



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI MILANO
Facoltà di Scienze Agrarie e Alimentari

Corso di Laurea Triennale in
Valorizzazione e Tutela dell'Ambiente e del Territorio Montano

**Valutazione del rischio di erosione dei suoli di ambiente
montano gestiti per la pratica di sport invernali**

Relatore: Michele Eugenio D'AMICO
Correlatore: Silvia STANCHI

Elaborato Finale di: **Michelle Lancianese**
Matricola: 853651

Anno Accademico 2017-2018

INDICE

1. Premessa.....	3
2. Introduzione.....	5
2.1. Il suolo.....	5
2.2. La struttura.....	6
2.3. La stabilità della struttura.....	9
2.4. Inquadramento dell'area di studio.....	9
2.4.1. Aspetti geo-litologici.....	10
2.4.2. Aspetti floristici.....	11
2.5. I suoli dell'area di studio.....	13
3. Scopo.....	15
4. Materiali e metodi.....	15
4.1. Piano di campionamento.....	15
4.1.1. Rilievi in campo.....	18
4.1.2. Preparazione dei campioni.....	19
4.2. Analisi chimico-fisiche.....	19
4.2.1. Analisi di routine.....	19
4.2.1.a. <i>pH</i>	19
4.2.1.b. <i>Carbonio organico e azoto</i>	19
4.2.1.c. <i>Carbonati totali</i>	20
4.2.2. WAS.....	20
4.2.2.a. <i>Procedimento di laboratorio</i>	21
4.2.3. Limiti di Atterberg.....	23
4.2.3.a. <i>Procedimento di laboratorio</i>	24
5. Metodo di analisi statistica.....	27
6. Risultati e discussione.....	28
6.1. Caratteristiche chimiche dei campioni.....	28
6.2. Caratteristiche fisiche dei campioni.....	31
6.2.1. WAS.....	31
6.2.2. Limiti di Atterberg.....	36
7. Conclusioni.....	39
8. Bibliografia.....	41
9. Riassunto.....	44
10. Ringraziamenti.....	46

1. PREMESSA

La perdita di suolo, a livello mondiale, è pari a 75 miliardi di tonnellate all'anno (FAO, 2015) e il fattore principale di questo fenomeno è proprio l'erosione.

In ambiente montano i suoli maggiormente esposti a tale rischio sono quelli sfruttati dall'uomo per scopi agricolo-zootecnici e turistici. Prati e pascoli, infatti, nascono dalle progressive trasformazioni antropiche, degli ecosistemi naturali montani in agroecosistemi, gestiti per utilizzarne il foraggio (Gusmeroli, 2012). L'abbattimento dei fitti ed estesi boschi naturali alpini ha reso instabili queste aree montane già intrinsecamente fragili e precarie. Per questo motivo gli interventi di difesa, gestione e manutenzione del suolo montano sono di primaria importanza. Ciò che differenzia un prato da un pascolo è il metodo di gestione scelto. L'agroecosistema prato nasce dal taglio delle praterie; un prato, infatti, è un terreno atto a produrre erba da falciare una o più volte all'anno. Il fattore di controllo di un prato è quindi il taglio. Un prato usato in modo intensivo, ovvero un prato in cui la frequenza di taglio è alta, sarà maggiormente esposto al rischio di degrado ed esaurimento del cotico erboso (fondamentale per prevenire l'erosione) rispetto ad un prato estensivo.

Il pascolo, invece, per definizione è una distesa erbosa generalmente utilizzata nella pastorizia per il nutrimento diretto di animali erbivori. Per il pascolo il fattore di controllo è proprio il metodo di pascolamento. Qualora si decida di applicare il pascolamento libero, sappiamo di andare incontro a possibile sentieramento, nonché compattazione del suolo e quindi rischio di erosione.

I suoli usati per la pratica di sport invernali sono prati o pascoli sottoposti a notevoli stress chimico-fisici. Gli effetti sul suolo vanno dall'erosione al degrado chimico (squilibri di C organico, N, P e presenza di eventuali inquinanti) causato dall'innervamento artificiale, al degrado fisico dovuto alla gestione delle piste: compattazione e riduzione del volume complessivo e della dimensione dei micropori, riduzione dei cementi organici e delle ife fungine, con conseguente perdita di sostanza organica e riduzione del suo tasso di umificazione (CAI-TAM, 2010).

