	Serpentinite (MU Ultramafic metamorphic)
WRB (2022)	Dystric Skeletic Leptic Cambisol (Loamic, Humic)



Figura 23_ Ambiente del P2 ricco di rocce affioranti.



Figura 24_ Profilo P2 aperto

ID	Profondità (cm)	Spessore (cm)	Limite orizzonte	Colore	Struttura	Radici	Pietrosità	Descrizione e note
P2_Oi	0 - 4	4	-	10YR 2/1	GR	A	80%	Data la prossimità a P1, il fatto che sia più umido è probabilmente dato dalla minore pendenza. Scheletro ha dimensioni ø 5-7 cm
P2_A	4 - 8	4	W, G	10YR 3/3	GR	A	70%	Abbondante presenza di radici. Struttura grumosa fine. Scheletro ha dimensioni ø 30 cm.
P2_BA	8 - 19	11	W, G	10YR 3/4	SR	M	80%	Scheletro ha diametri minori. Struttura determinata anche dall'elevata pietrosità.
P2_Bw	19 - 31	22	W, G	10YR 4/6	M	C	85%	Scheletro ha diametri minori. Compattezza determinata dall'elevata presenza di limo.
P2_Cδ	31 - 40	-		2,5YR 4/4			85%	Serpentinite Scheletro con diametri maggiori

ID	Spessore (cm)	Struttura	Scheletro %	pH	N%	C%	C/N	Ni (mg/kg)
P2_A	4	GR	70,00	5,31	0,26	3,38	12,89	13,87
P2_BA	11	SR	80,00	5,48	0,11	1,26	11,44	
P2_Bw	22	M	85,00	5,62	0,05	0,57	12,49	

ID	BD (g/cm^3)	Cstock (kg/m^2)	Cstock TOT (kg/m^2)
P2_A	0,83	0,34	
P2_BA	1,06	0,30	
P2_Bw	1,25	0,23	**0,87**

	GRANULOMETRIE %			
ID	**L**	**A**	**ST**	**CLASSE**
P2_BA	35,93	3,05	61,02	FS

P2	**T**	**K**	**L**	**F**	**R**	**N**	**H**	**D**	**S**
Armeria alpina	1	4	5	2	2	2	3	3	2
Biscutella laevigata	2	3	4	2,5	4	2	3	5	2
Campanula scheuchzeri	1,5	3	4	2,5	3	3	3	3	4
Carex fimbriata	1	3	5	3	3	1	1	5	-
Carex myosuroides (Elyna myosuroides)	1,5	4	4	2	3	2	3	3	2
Carex sempervirens	1,5	4	5	2	3	1	5	5	2
Festuca scabriculmis	1,5	4	5	1,5	2	2	3	5	2
Festuca halleri	1,5	4	5	2	2	2	3	3	2
Gentiana acaulis	1,5	3	4	2,5	2	2	3	3	3
Juncus trifidus	1,5	4	5	2	1	2	3	5	-
Luzula lutea	1,5	3	4	2	2	2	5	3	2
Noccaea sylvia	1	4	5	3,5	3	2	1	5	-
Phyteuma hemisphaericum	1,5	3	4	2,5	1	2	3	3	2
Salix retusa	1,5	2	5	3	4	2	1	5	2
Saxifraga bryoides	1	3	5	3,5	2	1	1	5	-
Sempervivum montanum	1,5	3	5	2	2	2	3	5	-
Vaccinium gaultherioides	1,5	3	3	3,5	1	2	5	1	2
MEDIA	1,4	3,4	4,5	2,5	2,4	1,9	2,9	3,9	2,3
DEVIAZIONE STANDARD	0,3	0,6	0,6	0,6	0,9	0,5	1,3	1,2	0,62

5.3 PROFILO 3_ GRAND LAC

Nome	P3
Data	11/08/2025
Condizioni metereologiche	PC Partly cloudy
Coordinate	Lat 45°53'56,052'' Long 007°43'43.926''
Altitudine	2675 m
Esposizione	ESE 124°
Pendenza	10°
Posizione	SH Shoulder
Tipo e copertura vegetale	GS Ground stratum 10%
Pietrosità superficiale	Elevata con blocchi di piccole dimensioni
Segni di erosione	Eolica e da gelo accentuati
Litologia materiale parentale	Serpentinite (MU Ultramafic metamorphic)
WRB (2022)	Akroskeletic Leptosol (Loamic, Toxic Turbic)



Figura 25_ Apertura del P3, sullo sfondo il Grand Lac

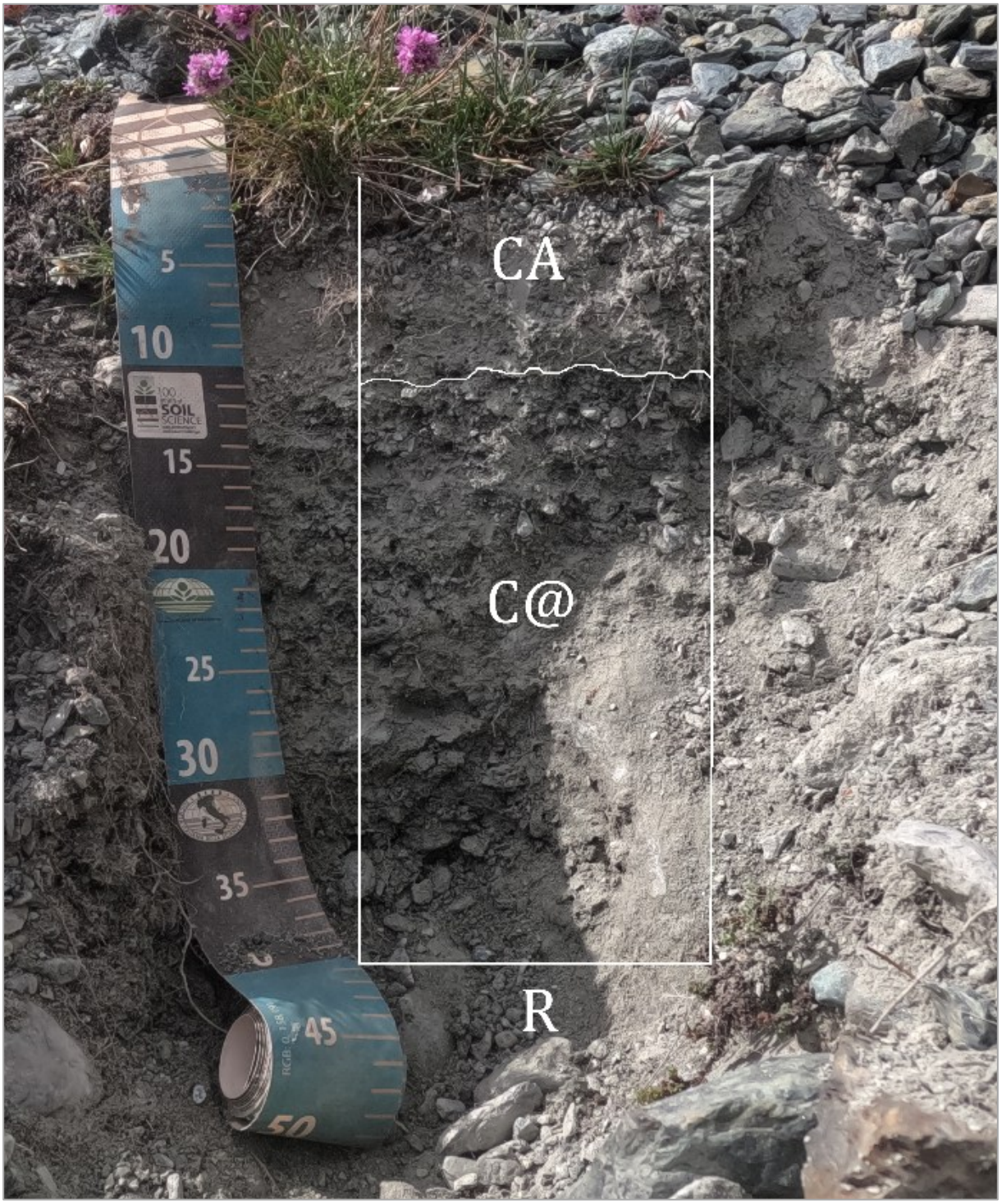


Figura 26_ Profilo P3 aperto

ID	Profondità (cm)	Spessore (cm)	Limite orizzonte	Colore	Struttura	Radici	Pietrosità	Descrizione e note
P3_CA	0 - 11	11	S, C	5YR 4/2	LC	V	15%	Tessitura limosa Laminare grossolana
P3_C@	11 - 41	30	W, C	5YR 5/1	LC	V	40%	Elevata presenza di magnetite Laminare e vescicolare

ID	Spessore (cm)	Struttura	Scheletro %	pH	N%	C%	C/N	Ni (mg/kg)
P3_CA	11	LC	15,00	6,06	0,00	0,21		41,27
P3_C@	30	LC	40,00	6,36	0,00	0,22		

ID	BD (g/cm^3)	Cstock (kg/m^2)	Cstock TOT (kg/m^2)
P3_CA	1,49	0,29	
P3_C@	1,48	0,59	**0,88**

	GRANULOMETRIE %			
ID	**L**	**A**	**ST**	**CLASSE**
P3_C@	31,13	10,17	58,69	FS

Specie vegetali P3	T	K	L	F	R	N	H	D	S
Armeria alpina	1	4	5	2	2	2	3	3	2
Noccaea rotundifolia	1,5	3	5	3	5	2	1	5	-
Parnassia palustris	2	3	4	4	4	2	3	1	2
Poa alpina	1,5	3	4	3,5	3	4	3	3	3
Saxifraga oppositifolia	1	4	5	3,5	4	2	1	5	-
MEDIA	1,4	3,4	4,6	3,2	3,6	2,4	2,2	3,4	2,3
DEVIAZIONE STANDARD	0,4	0,5	0,5	0,8	1,1	0,9	1,1	1,7	0,58

5.4 PROFILO 4_ SENTIERO 6C SO

Nome	P4
Data	19/08/2025
Condizioni metereologiche	OV Overcast
Coordinate	Lat 45°53'14,874'' Long 007°42'49,62''
Altitudine	2450 m
Esposizione	SSW 214°
Pendenza	8°
Posizione	BS Backslope
Tipo e copertura vegetale	GS Ground stratum 70%
Pietrosità superficiale	Bassa con blocchi di grandi dimensioni
Segni di erosione	Eolica e da gelo
Litologia materiale parentale	Calcescisto (MF Felsic metamorphic)
WRB (2022)	Dystric Skeletic Leptic Cambisol (Arenic, Humic)



Figura 27_ Sfondo del P4, in secondo piano il Palon di Tzére

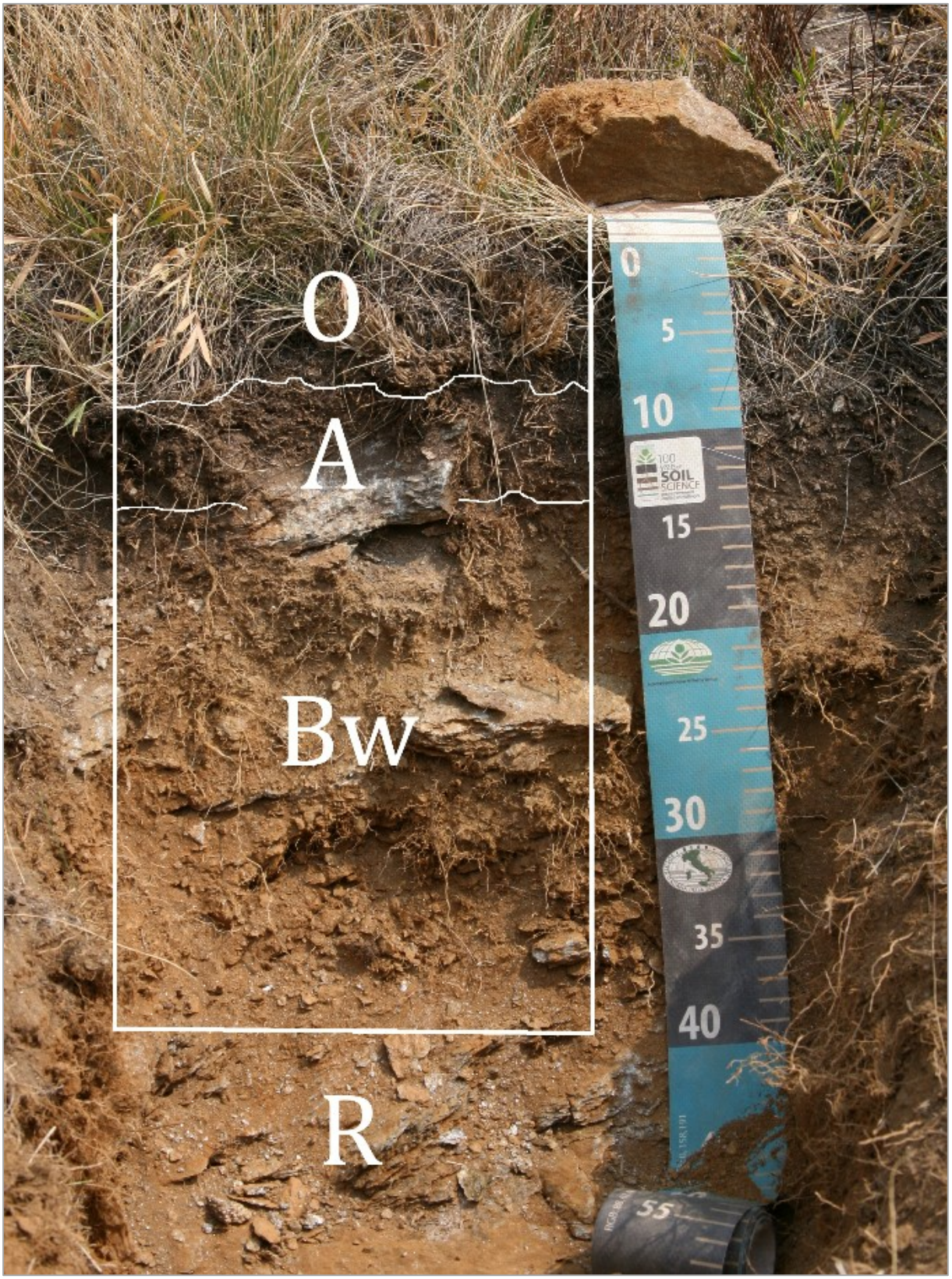


Figura 28_ Profilo P4 aperto

ID	Profondità (cm)	Spessore (cm)	Limite orizzonte	Colore	Struttura	Radici	Pietrosità	Descrizione e note
P4_Oe	0 - 7	7	S, G	-	-	A	< 5%	Estremamente povero di umidità (periodo di siccità prolungata). Rizo moder formato principalmente da radici di graminacee.
P4_A	7 - 13	5	S, C	10YR 2/1	GR	A	25%	Frammenti di micascisti (mica con ø 1 mm) con presenza di granati, probabilmente trasportati dal ghiacciaio.
P4_Bw	13 - 37	24	S, G	7,5YR 4/4	GR	M	50%	Maggior presenza di mica rispetto agli orizzonti precedenti.