Questi effetti negativi complicano notevolmente le operazioni di inerbimento indispensabili al termine della stagione invernale; una delle cause principali è proprio la neve artificiale la quale essendo notevolmente compattata:

- è più pesante di quella naturale
- riduce la capacità di isolamento del suolo
- favorisce il congelamento del cotico erboso e degli orizzonti superficiali.

A questi fattori si vanno a sommare gli effetti negativi sulla vegetazione quali:

- riduzione della copertura vegetale
- alterazione e riduzione della biodiversità
- ritardo nello sviluppo della vegetazione

Tutto ciò in conseguenza del prolungamento della copertura nevosa oltre i naturali tempi del ciclo vegetativo. Dagli studi condotti dall'organizzazione FAO (2015) il disturbo maggiore arrecato ai suoli delle piste da sci è dato dalle opere estive di livellamento e di modifica della morfologia del terreno, le quali se non seguite da un adeguato inerbimento, portano ad erosione dovuta alla mancanza di struttura.

La cattiva gestione di prati, pascoli e piste da sci può portare, perciò, ad avere suoli troppo poco sviluppati in termini di struttura ovvero suoli con un basso livello di aggregazione. Suoli poco strutturati ovvero poco stabili abbinati a eventi meteorici di medio-elevata intensità sono la causa di eventi catastrofici anche su vaste aree, nei casi più gravi. La forza meccanica ed abrasiva delle singole gocce d'acqua causa, infatti, la distruzione degli aggregati del suolo. Un suolo nudo, privo della copertura erbosa sarà più vulnerabile all'azione battente della pioggia, la quale agisce con il distacco e il trasporto di particelle di suolo, favorendone l'erosione. Un suolo non adeguatamente inerbito sarà inoltre povero di micro e macro pori, fondamentali per assicurare una buona capacità d'infiltrazione dell'acqua verso orizzonti più profondi in modo da evitare il deflusso superficiale, ulteriore causa di erosione. Nel caso di suoli con scarso drenaggio andiamo incontro al fenomeno di saturazione con conseguente passaggio da stato solido a stato liquido del suolo e rischio di sovrascorrimento di orizzonti, talvolta disastrosi.

L'erosione, è un fenomeno che se non controllato con adeguate misure di prevenzione può portare ad eventi catastrofici per prati e pascoli stessi nonché per eventuali strutture antropiche di monte o di valle.

2. INTRODUZIONE

2.1. Il suolo

Esiste un ambiente, detto pedosfera (dal greco pedon = suolo) in cui litosfera, atmosfera, idrosfera, e biosfera si sovrappongono ed interagiscono. Il suolo, infatti, è l'unico comparto ambientale terrestre in cui tutti i diversi comparti ambientali si incontrano, interagiscono e s'interfacciano contemporaneamente.

Il suolo nella sua definizione più generica è il prodotto di tutte le trasformazioni che riguardano sostanze minerali ed organiche, avvenute sulla superficie della Terra, sotto l'azione di vari fattori ambientali che hanno operato e operano per tempi generalmente lunghi. L'azione di questi fattori concorre alla pedogenesi del suolo, "nascita del suolo" appunto.

La nota equazione di Jenny (1941) esprime quanto appena detto:

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

in cui il suolo è in funzione del clima, della componente biotica, della morfologia, del substrato e del tempo.

Il suolo è composto da acqua, aria, sostanza organica (derivante da sostanze umiche, residui vegetali e animali, biomassa) e da una frazione inorganica derivante dai processi di alterazione chimica dei minerali e delle rocce che affiorano sulla superficie della Terra (Ray F. Evert *et al.*, 2013).

La pedologia dunque è la scienza che ha come oggetto di studio proprio il suolo, la sua origine, le sue proprietà, la sua descrizione e classificazione in termini morfologici ed ecologici. Il suolo ha origine dalla roccia madre e dai residui della biomassa e si sviluppa attraverso i processi pedogenetici. Bisogna tenere conto che in ragione della sua pedogenesi il suolo può avere una composizione variabilissima e perciò avere proprietà chimico-fisiche uniche ed estremamente eterogenee.