ID	Spessore (cm)	Struttura	Scheletro %	pH	N%	C%	C/N	Ni (mg/kg)
P4_A	5	GR	25,00	4,61	0,36	4,27	11,95	0,99
P4_Bw	24	GR	50,00	4,89	0,17	2,32	13,37	

ID	BD (g/cm^3)	Cstock (kg/m^2)	Cstock TOT (kg/m^2)
P4_A	0,77	1,24	
P4_Bw	0,92	2,56	**3,79**

	GRANULOMETRIE %			
ID	**L**	**A**	**ST**	**CLASSE**
P4_Bw	19,84	2,29	77,87	SF

Specie vegetali P4	T	K	L	F	R	N	H	D	S
Antennaria dioica	2	3	4	2	2	2	3	3	4
Carex curvula	1	4	5	2,5	3	2	3	3	3
Carex sempervirens	1,5	4	5	2	3	1	5	5	2
Festuca scabriculmis	1,5	4	5	1,5	2	2	3	5	2
Nardus stricta	2,5	3	4	3	2	2	3	1	2
Juncus trifidus	1,5	4	5	2	1	2	3	5	-
Trifolium alpinum	1,5	3	4	2,5	2	2	3	3	2
MEDIA	1,6	3,6	4,6	2,2	2,1	1,9	3,3	3,6	2,5
DEVIAZIONE STANDARD	0,5	0,5	0,5	0,5	0,7	0,4	0,8	1,5	0,84

5.5 PROFILO 5_ SENTIERO 6C NE

Nome	P5
Data	19/08/2025
Condizioni metereologiche	OV Overcast
Coordinate	Lat 45°53'13,566'' Long 007°42'49,182''
Altitudine	2348 m
Esposizione	NNE 36°
Pendenza	20°
Posizione	FS Footslope
Tipo e copertura vegetale	GS Ground stratum 80%
Pietrosità superficiale	Media con blocchi di medio-grandi dimensioni
Segni di erosione	Eolica e da gelo, segni di soliflusso
Litologia materiale parentale	Metabasalto (MM Mafic metamorphic)
WRB (2022)	Skeletic Leptic Umbrisol (Loamic, Humic)



Figura 29_ Area limitrofa al P5

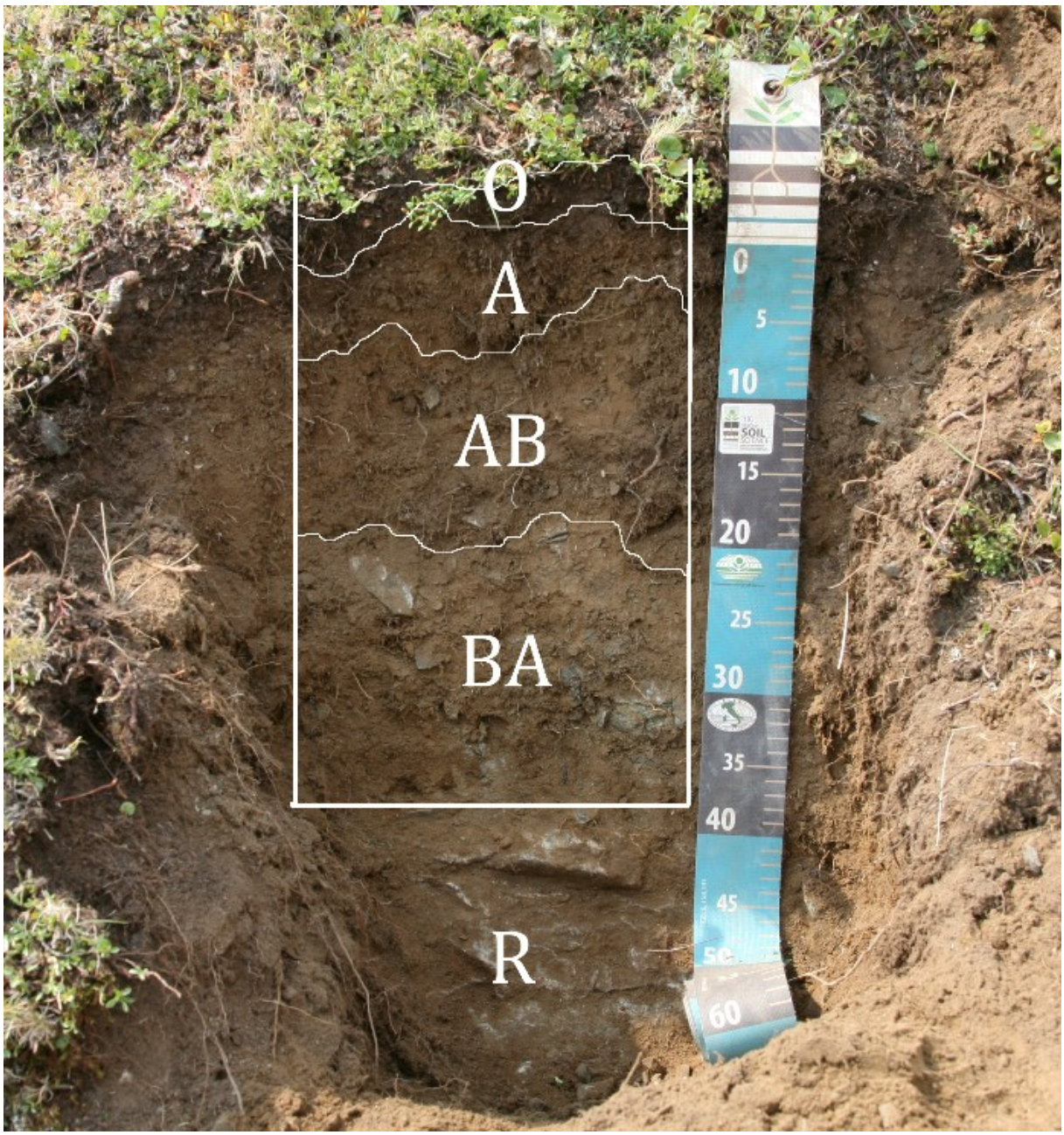


Figura 30_ Profilo P5 aperto

ID	Profondità (cm)	Spessore (cm)	Limite orizzonte	Colore	Struttura	Radici	Pietrosità	Descrizione e note
P5_Oa	0 - 3	3	W, C	-	-	A	< 5%	Moder fine e morbido al tatto. Terreno più umido rispetto a P4 prossimo. Inaspettata presenza di un lombrico.
P5_A	3 - 9	6	W, C	2,5Y 2,5/1	GR	A	10%	Struttura molto fine
P5_AB	9 - 22	13	W, G	2,5Y 3/3	PH, LC	C	20%	Struttura con poliedri di piccole dimensioni e aggregati laminari determinati dal gelo.
P5_BA	22 - 38	16	S, C	10YR 3/3	SS	C	70%	Struttura quasi assente.

ID	Spessore (cm)	Struttura	Scheletro %	pH	N%	C%	C/N	Ni (mg/kg)
P5_A	6	GR	10,00	5,05	0,11	1,69	15,38	2,78
P5_AB	13	PH, LC	20,00	5,11	0,20	3,18	16,22	
P5_BA	16	SS	70,00	5,14	0,06	0,82	14,35	

ID	BD (g/cm^3)	Cstock (kg/m^2)	Cstock TOT (kg/m^2)
P5_A	0,99	0,91	
P5_AB	0,84	2,79	
P5_BA	1,16	0,46	**4,16**

	GRANULOMETRIE %			
ID	**L**	**A**	**ST**	**CLASSE**
P5_AB	27,52	3,25	69,23	FS

Specie vegetali P5	**T**	**K**	**L**	**F**	**R**	**N**	**H**	**D**	**S**
Antennaria dioica	2	3	4	2	2	2	3	3	4
Bistorta vivipara	2,5	3	3	4	3	4	5	1	3
Gentiana acaulis	1,5	3	4	2,5	2	2	3	3	3
Geum montanum	1,5	3	4	3	2	2	3	3	3
Homogyne alpina	2	3	3	3,5	2	2	5	1	3
Juncus jacquinii	1,5	3	4	3,5	2	2	3	1	2
Loiseleuria procumbens	1,5	4	5	2	2	1	5	3	2
Lotus alpinus	1,5	3	5	3	3	3	3	3	3
Poa alpina	1,5	3	4	3,5	3	4	3	3	3
Potentilla crantzii	1,5	4	4	2,5	4	2	3	3	2
Salix retusa	1,5	2	5	3	4	2	1	5	2
Silene acaulis	1	3	5	3	4	1	1	5	2
Vaccinium gaultherioides	1,5	3	3	3,5	1	2	5	1	2
MEDIA	1,6	3,1	4,1	3,0	2,6	2,2	3,3	2,7	2,6
DEVIAZIONE STANDARD	0,4	0,5	0,8	0,6	1,0	0,9	1,4	1,4	0,65

5.6 PROFILO 6_ DOSSETTO CRIONIVALE

Nome	P6
Data	19/08/2025
Condizioni metereologiche	OV Overcast
Coordinate	Lat 45°52'56,04'' Long 007°42'52,59''
Altitudine	2340 m
Esposizione	E 100°
Pendenza	5°
Posizione	VB Valley bottom
Tipo e copertura vegetale	GS Ground stratum 80%
Pietrosità superficiale	Media con blocchi di medio-piccole dimensioni concentrati a valle o a monte dei dossetti crionivali
Segni di erosione	Da gelo e soliflusso
Litologia materiale parentale	Metabasalto (MM Mafic metamorphic)
WRB (2022)	Dystric Cambisol (Loamic, Humic, Turbic)

N.B. In questo ambiente vi sono due movimenti opposti che modificano gli orizzonti pedologici, uno verso l'alto determinato dai cicli di gelo e uno verso il basso causato dal soliflusso. Il dossetto crionivale presenta due distinte comunità vegetali, a destra prevalgono le Graminacee e le Ciperacee quali *Festuca scabriculmis, Carex curvula, Carex myosuroides (Elyna myosuroides),* qui si concentrano le radici; mentre a sinistra troviamo principalmente *Loiseleuria procumbens*.



Figura 31_ Area di dossetti crionivali in prossimità del P6

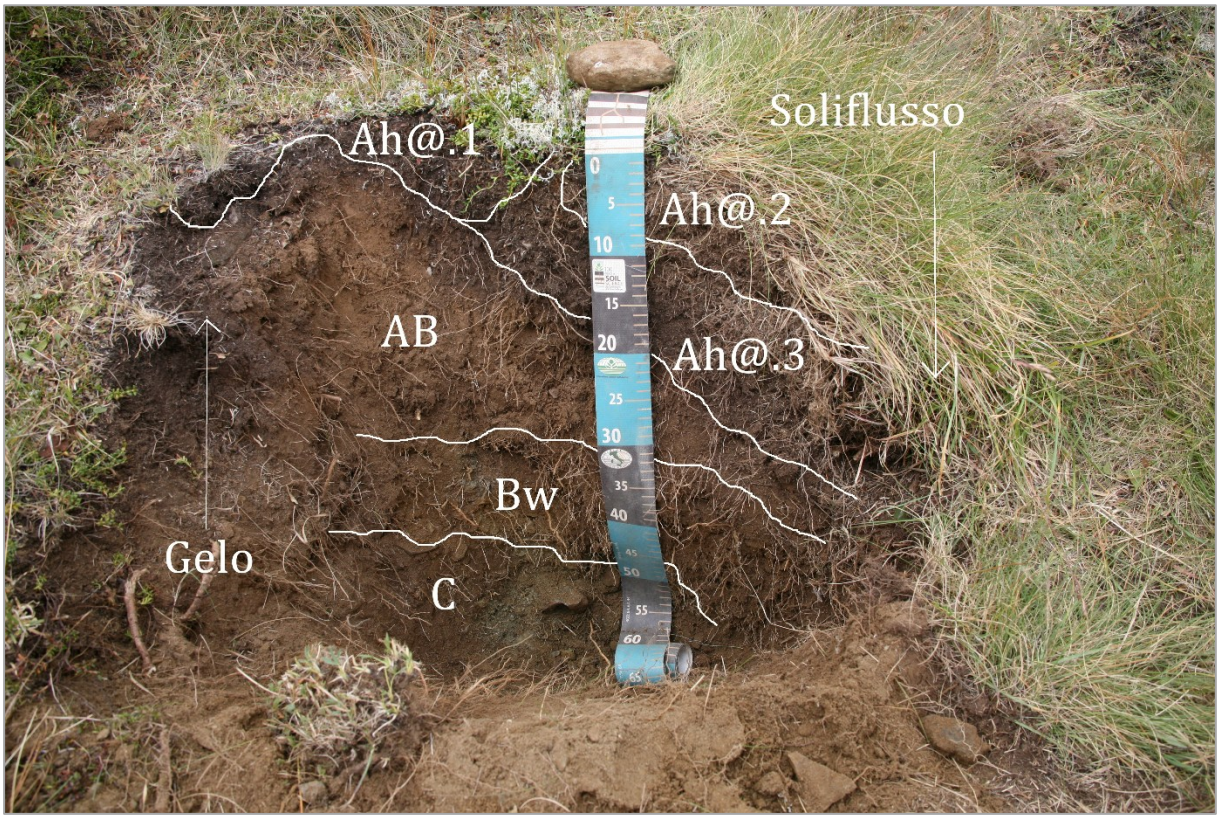


Figura 32_ Profilo P6 aperto caratterizzato da crioturbazione

ID	Profondità (cm)	Spessore (cm)	Limite orizzonte	Colore	Struttura	Radici	Scheletro	Descrizione e note
P6_Ah@.1	Per informazioni ci si riferisce ai limiti segnalati nella Figura 32			7,5 YR 2/1	GR	M	< 5%	Limite I, C
P6_Ah@.2				10YR 2/1	GR	A	< 5%	O Rizo → Abbondanti radici di graminacee di medie dimensioni.
P6_Ah@.3				7,5YR 2,5/2	GR	M	< 5%	Struttura grumosa
P6_AB				10YR 3/2	PH	C	10%	Struttura poligonale
P6_Bw				10YR 4/4	SS	M	20%	Frammenti di metabasalto
P6_C				5Y 4/3	SS	C	50%	Frammenti evidenti del substrato

ID	Spessore (cm)	Struttura	Scheletro %	pH	N%	C%	C/N	Ni (mg/kg)
P6_Ah@.1	1-7	GR	5,00	4,61	0,88	14,35	16,24	0,98
P6_Ah@.2	5	GR	5,00	4,52	0,99	18,08	18,31	1,12
P6_Ah@.3	10-30	PH	5,00	4,55	0,83	13,22	15,84	
P6_AB	20	SS	10,00	4,81	0,19	2,96	15,63	
P6_Bw	10	SS	20,00	4,95	0,13	1,93	14,56	

ID	BD (g/cm^3)	Cstock (kg/m^2)	Cstock TOT (kg/m^2)
P6_Ah@	0,48	2,65	
P6_Ah@	0,43	3,69	
P6_Ah@	0,50	12,67	
P6_AB	0,86	4,58	
P6_Bw	0,96	1,49	**25,08**

	GRANULOMETRIE %			
ID	**L**	**A**	**ST**	**CLASSE**
P6_4	27,07	1,93	71,00	FS

Specie vegetali P6	T	K	L	F	R	N	H	D	S
Agrostis rupestris	1	4	5	2,5	2	2	3	1	2
Alchemilla pentaphyllea	1	1	4	4	2	3	5	1	-
Antennaria dioica	2	3	4	2	2	2	3	3	4
Bistorta vivipara	2,5	3	3	4	3	4	5	1	3
Carex curvula	1	4	5	2,5	3	2	3	3	3
Carex myosuroides (Elyna myosuroides)	1,5	4	4	2	3	2	3	3	2
Festuca scabriculmis	1,5	4	5	1,5	2	2	3	5	2
Gentiana acaulis	1,5	3	4	2,5	2	2	3	3	3
Geum montanum	1,5	3	4	3	2	2	3	3	3
Homogyne alpina	2	3	3	3,5	2	2	5	1	3
Juncus jacquinii	1,5	3	4	3,5	2	2	3	1	2
Loiseleuria procumbens	1,5	4	5	2	2	1	5	3	2
Luzula spicata	1,5	3	5	2,5	2	1	3	3	2
Nardus stricta	2,5	3	4	3	2	2	3	1	2
Salix herbacea	1	1	5	3,5	2	2	3	1	2
Trifolium alpinum	1,5	3	4	2,5	2	2	3	3	2
Vaccinium gaultherioides	1,5	3	3	3,5	1	2	5	1	2
Valeriana celtica	1	3	4	2	2	2	3	5	-
MEDIA	1,5	3,1	4,2	2,8	2,1	2,1	3,6	2,3	2,4
DEVIAZIONE STANDARD	0,5	0,9	0,7	0,8	0,5	0,6	0,9	1,4	0,63

5.7 PROFILO 7_ TORBIERA

Nome	P7
Data	19/08/2025
Condizioni metereologiche	OV Overcast
Coordinate	Lat 45°52'58,23'' Long 007°42'50,964''
Altitudine	2346 m
Esposizione	/
Pendenza	0°
Posizione	TS Toe slope
Tipo e copertura vegetale	GS Ground stratum 90%
Pietrosità superficiale	Assente
Segni di erosione	Assenti
WRB (2022)	Hemic Histosol



Figura 33_ Torbiera dell'Alpe di Vardaz

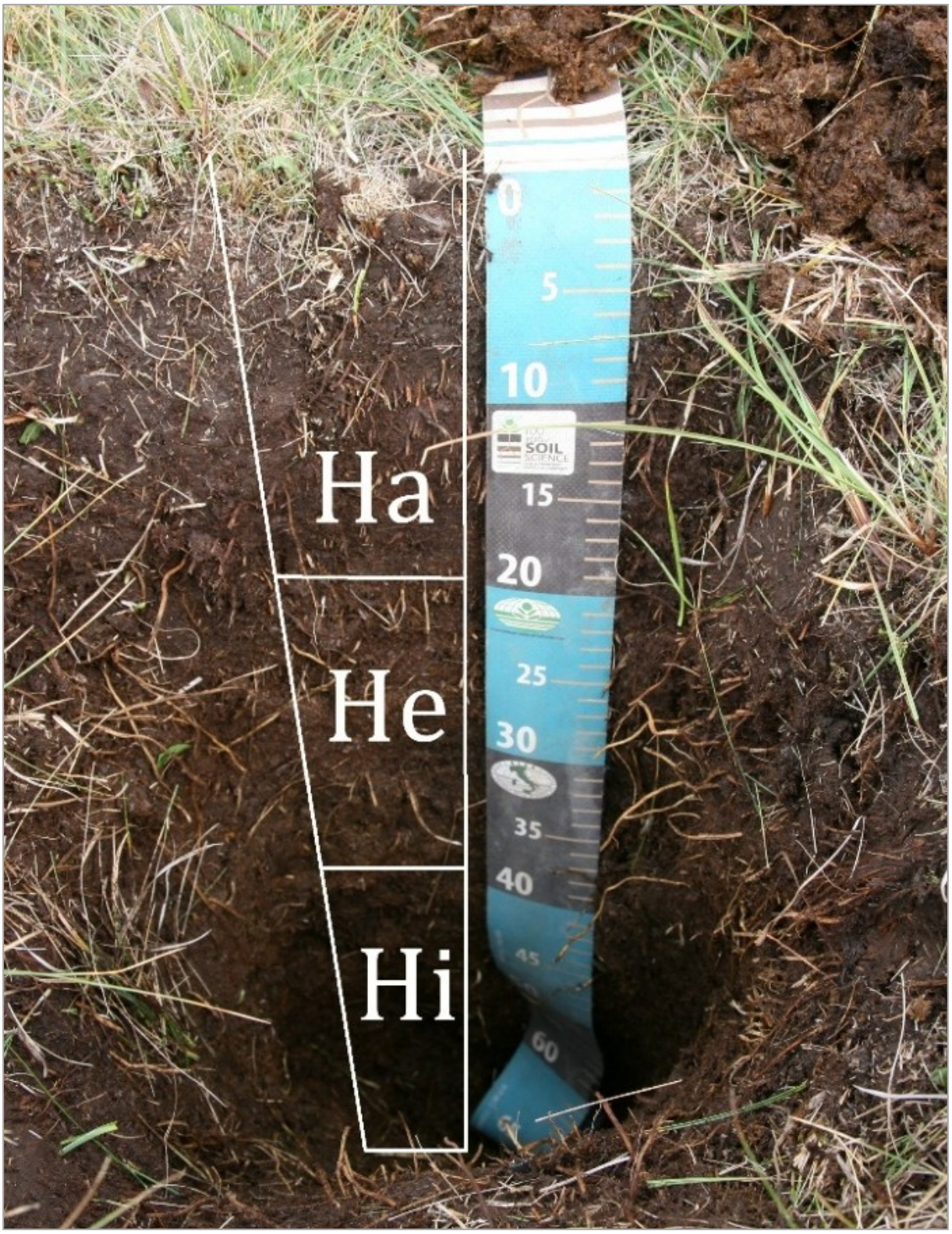


Figura 34_ Profilo P7 aperto

ID	Profondità (cm)	Spessore (cm)	Limite orizzonte	Colore	Struttura	Radici	Pietrosità	Descrizione e note
P7_Ha	0 - 20	20	S, G	10YR 2/2	M	M	< 5%	Orizzonte estremamente decomposto, aspetto simile ad un orizzonte minerale
P7_He	20 - 38	18	S, G	10YR 3/3	M	M	< 5%	Vegetazione mediamente decomposta riconoscibili resti di *Sphagnum* e *Carex*
P7_Hi	38	-	-	10YR 3/4	M	M	< 5%	Vegetazione poco decomposta, riconoscibili resti di *Sphafgnum*

ID	Spessore (cm)	Struttura	Scheletro %	pH	N%	C%	C/N	Ni (mg/kg)
P7_Ha	20	M	<5,00	4,78	1,96	27,02	13,76	0,41
P7_He	18	M	<5,00	4,80	1,86	42,42	22,86	
P7_Hi	20	M	<5,00	4,90	1,60	38,97	24,30	

ID	BD (g/cm^3)	Cstock (kg/m^2)	Cstock TOT (kg/m^2)
P7_Ha	0,33	17,17	
P7_He	0,23	16,47	
P7_Hi	0,25	18,31	**51,94**

Specie vegetali P7	T	K	L	F	R	N	H	D	S
Antennaria dioica	2	3	4	2	2	2	3	3	4
Bellidiastrum michelii	2	3	3	3,5	4	2	3	1	1
Calluna vulgaris	2,5	2	3	3	1	2	5	1	1
Carex nigra	2,5	3	4	4,5	2	2	5	1	2
Carex sempervirens	1,5	4	5	2	3	1	5	5	2
Homogyne alpina	2	3	3	3,5	2	2	5	1	3
Loiseleuria procumbens	1,5	4	5	2	2	1	5	3	2
Nardus stricta	2,5	3	4	3	2	2	3	1	2
Selaginella selaginoides	2	3	3	3,5	4	2	5	3	3
Trichophorum cespitosum	2,5	3	4	4,5	1	1	5	1	1
MEDIA	2,1	3,1	3,8	3,2	2,3	1,7	4,4	2,0	2,1
DEVIAZIONE STANDARD	0,4	0,6	0,8	0,9	1,1	0,5	1,0	1,4	0,99

5.8 PROFILO 8_ LARICETO

Nome	P8
Data	19/08/2025
Condizioni metereologiche	OV Overcast
Coordinate	Lat 45°52'46,716'' Long 007°43’34,092''
Altitudine	2146 m
Esposizione	SO 235°
Pendenza	10°
Posizione	FS Footslope
Tipo e copertura vegetale	MS Mid-stratum 90%
Pietrosità superficiale	Media con blocchi di grandi-enormi dimensioni (pressi di una frana recente)
Segni di erosione	Scarsi
Litologia materiale parentale	Serpentinite (MU Ultramafic metamorphic)
WRB (2022)	Skeletic Leptic Entic Podzol (Loamic, Toxic)

N. B. Profilo posto al margine di un lariceto sotto ad un versante carico di massi di grandi dimensioni di serpentino.



Figura 35_ Area limitrofa al P8 che mostra i resti di un'antica frana

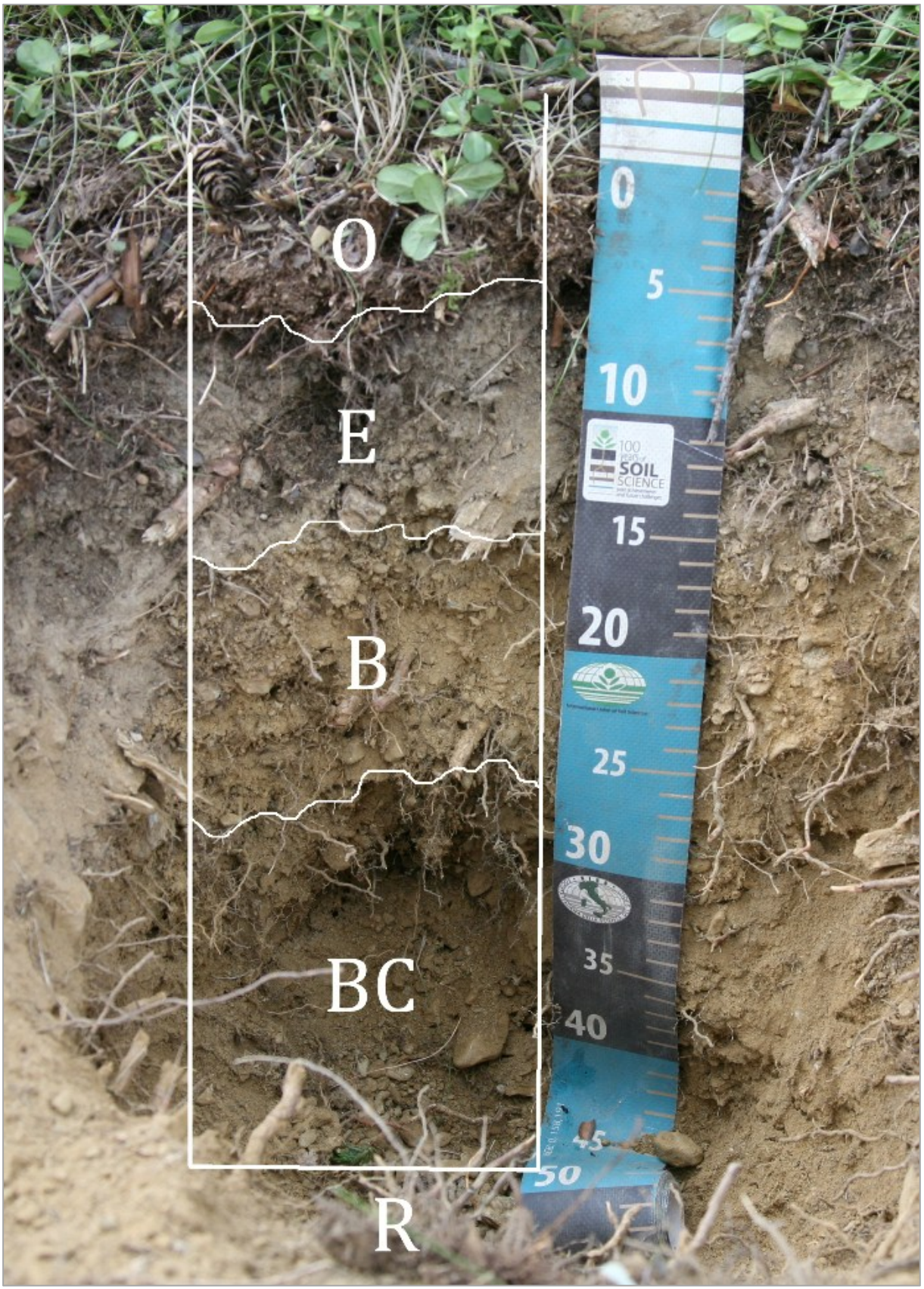


Figura 36_ Profilo P8 aperto

ID	Profondità (cm)	Spessore (cm)	Limite orizzonte	Colore	Struttura	Radici	Pietrosità	Descrizione e note
P8_Oi	0 – 4	4	W, A	-	-	A	< 5%	Rizo moder
P8_E	4 – 7/17	3/13	W, C	2,5Y 4/2	GR, LC	F	20%	Struttura forte
P8_B	7/17 - 29	22/12	W, G	10YR 5/8	-	M	15%	Struttura non visibile per l'eccesso di radici
P8_BC	29 - 45	16	S, C	10YR 4/4	SS	C	70%	Frammenti del substrato di serpentino

ID	Spessore (cm)	Struttura	Scheletro %	pH	N%	C%	C/N	Ni (mg/kg)
P8_E	3-13	GR, LC	20,00	4,70	0,13	2,80	21,39	8,22
P8_B	22-12		15,00	5,09	0,03	0,70	22,63	

ID	BD (g/cm^3)	Cstock (kg/m^2)	Cstock TOT (kg/m^2)
P8_E	0,87	1,56	
P8_B	1,20	1,22	**2,78**

	GRANULOMETRIE %			
ID	**L**	**A**	**ST**	**CLASSE**
P8_B	28,64	5,04	66,32	FS

Specie vegetali P8	T	K	L	F	R	N	H	D	S
Calluna vulgaris	2,5	2	3	3	1	2	5	1	1
Carex fimbriata	1	3	5	3	3	1	1	5	-
Juniperus nana	1,5	4	4	2	3	2	3	3	-
Larix decidua	2	4	4	3	2	2	3	3	-
Nardus stricta	2,5	3	4	3	2	2	3	1	2
Vaccinium myrtillus	2,5	3	2	3	1	2	5	1	2
Vaccinium vitis-idaea	2,5	3	3	2,5	1	2	5	3	2
MEDIA	2,1	3,1	3,6	2,8	1,9	1,9	3,6	2,4	1,8
DEVIAZIONE STANDARD	0,6	0,7	1,0	0,4	0,9	0,4	1,5	1,5	0,50

5.9 PROFILO 9_ TORRENTE DI TZERE

Nome	P9
Data	25/08/2025
Condizioni metereologiche	SU Sunny
Coordinate	Lat 45°53'0,948'' Long 007°43’17,07''
Altitudine	2185 m
Esposizione	/
Pendenza	0°
Posizione	OB Basin with outflow
Tipo e copertura vegetale	GS Ground stratum 90%
Pietrosità superficiale	Media con blocchi di grandi-enormi dimensioni (pressi di una frana recente)
Segni di erosione	Scarsi
Litologia materiale parentale	Metabasalto (MM Mafic metamorphic)
WRB (2022)	Dystric Fluvic Oxygleyic Gleysol (Loamic, Humic, Toxic)

N.B. Profilo aperto a 1,5 m dal torrente di Tzére, in prossimità di una frana di massi di grosse dimensioni staccatosi presumibilmente dal versante a nord.



Figura 37_ Area adiacente al P9, sulla destra il torrente di Tzére

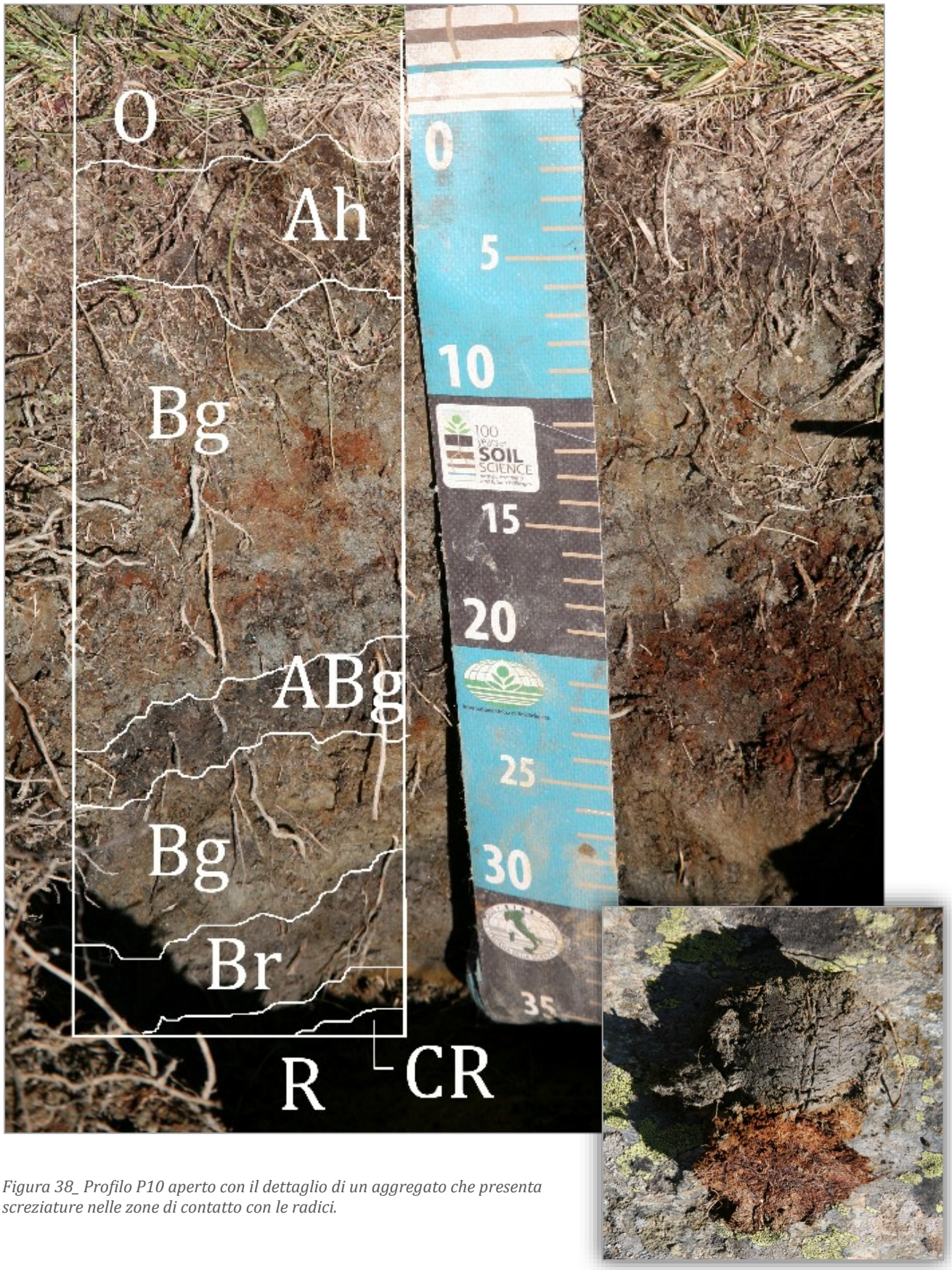


Figura 38_ Profilo P10 aperto con il dettaglio di un aggregato che presenta screziature nelle zone di contatto con le radici.