Inoltre, il suolo si divide verticalmente in strati, detti orizzonti, i quali possono essere molto vari e perciò ne caratterizzano il tipo di suolo (Figura 1).

Grazie alla sua natura varia e complessa, il suolo è in grado di provvedere a un gran numero di funzioni socio-economiche ed ecologiche: da quella edafica fondamentale per l'uomo e le

comunità vegetali, a quella di tampone ambientale fondamentale per l'ecosistema. In seguito a quanto detto l'importanza del suolo risulta evidente; l'uomo dipende dal suolo e il suolo dipende dall'uomo, essendo un sistema aperto che offre la possibilità di continui scambi di materia e energia.

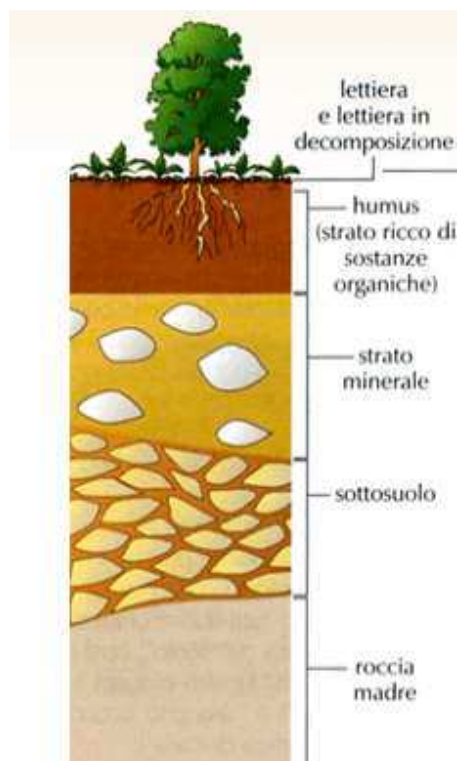


Figura 1: Sezione laterale degli strati, o orizzonti, che formano un generico suolo forestale

2.2. La struttura

Tra le proprietà che influenzano a livello fisico il suolo, abbiamo la struttura. La struttura è il risultato dell'aggregazione con cui interagiscono le componenti minerali ed organiche del suolo. Gli aggregati, ovvero le minime unità strutturali del suolo, chiamati anche "ped", sono il risultato dell'unione tra particelle primarie, in base al grado di coesione tra una particella e l'altra. In accordo con quanto detto, gli aggregati possono essere più o meno grandi e più o meno resistenti. Queste unità strutturali si comportano come elementi singoli circondati da spazi di rottura, i pori.

Notiamo subito che una buona struttura permette un'efficace circolazione di aria e acqua, riducendo di conseguenza il rischio di erosione.

La struttura può essere definita anche in funzione del gradiente di coesione, distinguendo in suoli strutturati e suoli non strutturati. Un suolo senza struttura presenta singoli granuli separati oppure, al contrario, avere un aspetto massivo, ovvero totalmente coeso, privo di spazi vuoti. Nei suoli strutturati, invece, abbiamo aggregati ben definiti, collocati secondo un ordine preciso e dalle forme più varie (Figura 2). Una struttura di tipo granulare favorisce notevolmente la capacità di infiltrazione dell'acqua attraverso il suolo. Con una struttura a blocchi la permeabilità e conducibilità idrica del suolo diminuisce all'aumentare della dimensione dei blocchi. Una situazione analoga la si trova nella struttura prismatica. Infine, una struttura lamellare rischia di ridurre il movimento dell'acqua, in seguito a sovrapposizione delle singole lamelle.



Figura 2: Tipi di aggregati, in ordine: granulare; a blocchi; prismatico; lamellare

Gli agenti aggreganti possono essere di diversa natura: organici o inorganici, permanenti o transitori. In accordo con questo aspetto, ovvero alla dominanza di uno o più leganti, la stabilità strutturale cambia da suolo a suolo. Nello specifico, i processi di formazione e organizzazione della struttura vedono l'interazione di: argille, ossidi e idrossidi di Fe, Al e Mn, carbonato di calcio, sostanza organica (*compresi gli essudati degli apparati radicali e i metaboliti dei microrganismi del suolo*) (DIVAPRA, 2014). Nella genesi degli aggregati hanno un ruolo importante anche gli ioni, i quali promuovono la flocculazione dei colloidali, fondamentali per la formazione dei pori, in cui circolano aria e acqua.