ID	Profondità (cm)	Spessore (cm)	Limite orizzonte	Colore	Struttura	Radici	Pietrosità	Descrizione e note
P9_Oe	0 - 3	3	S, G	-	-	A	< 5%	O Rizo composto principalmente dalle radici fitte ed abbondanti. Consistenza umida
P9_Ah	3 - 6	3	W, G	10YR 2/2	GR	A	< 5%	Screziature rosse Consistenza umida
P9_Bg	6 - 20	14	L, A	2.5Y 4/2	BS	M	5%	Presenza di numerose screziature di colore rosso che raggiungono anche i 5 cm di diametro. Concentrate attorno alle radici e all'esterno degli agglomerati subangolari. Consistenza bagnata. Aggregati di grandi dimensioni.
P9_Abg	20 - 24	4	W, C	10YR 3/2	M	M	20%	Screziature attorno alle radici. Consistenza molto bagnata, fuoriuscita di acqua se sottoposto a pressione.
P9_Bg	24 - 30	6	W, C	2.5Y 3/3	M	C	20%	Presenza di screziature rosse in prossimità delle radici.
P9_Br	30 - 38	8	S, A	2.5Y 4/2	M	C	15%	Assenza di screziature. Consistenza argillosa/limosa.
P9_CR	38 - 40	2	S, A	Rossiccio	M	F	< 5%	Sottile strato posto sopra la serpentinite di colore rosso/marroncino. Di consistenza argillosa. Si concentrano radici di medie dimensioni che corrono lungo la roccia sottostante.

ID	Spessore (cm)	Struttura	Scheletro %	pH	N%	C%	C/N	Ni (mg/kg)
P9_Ah	3	GR	5,00	5,98	0,28	5,07	17,79	
P9_Bg	14	BS	5,00	6,10	0,14	2,21	15,75	14,02
P9_Abg	4	M	20,00	6,11	0,39	4,71	12,11	
P9_Bg	6	M	20,00	5,80	0,16	1,97	12,62	
P9_Br	8	M	15,00	4,84	0,12	1,76	14,07	

ID	BD (g/cm^3)	Cstock (kg/m^2)	Cstock TOT (kg/m^2)
P9_Bg	0,73	1,06	
P9_Abg	0,93	2,74	
P9_Bg	0,75	1,13	
P9_Br	0,96	0,90	
P9_CR	0,98	1,18	**7,01**

	GRANULOMETRIE %				
ID	**L**	**A**	**ST**	**CLASSE**	
P9_3	40,87	5,58	53,55	FS	quasi F

Specie vegetali P9	T	K	L	F	R	N	H	D	S
Calluna vulgaris	2,5	2	3	3	1	2	5	1	1
Carex myosuroides	1,5	4	4	2	3	2	3	3	2
Carex sempervirens	1,5	4	5	2	3	1	5	5	2
Festuca scabriculmis	1,5	4	5	1,5	2	2	3	5	2
Gentiana acaulis	1,5	3	4	2,5	2	2	3	3	3
Juniperus nana	1,5	4	4	2	3	2	3	3	-
Larix decidua	2	4	4	3	2	2	3	3	-
Nardus stricta	2,5	3	4	3	2	2	3	1	2
Rhododendron ferrugineum	2	2	3	3	2	2	5	1	-
Selaginella selaginoides	2	3	3	3,5	4	2	5	3	3
Soldanella alpina	2	2	4	4	3	3	5	1	2
Trichophorum cespitosum	2,5	3	4	4,5	1	1	5	1	1
MEDIA	1,9	3,2	3,9	2,8	2,3	1,9	4,0	2,5	2,0
DEVIAZIONE STANDARD	0,4	0,8	0,7	0,9	0,9	0,5	1,0	1,5	0,71

5.10 PROFILO 10_ TMR

Nome	P10
Data	25/08/2025
Condizioni metereologiche	SU Sunny
Coordinate	Lat 45°52'58,686'' Long 007°43'8,292''
Altitudine	2272 m
Esposizione	SSE 148°
Pendenza	15°
Posizione	BS Backslope
Tipo e copertura vegetale	GS Ground stratum 80%
Pietrosità superficiale	Media con blocchi di grandi dimensioni
Segni di erosione	Eolica e da gelo
Litologia materiale parentale	Serpentinite (MU Ultramafic metamorphic)
WRB (2022)	Leptic Cambisol (Loamic, Humic)



Figura 39_ Zona limitrofa al P10

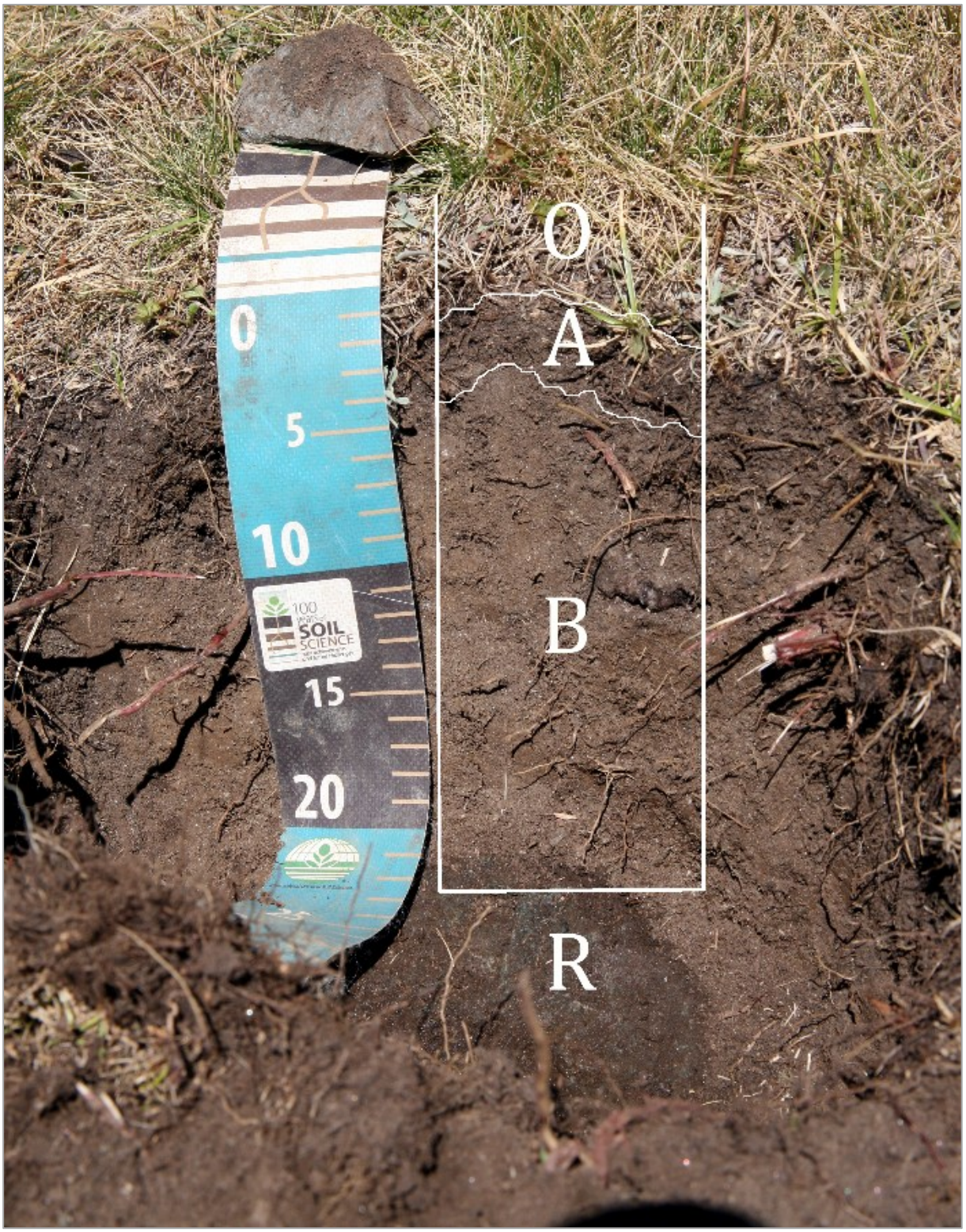


Figura 40_ Profilo P10 aperto

ID	Profondità (cm)	Spessore (cm)	Limite orizzonte	Colore	Struttura	Radici	Pietrosità	Descrizione e note
P10_Oi	0 – 1	1	S, C	-	-	A	< 5%	Rizo moder. Poco decomposto. Estremamente secco.
P10_A	1 – 5	4	S, G	10YR 2/2	GR	M	5%	Aggregati abbastanza forti tenuti assieme dalle radici. Presenti frammenti fini di mica. N.B. Ritrovati 3 lombrichi.
P10_B	5 - 20	15	S, A	10YR 3/2	GR	C	5%	Presenti granuli di mica

ID	Spessore (cm)	Struttura	Scheletro %	pH	N%	C%	C/N	Ni (mg/kg)
P10_A	4	GR	5,00	6,06	0,59	7,21	12,13	4,46
P10_B	15	GR	5,00	6,04				

ID	BD (g/cm^3)	Cstock (kg/m^2)	Cstock TOT (kg/m^2)
P10_A	0,65	1,78	
P10_B		0,00	**1,78**

	GRANULOMETRIE %			
ID	**L**	**A**	**ST**	**CLASSE**
P10_B	32,60	1,34	66,06	FS
P10_B.2	32,14	6,43	61,43	FS

Specie vegetali P10	**T**	**K**	**L**	**F**	**R**	**N**	**H**	**D**	**S**
Antennaria dioica	2	3	4	2	2	2	3	3	4
Carex sempervirens	1,5	4	5	2	3	1	5	5	2
Festuca scabriculmis	1,5	4	5	1,5	2	2	3	5	2
Juncus iacquinii	1,5	3	4	3,5	2	2	3	1	2
Juniperus nana	1,5	4	4	2	3	2	3	3	-
Luzula spicata	1,5	3	5	2,5	2	1	3	3	2
Nardus stricta	2,5	3	4	3	2	2	3	1	2
Plantago alpina	1,5	3	4	3	2	2	3	3	2
Potentilla grandiflora	1,5	4	4	2	2	3	3	5	2
Sempervivum montanum	1,5	3	5	2	2	2	3	5	-
Thymus serpyllum	x	x	4	1,5	3	2	3	x	2
Trifolium alpinum	1,5	3	4	2,5	2	2	3	3	2
MEDIA	1,6	3,4	4,3	2,3	2,3	1,9	3,2	3,4	2,2
DEVIAZIONE STANDARD	0,3	0,5	0,5	0,6	0,5	0,5	0,6	1,5	0,63

6. DISCUSSIONE DEI RISULTATI

6.1 ANALISI COMPARATIVA PEDOLOGICA

I risultati ottenuti dal campionamento si allineano con la *Carta dei Suoli Pedologica* (D'Amico *et al.*, 2019) seppur con qualche approfondimento. Si propone di seguito un confronto in Tabella 8 che mostri chiaramente le incongruenze.

Tabella 8_ Si confrontano le classificazioni della Carta dei suoli Pedologica scala 1:100 000 con i risultati ottenuti.

ID	WRB 2015 Carta dei Suoli Pedologica 2019	WRB 2022
P1	Dystric Cambisol (Protospodic, Arenic)	Dystric Skeletic Leptic Cambisol (Arenic, Humic)
P2	No Soil	Dystric Skeletic Leptic Cambisol (Loamic, Humic)
P3	No Soil (Serpentine)	Akroskeletic Leptosol (Loamic, Toxic Turbic)
P4	Dystric Cambisol (Protospodic, Arenic)	Dystric Skeletic Leptic Cambisol (Arenic, Humic)
P5	Dystric Cambisol (Protospodic, Arenic)	Skeletic Leptic Umbrisol (Loamic, Humic)
P6	Dystric Cambisol (Protospodic, Arenic)	Dystric Cambisol (Loamic, Humic, Turbic)
P7	Dystric Cambisol (Protospodic, Arenic)	Hemic Histosol
P8	Dystric Cambisol (Serpentine)	Skeletic Leptic Entic Podzol (Loamic, Toxic)
P9	Dystric Cambisol (Serpentine)	Dystric Fluvic Oxygleyic Gleysol (Loamic, Humic, Toxic)
P10	Dystric Cambisol (Protospodic, Arenic)	Leptic Cambisol (Loamic, Humic)

La scala 1:100 000 della Carta Pedologica non permette di far luce sulle particolarità ambientali dovute a irregolarità morfologiche e specifiche conformazioni litiche che invece un lavoro di dettaglio può valorizzare.

In luce di quanto detto la Carta Pedologica non tiene conto della presenza di un ambiente di torbiera nel P7 e della prossimità col torrente di Tzére nel P9. Altre incongruenze riguardano il P2, che seppur di spessore modesto (30 cm), presenta un suolo sviluppato e il P5.
È interessante osservare come il P8, riclassificato come Podzol, confermi l'ipotesi secondo cui in condizioni ambientali favorevoli (clima freddo e umido, foresta di conifere e arbusti di Ericacee), può verificarsi il fenomeno di podzolizzazione anche su substrati serpentinitici che sono solitamente considerati inibitori di questo fenomeno, a causa del loro alto contenuto di basi e Fe (D'Amico *et al.* 2008).

Per i calcoli effettuati al fine di ottenere i risultati da confrontare nella suddetta discussione sono state applicate delle correzioni dei dati a priori. In primis nel profilo P7 non essendo riusciti a raggiungere il limite inferiore dell'ultimo orizzonte P7_Hi data la sua elevata profondità, si stima uno spessore di questo di 0,20 m, valore che rispecchia la profondità dei due orizzonti sovrastanti. Per il P6, classificato come Cambisol, e il P8 , classificato come Podzol, l'irregolarità degli orizzonti P6_Ah@.1, P6_Ah@.3, P8_E e P8_B porta ad uno spessore variabile di questi, si è tenuto conto del loro valore medio. Infine nel P10, classificato come Cambisol, la carenza di dati del secondo orizzonte P10_B obbliga a considerare per ogni elaborazione esclusivamente il primo orizzonte del profilo, semplificando e banalizzando i risultati.

6.1.1 CARBONIO, AZOTO E NICHEL

Il rapporto C/N restituisce informazioni riguardo i processi biologici del suolo. Un valore alto suggerisce una relativa scarsità di azoto. Questo rappresenta il principale macroelemento nutritivo delle piante e determina la fertilità di un suolo. La velocità del processo di decomposizione è minore per valori di C/N maggiori: il carbonio costituisce la principale componente della sostanza organica, la sua degradazione porta alla mineralizzazione degli elementi nutritivi.

I risultati ottenuti, visibili in Tabella 9, sono giustificati dalla posizione e dalla copertura vegetale dei diversi siti di campionamento. Il P3 è situato in un ambiente recentemente liberato dal ghiacciaio della Gobba di Rollin, la copertura vegetale è praticamente assente, fatta eccezione per sporadiche specie pioniere. Ne consegue una carenza di sostanza organica: in assenza della decomposizione del materiale vegetale i valori di carbonio sono minimi e quelli di azoto nulli. Per aumentare la fertilità di questo suolo si rende necessario aspettare l'affermazione di una copertura vegetale diffusa e stabile. L'alterazione del materiale parentale è limitata e il suolo, come è anche possibile dedurre dalla sua limitata profondità, si trova agli stadi inziali della pedogenesi. La litologia dell'area è rappresentata principalmente da serpentino, una roccia basica ricca di metalli pesanti, fra i quali il nichel. Questo spiega sia i valori di pH, i più alcalini tra quelli rilevati, sia le concentrazioni di nichel, che in questa porzione di terreno raggiungono il valore massimo di 41,27 mg/kg di suolo. Tali concentrazioni risultano fitotossiche per numerose specie vegetali e influenzano significativamente la composizione della comunità vegetale, favorendo l'insediamento e la diffusione di specie tolleranti ai metalli e di endemismi associati ai substrati serpentinitici. Per ottenere la stabilizzazione e la completa colonizzazione da parte della vegetazione è possibile prevedere tempi molto lunghi, superiori a 200 anni, come accade nella vicina area proglaciale del Ghiacciaio Grande di Verra.

Valori elevati di nichel si riscontrano anche nel P2 e nel P9. Consultando gli studi sul substrato geologico esposti nel capitolo 3.1 si vede come questi due siti siano posizionati in concomitanza a unità di serpentiniti, i risultati ottenuti sono quindi pienamente giustificati.

Tabella 9_ Per ogni profilo si riportano i valori della composizione media di carbonio e azoto, il rapporto medio C/N e il contenuto di nichel dell'orizzonte rappresentativo.

Profilo	C% medio	N% medio	C/N medio	Ni
P1	1,53	0,11	14,11	1,28
P2	1,08	0,09	12,22	13,87
P3	0,22	0,00	0,00	41,27
P4	2,65	0,21	13,13	0,99
P5	1,85	0,12	15,22	2,78
P6	8,21	0,51	15,78	1,05
P7	35,92	1,81	20,22	0,41
P8	1,37	0,06	22,23	8,22
P9	2,60	0,18	14,59	14,02
P10	7,21	0,59	12,13	4,46

I valori del rapporto C/N ottenuti dalle analisi, esposti in Figura 41, sono in linea con le dinamiche biologiche e le condizioni ambientali dei suoli analizzati.

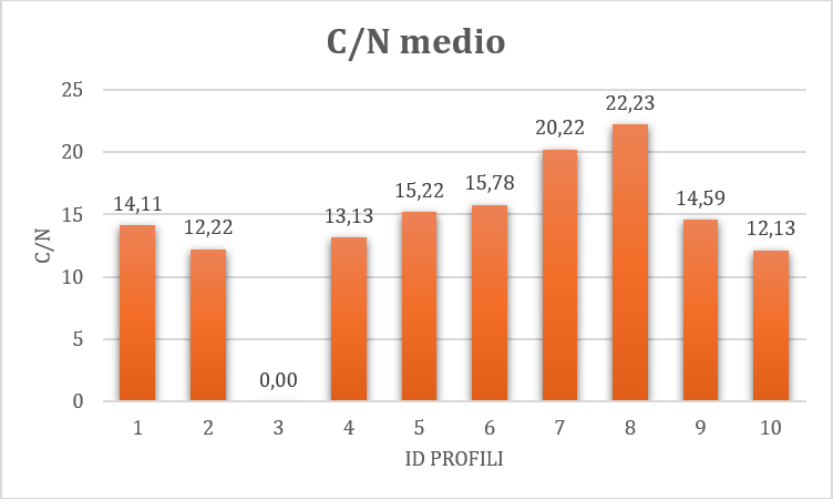


Figura 41_ Il grafico espone il rapporto C/N medio di ognuno dei 10 profili.

I valori più alti, che suggeriscono una lenta degradazione della sostanza organica, sono stati riscontrati nel P7 e nel P8.

Il P7 si tratta di un Histosol: la presenza dell'acqua nel suolo per gran parte dell'anno porta a condizioni di ipossia che determinano una minor efficienza dei microrganismi e della microfauna nella degradazione della sostanza organica.

Il P8 invece è un Podzol situato in un lariceto. Questa tipologia forestale apporta al suolo ingenti quantità di aghi di larice annualmente. La lettiera che si forma è fortemente acida e limita la

proliferazione di microfauna decompositrice quali anellidi e batteri, favorendo invece le specie fungine. La degradazione della componente organica è così rallentata e si ha un accumulo di carbonio a discapito del rilascio di azoto nel terreno.

6.1.2 CARBON STOCK

Per il calcolo del contenuto di carbonio immagazzinato sono stati applicati i procedimenti descritti nel capitolo 4.2.3. A tal fine sono stati considerati tutti gli orizzonti dei profili analizzati. I risultati di seguito esposti (Tabella 10) sono frutto di elaborazioni effettuate tramite fogli di calcolo.

Tabella 10_ Si riportano i risultati della densità apparente (BD) e dello stock di carbonio (Cstock) dei dieci orizzonti.

ID	BD (g/cm^3)	Cstock (kg/m^2)	Cstock TOT (kg/m^2)
P1_A	0,84	0,94	
P1_AB	0,95	1,07	
P1_Bw	1,24	0,72	**2,73**
P2_A	0,83	0,34	
P2_BA	1,06	0,30	
P2_Bw	1,25	0,23	**0,87**
P3_CA	1,49	0,29	
P3_C@	1,48	0,59	**0,88**
P4_A	0,77	1,24	
P4_Bw	0,92	2,56	**3,79**
P5_A	0,99	0,91	
P5_AB	0,84	2,79	
P5_BA	1,16	0,46	**4,16**
P6_Ah@	0,48	2,65	
P6_Ah@	0,43	3,69	
P6_Ah@	0,50	12,67	
P6_AB	0,86	4,58	
P6_Bw	0,96	1,49	**25,08**
P7_Ha	0,33	17,17	
P7_He	0,23	16,47	
P7_Hi	0,25	18,31	**51,94**
P8_E	0,87	1,56	
P8_B	1,20	1,22	**2,78**
P9_Bg	0,73	1,06	
P9_Abg	0,93	2,74	
P9_Bg	0,75	1,13	
P9_Br	0,96	0,90	
P9_CR	0,98	1,18	**7,01**
P10_A	0,65	1,78	
P10_B	-	-	**1,78**

Tabella 11_ Si riportano la classificazione, il carbon stock totale e la percentuale di carbonio media per ogni profilo.

Profilo	WRB 2022	Cstock TOT (kg/m^2)	C% medio
P1	Dystric Skeletic Leptic Cambisol (Arenic, Humic)	2,73	1,53
P2	Dystric Skeletic Leptic Cambisol (Loamic, Humic)	0,87	1,08
P3	Akroskeletic Leptosol (Loamic, Toxic Turbic)	0,88	0,22
P4	Dystric Skeletic Leptic Cambisol (Arenic, Humic)	3,79	2,65
P5	Skeletic Leptic Umbrisol (Loamic, Humic)	4,16	1,85
P6	Dystric Cambisol (Loamic, Humic, Turbic)	25,08	8,21
P7	Hemic Histosol	51,94	35,92
P8	Skeletic Leptic Entic Podzol (Loamic, Toxic)	2,78	1,37
P9	Dystric Fluvic Oxygleyic Gleysol (Loamic, Humic, Toxic)	7,01	2,60
P10	Leptic Cambisol (Loamic, Humic)	1,78	7,21

Come possiamo vedere in Tabella 11 e poi più chiaramente in Figura 42, ad una maggiore percentuale media di C non è sempre associato uno stock di C proporzionale. Infatti lo stoccaggio di carbonio è legato ad altri fattori, quali lo spessore del suolo, la densità apparente e la percentuale di scheletro.

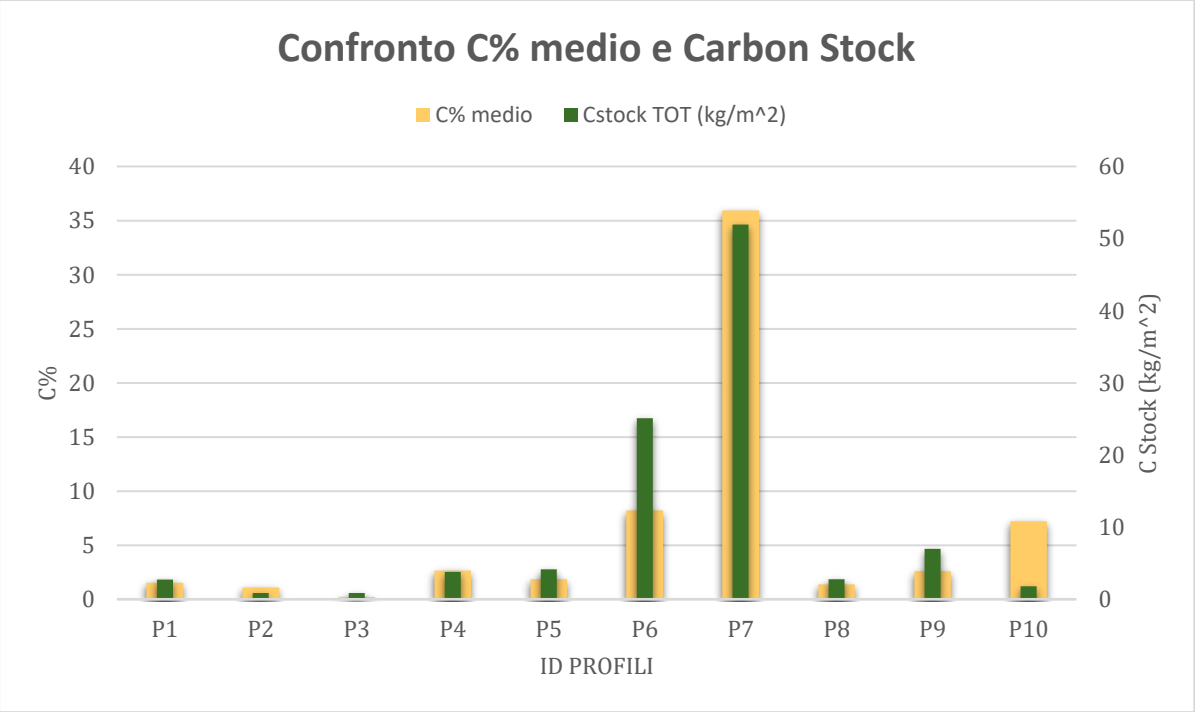


Figura 42_ Il grafico mostra il carbon stock totale in relazione con la percentuale di carbonio medio dei diversi profili.

Dalla nostra indagine emerge che il maggior quantitativo di carbonio è immagazzinato nel suolo di torbiera del P7, il risultato non sorprende trattandosi di una tipologia di suolo che accumula sostanza organica in fase di decomposizione e con un'elevata profondità di sviluppo.
Il P1, nonostante abbia una variazione del contenuto di carbonio disponibile rispetto al P2 di solo il 30%, a livello del carbon stock questa differenza assume valori del 68%. I due profili si trovano ad una distanza ridotta, di qualche centinaio di metri, la variabile che differenzia maggiormente i due siti è la pendenza: nel P1 ci troviamo ad una pendenza di 35%, nel P2 invece il suolo è pianeggiante. La maggiore inclinazione dovrebbe favorire l'erosione del suolo da parte dell'acqua di ruscellamento e determinare un minor stoccaggio di carbonio, ma in questo caso i risultati smentiscono questa ipotesi. Il P1 ha un'esposizione ENE rispetto ad un SSE, l'effetto dell'evapotraspirazione è pertanto minore, inoltre la copertura vegetale è leggermente superiore. Osservando i maggiori livelli di C/N possiamo dedurre che nel P1 il processo di decomposizione è più lento. Inoltre, il P2 è localizzato su serpentinite, le cui peculiarità chimiche inibiscono la produttività di biomassa vegetale, ed è anche particolarmente ricco in scheletro. Tutti questi aspetti possono in parte giustificare il maggiore carbon stock nel P1, rispetto che nel P2.
Il P3 è un suolo di giovane formazione sviluppatosi in un ambiente recentemente liberato dal ghiacciaio della Gobba di Rollin, i risultati contenuto di carbonio che nel carbon stock rispecchiano questa sua caratteristica assumendo valori minimi.
Il P6 è situato in un'area di dossetti crionivali soggetti a crioturbazione, come è possibile dedurre dalla struttura irregolare degli orizzonti. Uno studio del 2015, condotto su suoli crioturbati delle Alpi, evidenzia una forte variabilità laterale nel carbonio organico, con valori elevati vicino ai bordi meglio vegetati e contenuti nel centro del dossetto (D'Amico *et al.*, 2015). Le basi scambiabili, i metalli pesanti e i nutrienti seguono la stessa distribuzione. Ciò avviene a causa della miscelazione, sollevamento e agitazione del suolo, associati alla movimentazione di particelle di diverse dimensioni, che si verificano durante i cicli di congelamento-scongelamento. La parte sommitale del dossetto risulta così composta da suolo nudo scarsamente vegetato e sperimenta periodi di gelo più lunghi e intensi rispetto ai bordi, dove la vegetazione crea un maggior isolamento. Durante il campionamento dei diversi orizzonti del P6 sono stati estratti materiali dalla parte centrale del profilo e pertanto non è stato possibile verificare questo aspetto. In generale però si tratta di un suolo caratterizzato da valori relativamente alti sia di C% che di carbon stock rispetto agli altri suoli di questo studio, ciò è in parte giustificato dalla sua prossimità con l'ambiente di torbiera.
Il P8, nonostante sia posizionato in un lariceto, e quindi abbia una copertura arborea abbastanza sviluppata, non soddisfa pienamente le aspettative riguardo il contenuto di carbonio. Infatti la presenza del soprassuolo forestale generalmente garantisce un'intercettazione tale da ridurre l'intensità dell'afflusso di acqua nel terreno, contribuendo a ridurre l'effetto di erosione e in tal

modo preservando la componente organica. Nel nostro caso il P8 si trova nei pressi di massi di grandi dimensioni, che segnalano la presenza di una frana abbastanza recente distaccatasi dal versante antistante caratterizzato da éboulis. Inoltre la popolazione vegetale non presenta individui di età avanzata. Il suolo pertanto potrebbe essere di relativamente recente formazione e questo potrebbe giustificare i valori riscontrati nelle analisi. Il materiale parentale serpentinitico tende anche a limitare la produttività vegetale, a parità di uso del suolo, fornendo minore biomassa al suolo rispetto a suoli sotto coperture simili su altri substrati.
Il valore del carbon stock del P10 non rispecchia la reale condizione del suolo, la carenza di dati dell'orizzonte B non permette di ottenere risultati verosimili, sappiamo solo che il valore dello stoccaggio di carbonio è maggiore di 1,78 kg/m^2.

Partendo dallo stato dell'arte, nel capitolo 3.6 si esponeva l'attuale classificazione pedologica sulla base della Carta dei Suoli Pedologica (D'Amico *et al.*, 2019) che riportava anche dei probabili valori di carbon stock calcolati in seguito ad un'elaborazione dei dati derivanti da altre carte. Si propone in Tabella 12 il confronto fra i risultati attesi e quelli ottenuti.

Tabella 12_ Confronto fra i valori di Cstock della Carta Pedologica della VdA in scala 1:100 000 con i risultati ottenuti.

Profilo	Cstock Carta dei Suoli 2019 (kg/m^2)	Cstock TOT (kg/m^2)
P1	5,51	2,73
P2	-	0,87
P3	-	0,88
P4	5,51	3,79
P5	5,51	4,16
P6	5,51	25,08
P7	5,51	51,94
P8	6,11	2,78
P9	6,11	7,01
P10	5,51	1,78

Si evince come la Carta Pedologica, essendo redatta con scala 1: 100 000, non ha una sensibilità tale da segnalare le condizioni microclimatiche e ambientali di dettaglio. Nella stesura della Carta Pedologica della Valle d'Aosta non sono stati considerati quei suoli che accumulano C in modo più efficiente, come gli Histosols, per evitare errori di scala. Pertanto, tenuto conto della debita premessa, un discostamento dei risultati ottenuti da quelli attesi anche del +842,7%, come succede nel P7, non risulta ingiustificato. Tuttavia una generalizzazione di questo tipo non

permettendo di valorizzare le diversità del sito e ottenere un calcolo dello stock di carbonio verosimile e di dettaglio.

6.2 ANALISI COMPARATIVA FLORISTICA

La flora costituisce un'importante bioindicatrice dei suoli e ci permette di dedurre numerose caratteristiche ambientali del sito senza dover fare ricorso ad analisi di laboratorio. Grazie agli indici di Landolt è possibile ottenere informazioni utili sul suolo, quali l'acidità (R), l'aerazione del substrato (D), la quantità di humus (H), il contenuto di azoto assimilabile nel terreno (N), e informazioni riguardo le caratteristiche climatiche dell'area, come la temperatura del sito (T), la luminosità (L), l'umidità (F) e le esigenze in termini di oceanicità e continentalità delle specie (K). La concentrazione di Sali (S) non è stata considerata data la sua scarsa rilevanza.

6.2.1 INDICI DI LANDOT

Per ogni profilo è stato indagato ogni valore dei nove indici di Landolt di ciascuna specie. Per confrontare le diverse comunità vegetali è stata calcolata la media dei diversi indici, questo calcolo non è formalmente corretto in quanto si tratta di valori discreti, sono numeri convenzionali che assumono specifici significati. Tuttavia ai fini pratici questo procedimento è utile per confrontare le diverse cenosi e poter constatare paragoni e differenze dei diversi siti (Figura 43).

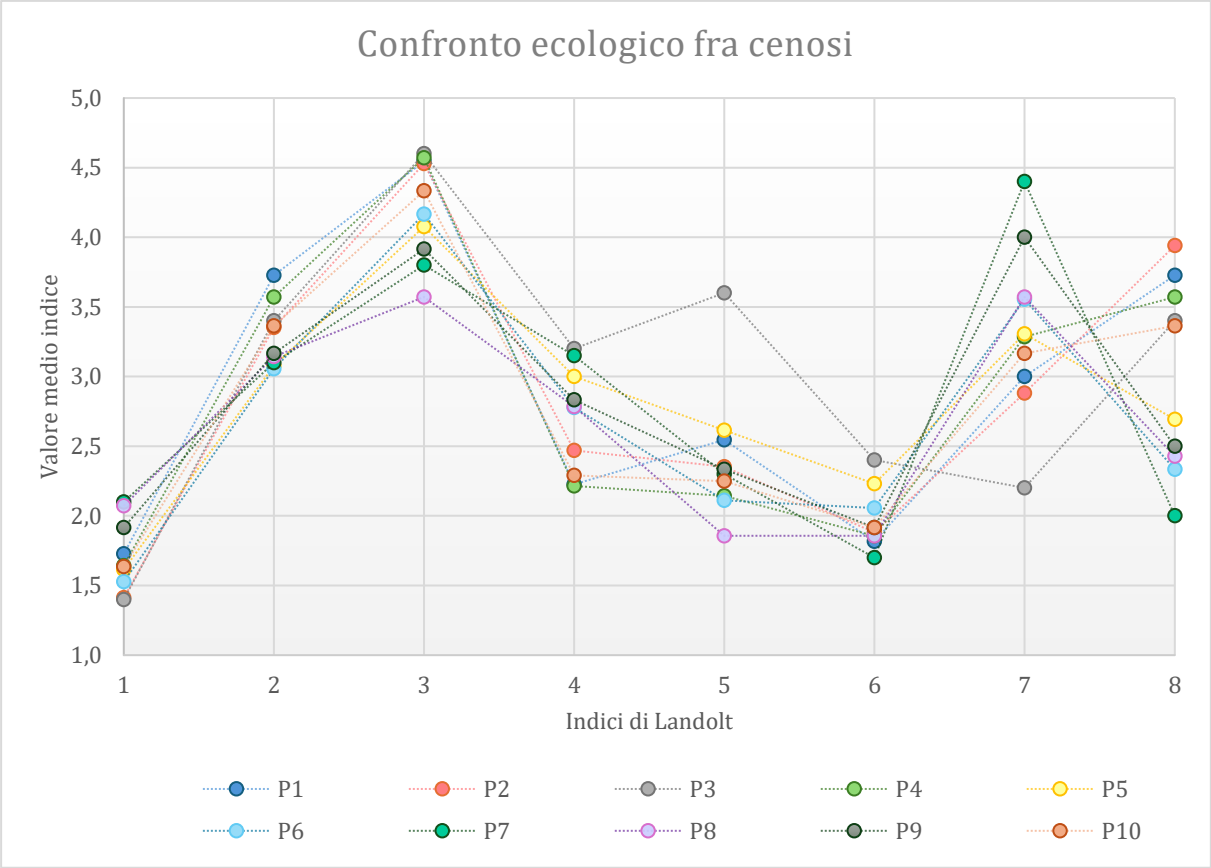


Figura 43_ Il grafico mostra gli otto indici di Landolt per ognuno dei dieci profili.

I valori numerici presenti sull'asse delle ascisse vanno interpretati secondo la seguente legenda: 1=T, 2=K, 3=L, 4=F, 5=R, 6=N, 7=H, 8=D. Di seguito si approfondisce ognuno degli otto indici, l'indice S a causa della sua irrilevanza nell'area di studio, non è stato considerato nella discussione.

6.2.1.1 Acidità del suolo

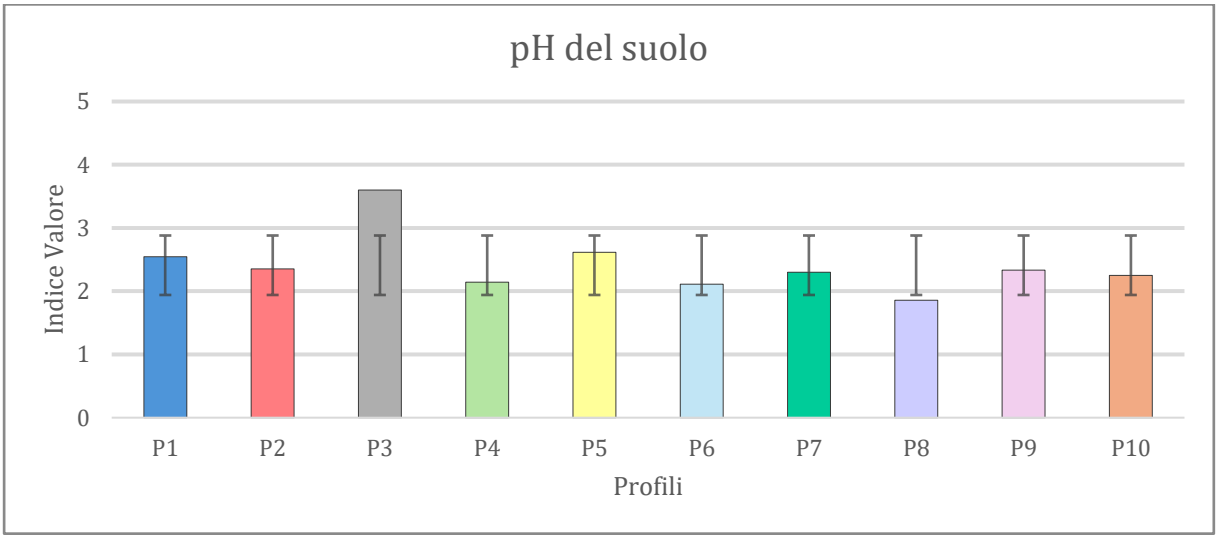


Figura 44_ Istogramma che mostra il valore medio dell'indice R per ognuno dei dieci profili.

Come riportato in Figura 44 i valori dell'indicatore di pH si aggirano attorno ad un valore medio di 1,7 che corrisponde a piante dai suoli acidi o tendenzialmente acidi (pH 3,5-5,5). Il P3 registra valori ben oltre la media a causa del contributo di specie quali *Noccaea rotundifolia*, *Parnassia palustris* e *Saxifraga oppositifolia*. Si tratta di specie diffuse su rocce ofiolitiche in grado di crescere su substrati neutro-alcalini.

Confrontando il valore R di ogni profilo con il valore del pH dell'orizzonte superficiale di ciascun suolo analizzato in laboratorio, possiamo confrontare i risultati ottenuti e verificare la corrispondenza dei bioindicatori.

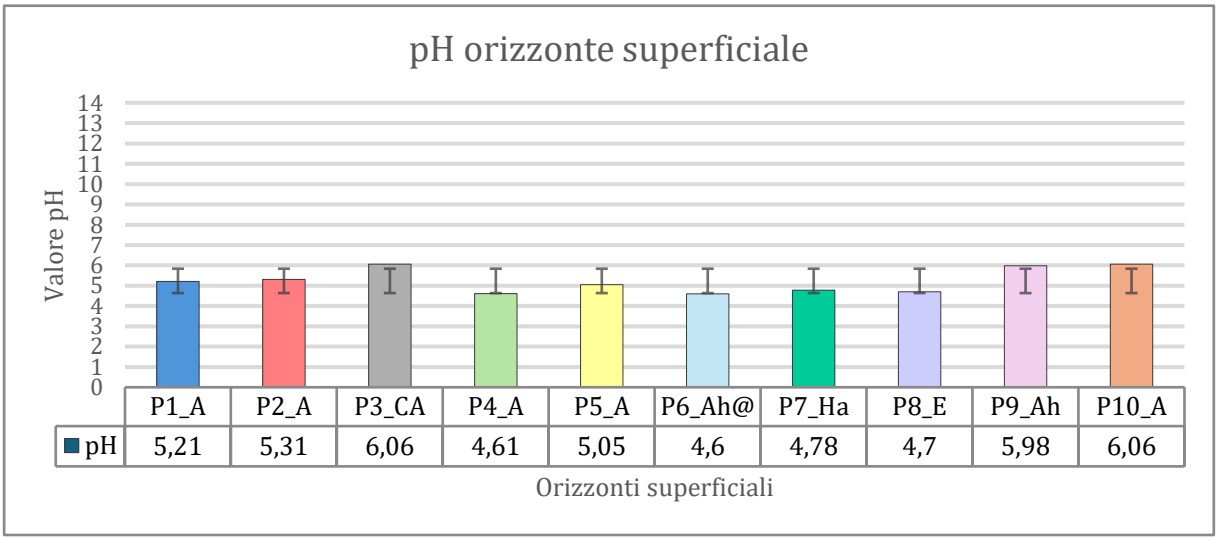


Figura 45_ Valori del pH dell'orizzonte superficiale di ciascun profilo oggetto dello studio.

In Figura 45 sono stati riportati i valori del pH calcolato in acqua degli orizzonti superficiali. Confrontandolo col grafico precedente si nota una certa similarità dei valori reciproci. I valori più alti si registrano in P3, P9 e P10 similmente a quanto visto precedentemente. Il P8, che presenta una vegetazione prettamente acidofila composta da *Calluna vulgaris*, *Larix decidua*, *Nardus stricta*, *Vaccinium myrtillus* e *Vaccinium vitis-idaea* si riafferma come uno dei substrati più acidi, con un pH dello strato eluviale, posto immediatamente al di sotto la lettiera di aghi di larici, di valore 4,7. I pH minori si riscontrano sei suoli del P4 e P6, si tratta di aree coperte da una vegetazione di praterie acidofile e annoverano specie quali *Festuca scabriculmis, Nardus stricta, Juncus trifidus, Vaccinium gaultherioides* e *Carex myosuroides.*

6.2.1.2 Areazione substrato

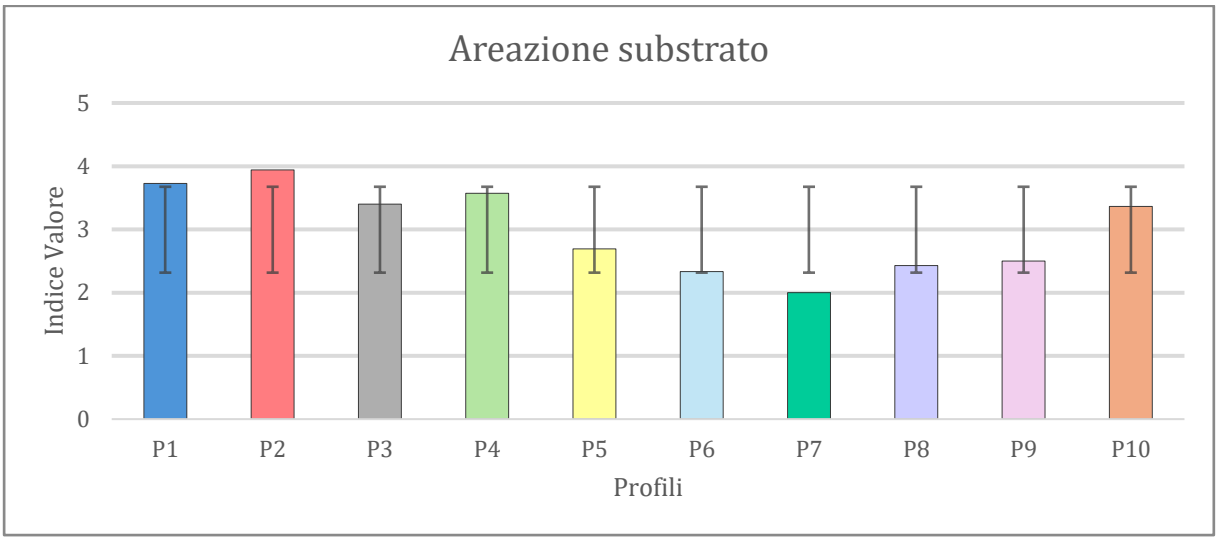


Figura 46_ Istogramma che mostra il valore medio dell'indice D per ognuno dei dieci profili.

Il parametro D indica la granulometria del suolo che influisce sulla sua areazione e sulla sua capacità di drenaggio. Al crescere dell'indice D di Landot la compattezza del suolo aumenta. Nel nostro studio i profili analizzati hanno una tessitura abbastanza sabbiosa, sono ben areati e permeabili e le particelle hanno un diametro medio di 2-0,005 mm (media = 3).

Come visionabile in Figura 46, il P7 e il P6 sono i risultati che si discostano maggiormente da questa tendenza. Difatti questi profili si trovano in un ambiente crioturbato (P6) e in prossimità di un ambiente di torbiera (P7), condizioni che portano ad una maggiore compattezza del suolo. La presenza di acqua nel terreno per gran parte dell'anno crea condizioni di ipossia alla quale solo alcune specie vegetali sono tolleranti, come esempio citiamo *Carex nigra* e *Thricophorum cespitosum*. I suoli del P1 e P2 sono suoli relativamente poco sviluppati posti in aree con rocce affioranti, le specie vegetali che coprono queste superfici sono specie di ambienti rupestri capaci di sopravvivere su suoli sciolti come *Juncus trifidus*, *Primula hirsuta*, *Sempervivum montanum*, *Noccaea sylvia* e *Festuca scabriculmis*.

6.2.1.3 Quantità di humus

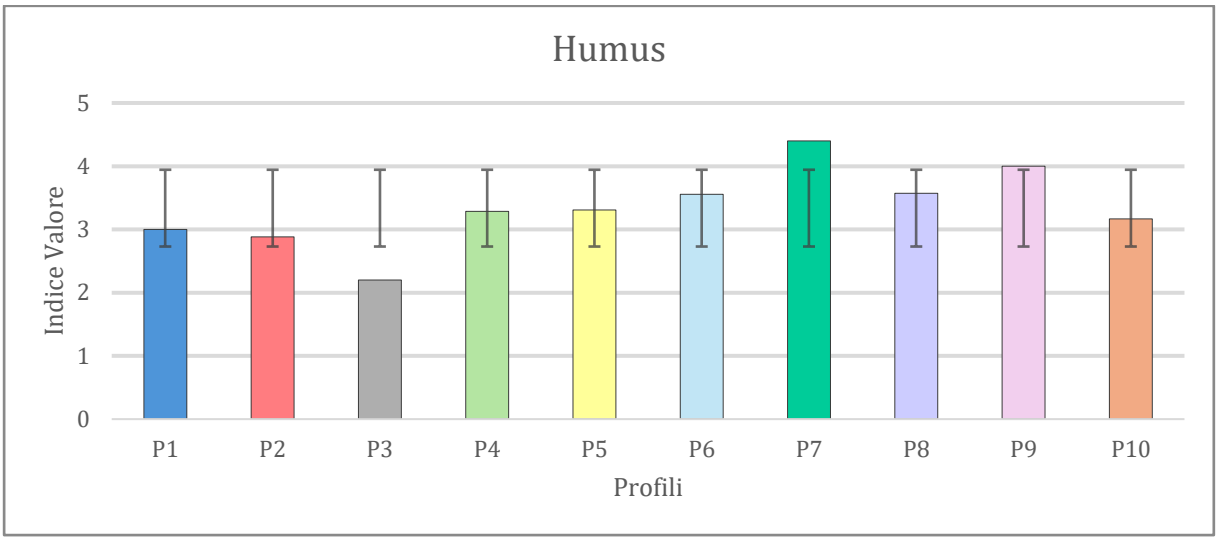


Figura 47_ Istogramma che mostra il valore medio dell'indice H per ognuno dei dieci profili.

La Figura 47 rispecchia la reale condizione dei suoli analizzati. Il valore più basso dell'indice H, relativo alla quantità di humus presente nella rizosfera, è difatti registrato al P3 dove l'orizzonte organico è pertanto assente. *Saxfraga oppositifolia* e *Noccaea rotundifolia* sono due esempi di specie adattate a suoli grezzi che in questo caso vegetano sull'orizzonte CA a contatto con l'atmosfera.

D'altra parte nell'Histosol del P7 la grande disponibilità di sostanza organica in fase di decomposizione favorisce lo sviluppo di specie, quali *Homogyne alpina, Loiseleuria procumbens, Selaginella selaginoides e Trichophorum cespitosum*, che prediligono suoli ricchi di humus. I profili P4, P5, P6 e P10 sono siti in aree che stagionalmente sostengono il pascolo di greggi di ovini e caprini, pertanto si ha un annuale apporto di sostanza organica che va ad aumentare la quota di humus naturalmente presente.

6.2.1.4 Azoto assimilabile

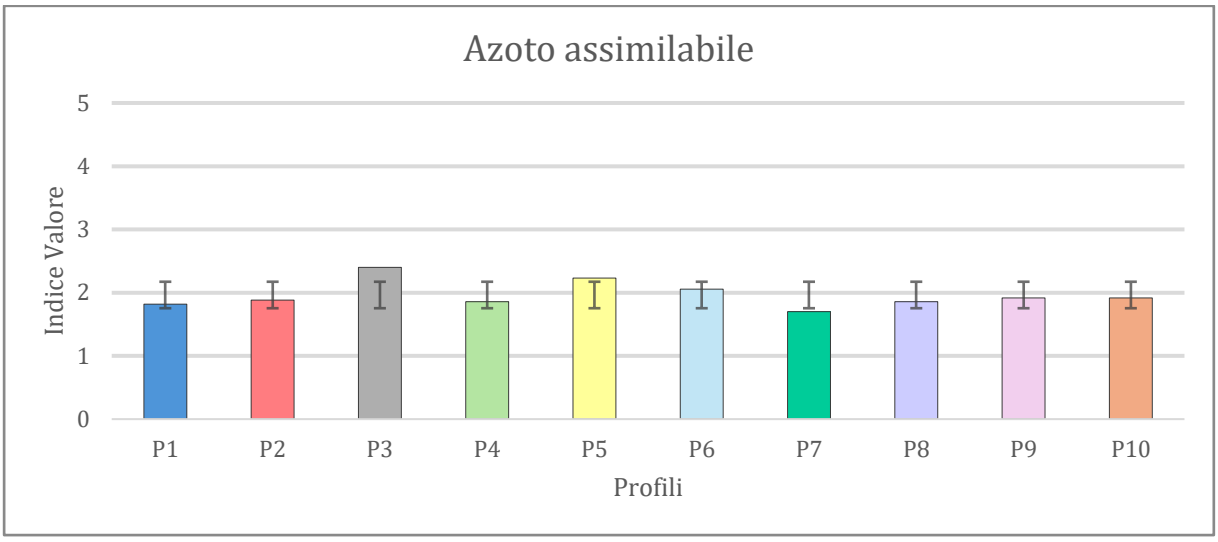


Figura 48_ Istogramma che mostra il valore medio dell'indice N per ognuno dei dieci profili.

Il parametro N di Landolt restituisce l'indice di nitrofilia (Figura 48). La media dei diversi profili risulta assestarsi attorno al valore di 2 che corrisponde a suoli poveri di nutrienti, come quelli di alta montagna analizzati in questo studio. Un'apparente discrepanza può essere rappresentata dal P3, si tratta di un Leptic Regosol, le cui analisi hanno restituito una totale assenza di azoto disponibile, tuttavia in questo profilo il parametro assume il valore più alto fra quelli ottenuti (2,4). Questo risultato trova spiegazione nell'analisi floristica del sito. La presenza di *Poa alpina*, cui è attribuito un indice N pari a 4, incide notevolmente sul valore medio dell'indice, poiché la bassa diversità vegetale della comunità, composta da sole cinque specie, ne aumenta il peso relativo.

6.2.1.5 Temperatura

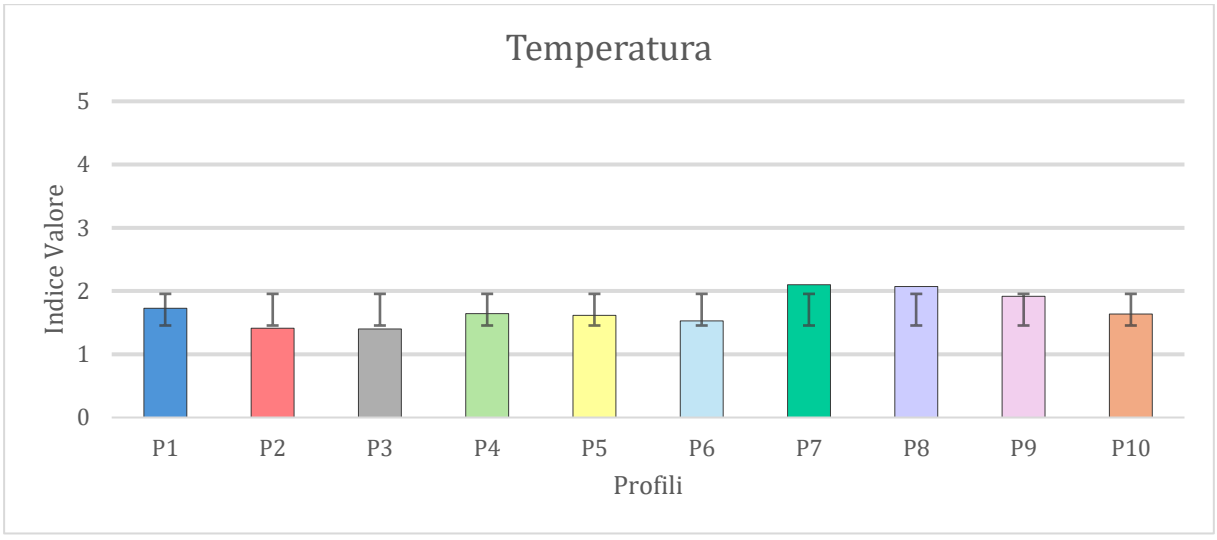


Figura 49_ Istogramma che mostra il valore medio dell'indice T per ognuno dei dieci profili.

Essendo tutti i profili posti al di sopra dei 2100 m.s.l.m. l'indice T, che considera le esigenze termiche delle specie, si assesta attorno ad un valore medio di 1,7 che corrisponde a piante della zona alpina e subalpina (Figura 49). Queste piante hanno sviluppato degli adattamenti che permettono loro di sopravvivere alla radiazione solare intensa, all'elevata escursione termica giornaliera e alle rigide temperature invernali. Per esempio assumono forme di vita a rosetta, come il *Sempervivum montanum*, o a cespo come *Carex curvula*, che permettono di mantenere una temperatura alla base del fusto costante e maggiore rispetto alla temperatura esterna dell'aria.

6.2.1.6 Luminosità

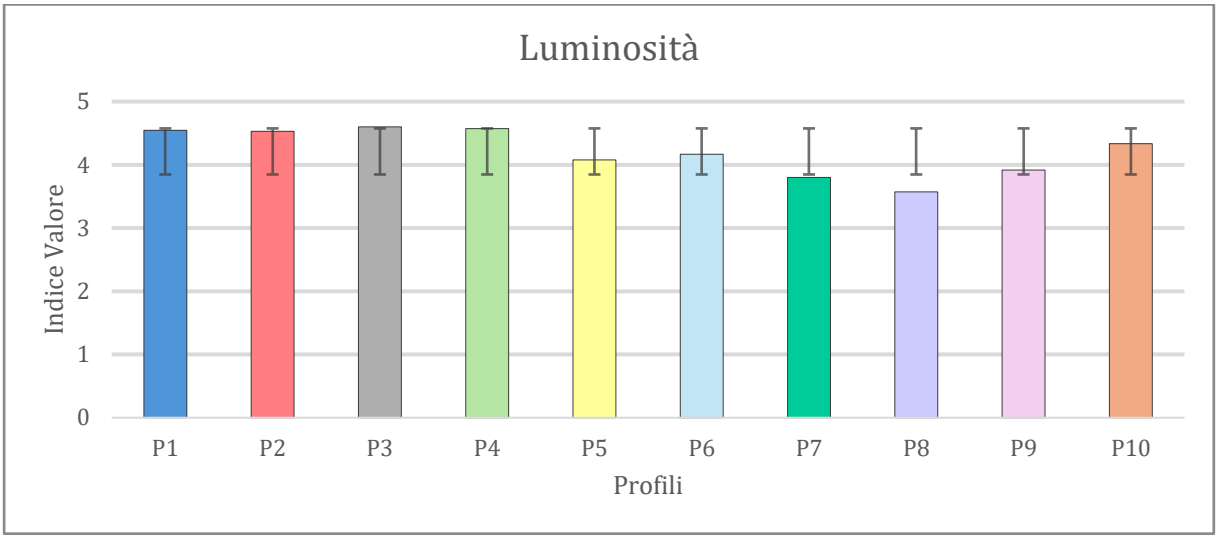


Figura 50_ Istogramma che mostra il valore medio dell'indice L per ognuno dei dieci profili.

Il grafico della Figura 50 riporta fedelmente le condizioni di copertura vegetale dell'area di indagine. Difatti tutti i profili sono stati aperti in pieno campo in zone di praterie alpine, torbiere, lungo i corsi d'acqua e in zone detritiche dove le piante sono poste in stazioni ben illuminate. L'eccezione è rappresentata dal P8 il cui suolo è posto al di sotto di un lariceto, qui sono presenti delle specie meno eliofile come il *Vaccinium myrtillus* che predilige aree con intensità luminosa inferiore del 10%. La presenza del lariceto è concorde con quanto visto da Verger, la vegetazione climax sul substrato serpentino è rappresentata dal *Rhodoreto-Vaccinietum vitis-idaea laricetosum*, mentre su gneiss e prasiniti la successione ecologica della foresta evolve verso la pecceta o la cembreta. (Verger, 1990 e Verger *et al*., 1993).

6.2.1.7 Umidità

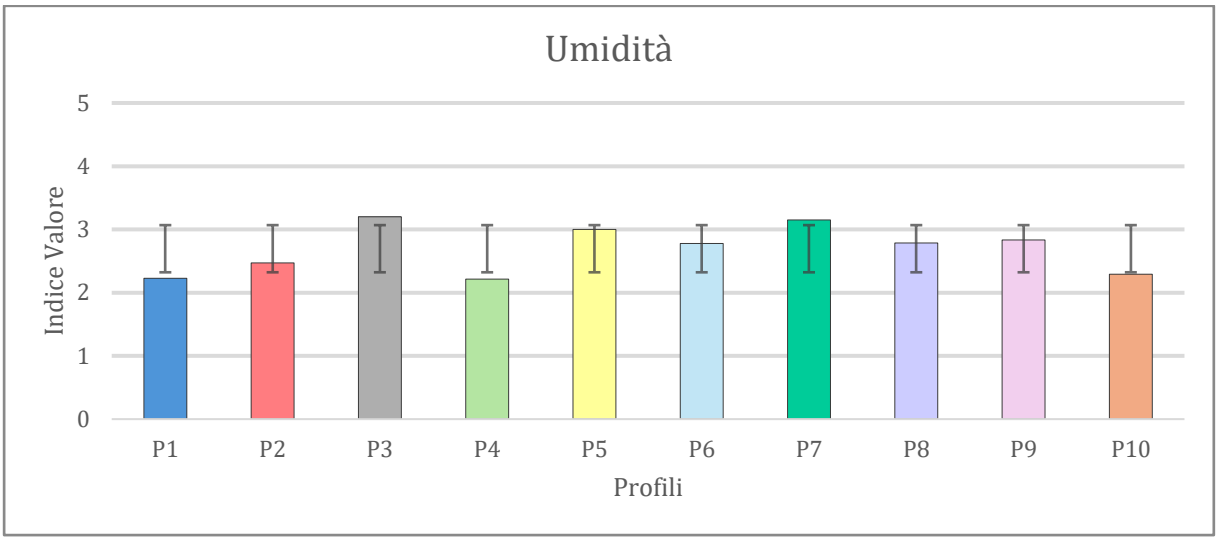


Figura 51_ Istogramma che mostra il valore medio dell'indice F per ognuno dei dieci profili.

L'indice F esprime il valore medio di umidità del suolo. La media fra tutti i profili si assesta attorno al valore di 2,7 che corrisponde a piante dai suoli da moderatamente aridi ad umidi (Figura 51). Le precipitazioni medie annue del sito si assestano a circa 950 mm e delineano un clima in linea con i risultati ottenuti.

Anche in questo caso i valori del P3 possono essere leggermente distanti dalle reali condizioni a causa del campione limitato di specie vegetali. Nel P7 vegetano entità quali *Carex nigra* e *Trichophorum cespitosum* che sono piante tipiche di suoli intrisi o sommersi.

6.2.1.8 Continentalità

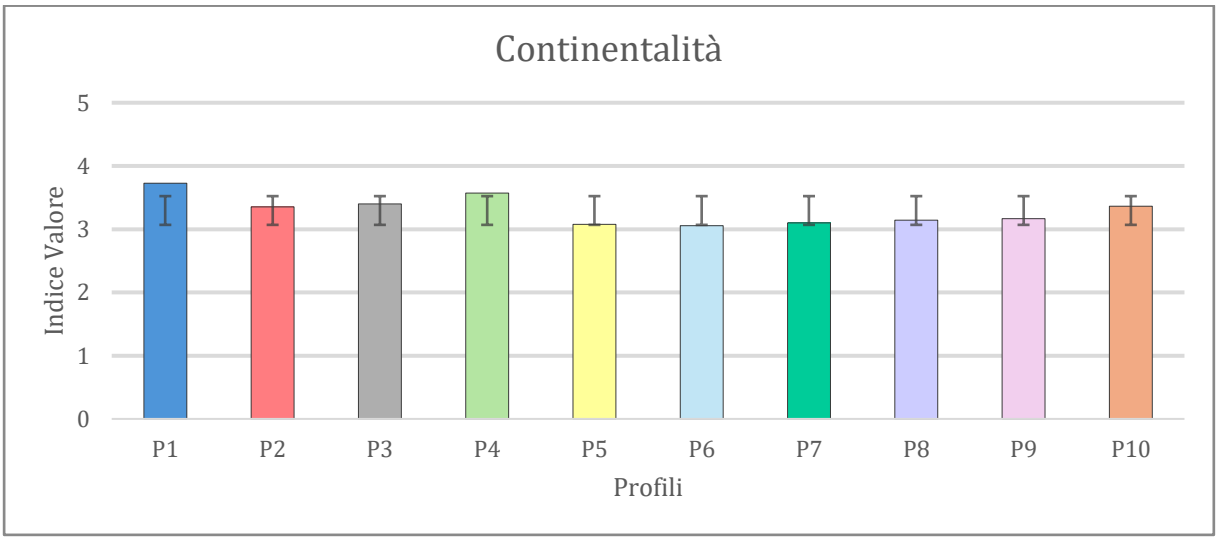


Figura 52_ Istogramma che mostra il valore medio dell'indice K per ognuno dei dieci profili.

La media dell’indice K si assesta attorno al 3,3 (Figura 52). Questo parametro considera le esigenze in termini di oceanicità e continentalità delle specie. Nel nostro caso descrive piante distribuite in tutte le regioni ad esclusione di quelle a clima spiccatamente continentale. La Val d'Ayas si trova in un settore delle Alpi occidentali che risente ancora, almeno in parte, dell'influenza delle perturbazioni atlantiche e delle masse d'aria umida provenienti dal Mediterraneo. La valle è relativamente aperta verso la Pianura Padana attraverso il corridoio della bassa Valle d'Aosta e non è completamente schermata da elevate barriere montuose sul versante meridionale, favorendo così la penetrazione delle correnti umide verso l'interno della valle.

6.2.2 SPECIE VEGETALI DEI METALLI PESANTI

Sulla base degli studi esposti nel capitolo 2.2 Vegetazione su Serpentinite è stata formulata una lista delle diverse specie endemiche della serpentinite che tollerano significative concentrazioni di metalli nel suolo quali Ni, Cr e Co. Per ogni profilo in Tabella 13 ne viene segnalata la presenza o l'assenza nell'area prossima al profilo indagato.

Specie enedemiche della serpentinite	**P1**	**P2**	**P3**	**P4**	**P5**	**P6**	**P7**	**P8**	**P9**	**P10**
Biscutella *laevigata*		x								
Cardamine plumieri										
Carex fimbriata	x	x						x		
Noccaea rotundifolia			x							
Noccaea sylvia		x								

La maggior presenza di specie adattate è stata riscontrata nel P2, si stratta di un suolo formatosi su till di ablazione in prossimità di una vena di serpentino. *Carex fimbriata* (Figura 53) è la specie endemica maggiormente diffusa in tutta l'area.

Cardamine plumbieri, entità rilevata nello studio di D'Amico & Previtali nel Mont Avic (D'Amico & Previtali, 2012) non è stata rilevata nei pressi dei punti di campionamento, anche se la sua presenza è stata osservata in altre zone del Vallone delle Cime Bianche, sebbene si tratti di una pianta che predilige climi più umidi e substrati ricchi di basi (Landolt *et al*., 2010).



Figura 53_ Esemplari di Carex fimbriata su substrato serpentinitico.



Figura 54_ Esemplari di Noccaea sylvia rinvenuti in prossimità del P8.

6.2.3 SPETTRO COROLOGICO

Lo spettro Corologico illustra la composizione geografica di una flora mostrando le aree di origine delle 56 specie presenti e aiutando a comprendere la storia climatica ed ecologica di un territorio. Le categorie con areale di distribuzione simile prendono il nome di corotipo e lo spettro viene calcolato sommando la presenza di ciascun corotipo e rapportandola al totale delle specie. I corotipi sono stati ottenuti dal sito web "Acta Plantarum" consultato il 18/06/2026 (https://www.actaplantarum.org/).

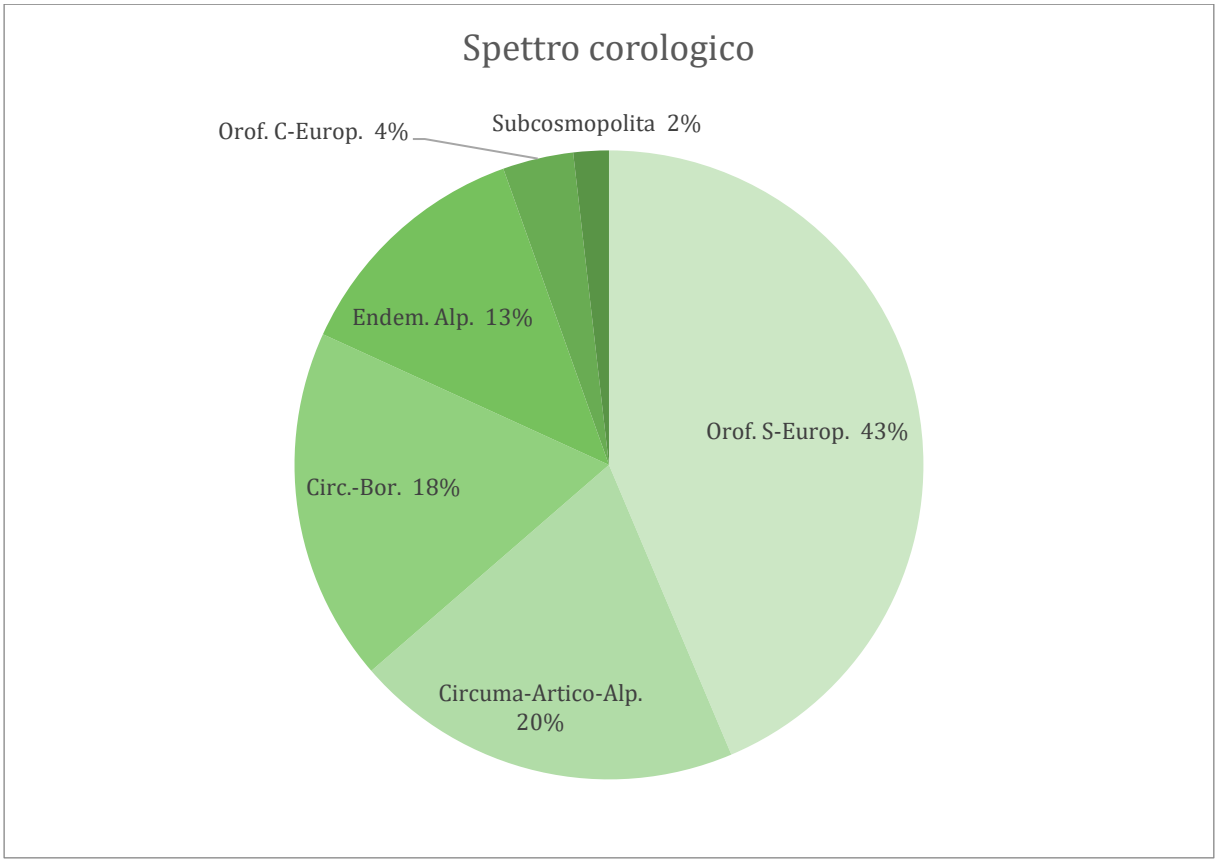


Figura 55_ Il grafico a torta rappresenta lo spettro corologico delle specie individuate nel campionamento.

La Figura 55 mostra i risultati ottenuti. Questa composizione è tipica di vegetazioni alpine e subalpine dei piani elevati, con una forte componente (38%) di specie relitte glaciali e numerosi elementi propri dell'arco alpino. La presenza del 13% di entità endemiche alpine indica inoltre un discreto grado di specializzazione floristica che assegna al sito un importante valore biologico.

Per maggior chiarezza nella Tabella 14 che segue vengono riportate le aree di espansione dei diversi corotipi. Col termine Orofita si intende una specie adattatasi a vivere in alta montagna, al di sopra del limite degli alberi.

Tabella 13_ Si riportano le definizioni degli areali dei diversi corotipi riscontrati nello studio.

Corotipo	**Definizione areale**
Orofita S-Europea	Catene dell'Europa meridionale, dalla Penisola Iberica, Alpi, ai Balcani ed eventualmente Caucaso o Anatolia
Circum-Artico-Alpi	Zone artiche dell'Eurasia e Nordamerica e alte montagne della zona temperata.
Circumboreale	Zone fredde e temperato-fredde dell'Europa, Asia e Nordamerica.
Endemica Alpi	Endemica alpica presente lungo tutta la catena alpina
Orofita C-Europea	Orofita centroeuropea (Alpi, Giura, Carpazi e talora anche catene piu' meridionali).
Subcosmopolita	In quasi tutte le zone del mondo, ma con lacune importanti

7. CONCLUSIONI

Con questo elaborato si è voluto proporre una breve panoramica dell'eterogeneità che un ambiente di alta quota può assumere sulla base della litologia e delle condizioni microclimatiche del sito. Già diversi studi si erano occupati di analizzare la pedogenesi su rocce ofiolitiche nel territorio della Valle d'Aosta, ma questa specifica area non era stata particolarmente approfondita. Si è così voluto raccogliere ed elaborare dati originali di un ambiente poco conosciuto e di difficile accesso.

In totale sono stati aperti 10 profili che cercano di coprire quanti più habitat e substrati differenti possibili, ma data la grande eterogeneità dell'area si tratta comunque di un'analisi che presenta un ampio margine di approfondimento. Una caratterizzazione accurata di quest'area richiederebbe ulteriori campionamenti sia pedologici che floristici. In particolar modo la futura attività di campagna risulterebbe più efficace se fosse concentrata nel periodo di fine giugno-inizio luglio, quando si concentrano le fioriture delle specie vegetali alpine permettendo in tal modo un più facile riconoscimento e una classificazione più accurata.

Il vallone delle Cime Bianche rappresenta un patrimonio naturale di vasto valore ecologico in grado di sostenere numerose cenosi a breve distanza fra loro. Già negli anni Novanta il geologo Giorgio Vittorio Dal Piaz suggerì di istituire proprio in questo territorio un "Parco dell'Oceano Perduto" perché la valle conserva significative testimonianze dell'antico oceano che separava le placche africana ed europea prima della formazione delle Alpi. La presenza di diverse tipologie litotiche ha portato alla formazione di suoli con caratteristiche anche molto differenti fra loro. Le proprietà peculiari dovute alla presenza di substrati ofiolitici hanno portato ad una specializzazione delle cenosi vegetali che possono essere riscontrate solo in pochi altri punti delle Alpi. Questo lavoro si propone di valorizzare l'eccezionale patrimonio biologico del Vallone delle Cime Bianche e di accrescere la consapevolezza sull'importanza ecologica di questo territorio. L'assenza di infrastrutture di grande impatto e di forme intensive di sfruttamento turistico ha finora favorito il mantenimento di ecosistemi relativamente integri, ospitando specie vegetali e animali di particolare interesse conservazionistico. In tale contesto, l'ipotesi di realizzare un collegamento funiviario tra la Val d'Ayas (comprensorio Monterosa Ski) e la Valtournenche (comprensori di Breuil-Cervinia e Zermatt) deve considerare attentamente i potenziali effetti sugli habitat, sulla biodiversità e sugli equilibri ecologici che caratterizzano la valle.

8. RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

Bini, C., L. Maleci. (2014). *The "Serpentine Syndrome" (Jenny, 1980): a proxy for soil remediation*. EQA - International Journal of Environmental Quality, 15(15), 1–13.

Bovio, M., M. Broglio, L. Poggio. (2023). *Guida alla flora della Valle d'Aosta*. Blu Edizioni.

Cortelazzo, M. (2023) *La pietra ollare di Saint-Jacquesdes-Allemands. Una risorsa millenaria.* Ayas Museo diffuso.

D'Amico, M. E., F. Julitta, F. Previtali, D. Cantelli. (2008). *Podzolization over ophiolitic materials in the western Alps (Natural Park of Mont Avic, Aosta Valley, Italy)*. Geoderma 146:129-137.

D'Amico, M.E., F. Calabrese, A. Rossetti and F. Previtali. (2009). *Heavy Metals and Biological Properties of Subalpine Soils on Ophiolites in the Italian Western Alps*. Northeastern Naturalist, Vol. 16, Special Issue 5: Soil and Biota of Serpentine: A World View. Proceedings of the Sixth International Conference on Serpentine Ecology, pp.193-214.

D'Amico, M.E., F. Previtali. (2012). *Edaphic influences of ophiolitic substrates on vegetation in the Western Italian Alps*. Plant soil 351:73-95.

D'Amico, M.E., E. Bonifacio, E. Zanini. (2014). *Relationships between serpentine soils and vegetation in a xeric inner-Alpine environment.* Plant Soil (2014) 376:111-128.

D'Amico M. E., M. Freppaz, G. Leonelli, E. Bonifacio, E. Zanini. (2015). *Early stages of soil development on serpentinite: the proglacial area of the Verra Grande Glacier, Western Italian Alps*. Journal of Soils and Sediments 15(6):1292-1310.

D'Amico E. M., R. Gorra, M. Freppaz. (2015). *Small-scale variability of soil properties and soil–vegetation relationships in patterned ground on different lithologies (NW Italian Alps).* Catena 135:47-58.

D'Amico M. E., M. Freppaz, E. Zanini, E. Bonifacio. (2017a). *Primary vegetation succession and the serpentine syndrome: the proglacial area of the Verra Grande glacier, North-Western Italian Alps*. Plant Soil 415(1-2):283-298.

D'Amico M.E., M. Freppaz, E. Bonifacio. (2017b). *Early stages of the serpentine syndrome in the Alps: results from a proglacial area*. 9th International conference on serpentine Ecology, Albania.

D'Amico, E. M., E. Pintaldi, E. Sapino, E. Quaglino, I. Passarella, M. Freppaz, E. Navillod, R.Rocco, S.Casola. (2019). *Carta dei Suoli della Valle d'Aosta. Note illustrative*. Scaricabile presso: https://mappe.regione.vda.it/pub/geoCartoSCT/

D'Amico, M. E., E. Pintaldi, E. Sapino, N. Colombo, E. Quaglino, S. Stanchi, E. Navillod, R. Rocco, M. Freppaz. (2020). *Soil types of Aosta Valley (NW-Italy)*. Journal of Maps,16:2, 755-765.

Dal Piaz, G.V., W.G. Ernst. (1978). *Areal geology and petrology of eclogites and associated metabasites of the Piemonte ophiolite nappe, Breuil-St. Jacques area, Italian Western Alps*. Tectonophysics. 51: 99-126.

FAO. (2006). *Guidelines for soil description. Fourth edition*. Rome

FAO. (2015). *Understanding Mountain Soils: A contribution from mountain areas to the International Year of Soils.* Romeo R., Vita A., Manuelli S., Zanini E., Freppaz M., Stanchi, S. Rome, Italy.

FAO. (2021). *Standard operating procedure for soil pH determination*. Rome.

Favero Longo, E. S., C. Siniscalco. (2004). *Influenza del substrato sulla variabilità intraspecifica di Thlaspi rotundifolium (L.) Gaudin nelle Alpi Occidentali*. Rev. Valdôtaine Hist. Nat. 58:129-140.

Freppaz, M., S. Stanchi, E. Pintaldi, M. D'Amico, E. Navillod, C. Trèves, M. Bassignana, I. Boni, E. Cremonese, F. Simonetto, F. Savoye. (2024). *The Development of Soil Science in Aosta Valley*. Soil Science in Italy. Springer, Cham.:497–504.

Giordano, A. (2002). *Pedologia forestale e conservazione del suolo*. UTET. Pag. 26

IUSS Working Group WRB. (2022). World Reference Base for Soil Resources. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. 4th edition. International Union of Soil Sciences (IUSS), Vienna, Austria.

Jenny, H. (1941). *Factors of soil formation*. Dover Publications.

Landolt, E. *et al*. (2010). *Flora indicativa: Ökologische Zeigerwerte und biologische Kennzeichen zur Flora der Schweiz und der Alpen. Ecological indicator values and biological attributes of the Flora of Switzerland and the Alps*. Haupt Verlag.

Paganone, M., N. Tripodi. (2013). *I minerali in Valle d'Aosta*. Environnement Ambiente e Territorio in Valle d'Aosta. Vol. 59.

Passeri, L., G. V. Dal Piaz. (2024). *Geologia della Valle d'Aosta, Guida fotografica*. 63-77.

Prinetti, F. (2019). *Une randonnée (non seulement) géologique: la Roisette 3324 m*. 03.01.2013. Disponibile presso: https://andarpersassi.it/

Prinetti, F. (2019). *Il vallone dell'Oceano perduto*. 18.07.2019 Disponibile presso: https://andarpersassi.it/

Rajakaruna, N., R. S. Boyd. (2014). *Serpentine Soils. obo* in Ecology.

Reeves, Roger & Brooks, R.R. (1983). *European species of Thlaspi L. (Cruciferae) as indicators of nickel and zinc*. Journal of Geochemical Exploration 18:275-283.

Regione Autonoma Valle d'Aosta (2024). *NATURA 2000 - Standard Data Form. Sito IT1204220: Ambienti glaciali del Gruppo del Monte Rosa*. Dipartimento Risorse Naturali, Località Amerique 127/a - Quart (AO). Aggiornamento dicembre 2024.

Verger, J. P. (1990). *Importance des facteurs édaphiques dans la répartition des forêts subalpines d'adret sur serpentines, prasinites et gneiss en Val d'Aoste (Italie)*. Annals of Forest Science. 47:43-56.

Verger, J. P., Cadel, G., Rouiller, J., & Souchier, B. (1993). *Végétations forestières et alpines du haut Val d'Aoste sur roches ophiolitiques et gneiss*. Revue D'écologie Alpine, 2, 43–72.

Verger, J. P. (1993). *Note sur la répartition et l'écologie de Carex fimbriata Schkuhr au Queyras et dans les Alpes.* Acta Botanica Gallica, 140:1, 63-68.

Verger, J. P. (1979). *Origine des sols prasinites et serpentines sous végétation pionnière en climat alpin (Val d'Aoste)*. Documents De Cartographie Écologique, 21, 127–138.

9. RINGRAZIAMENTI

Ho aspettato tutta la tesi per scrivere su carta questi pensieri. Sono sinceramente grata e credo che il capitolo dei ringraziamenti sia il luogo migliore per esprimere tutta la mia riconoscenza.

Il primo grazie va al mio relatore, il prof. Michele D'Amico, perché vedere qualcuno così entusiasta del suo lavoro – che forse in questo caso è meglio chiamare passione – è una grande fonte di ispirazione. Ringrazio inoltre, per il supporto tecnico e le conoscenze messe a disposizione per la stesura di questo elaborato, la dott.ssa Adriana Carrera e il dott. Andrea Mainetti.

Dopo gli istituzionali, seppur sinceramente sentiti, ringraziamenti, segue un piccolo pensiero personale, che in questa pagina trova la sua naturale collocazione a conclusione di questo percorso.

Grazie papà Roberto perché mi hai insegnato che in salita serve un passo lento e costante, così ora posso andare ovunque.

Grazie mamma Vera, perché, anche se quando mi dicono che ti somiglio un po' mi indispettisco, in realtà l'analogia con una donna intraprendente e determinata come te mi lusinga.

Grazie Toti, perché le nostre differenze ci completano, solo che ogni tanto me lo scordo.

Grazie a Edolo che è stata Casa e mi ha regalato l'occasione di incontrare persone con le quali l'affinità che sentivo all'inizio si è ormai trasformata in famigliarità. Alle mie Superkikke: Marta e Gaia che siete le persone più forti che conosco. Siete capaci di farmi sentire sempre voluta bene nonostante tutto. So solo che da quando viviamo, viaggiamo e sogniamo insieme la vita è rifiorita. Grazie Yves perché passare il tempo assieme è ogni volta un regalo. Voi avete guarito il mio spirito.

Infine vorrei ringraziare il Rifugio Guide del Frachey, che sento Casa. Un grazie va a chi su quella terra poggia i piedi adesso, a chi è passato anche solo per una notte e, sopra a ogni cosa, a chi è rimasto:

sit tibi terra levis.