Gli aggregati, secondo la "teoria gerarchica", possono essere distinti in microaggregati (<250 μm) e macroaggregati (>250 μm), formati dall'unione di più microaggregati (Edwards e Bremner, 1976; Tisdall, 1996).

I primi sono influenzati dalla capacità della sostanza organica di formare, grazie alle forze di attrazione elettrostatiche presenti sulle superfici di questi materiali, complessi argillo-umici

(Figura 3), in grado di “imbrigliare” come in una rete le particelle minerali di classi tessiturali superiori (Curtaz e Zanini, 2013). A livello di macroaggregati la stabilità è più fortemente influenzata dall’uso e dalla gestione del suolo, in quanto è noto che gli apparati radicali di piante erbacee hanno un effetto positivo sulla stabilità strutturale dei macroaggregati (Oades, 1993; Miller e Dick, 1995). Sappiamo, infatti, che radici e ife fungine sono importanti agenti leganti, seppur temporanei. In generale è stato osservato che un ruolo di primaria importanza nella formazione degli aggregati, quindi nella stabilità della struttura, è data dalla quantità e qualità della sostanza organica.

Secondo Demolon e Henin (1932) i colloidi di natura organica hanno una più spiccata capacità di formare aggregati rispetto ai colloidi argillosi.

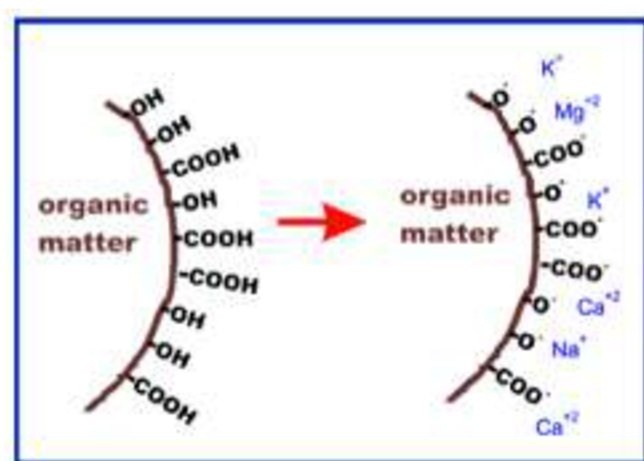


Figura 3: Genesi di un complesso “argillo-umico”

Il carbonato di calcio ha una notevole azione cementante, in quanto lo ione calcio, combinato a sostanze umiche, forma delle pellicole protettive intorno agli aggregati.

Pellicole o cutans intorno agli aggregati possono essere formate anche da parte di ossidi e idrossidi di argilla o di sostanza organica.

Determinante per quanto riguarda il tipo di aggregati che si andranno a formare è anche la tessitura, ovvero la percentuale di sabbia, limo e argilla nella frazione di terra fine (< 2 mm).

Infine, anche l’acqua determina l’avvicinamento e coesione delle particelle primarie del suolo, avendo carica elettrostatica e attraversando cicli di gelo/disgelo, idratazione/evaporazione.

2.3. La stabilità della struttura

Il sistema suolo è per natura instabile e soggetto a continui processi distruttivi, che colpiscono anche gli aggregati più stabili. *Gli stessi fattori fisici, chimici e biologici attivi nella genesi della struttura possono infatti provocarne la disaggregazione* (Violante 1996). In primis abbiamo l'acqua.

La perdita di struttura attraverso l'azione dell'acqua può avvenire per deformazione meccanica, per liquefazione o per disaggregazione. La distruzione meccanica degli aggregati avviene attraverso il cosiddetto "effetto splash" in cui la forza cinetica della singola goccia d'acqua va ad impattare sul suolo colpito. Fenomeni di disaggregazione avvengono nel momento in cui andiamo incontro a eventi di rapida idratazione del suolo, in cui abbiamo il rischio di "esplosione" degli aggregati a causa dell'aumento di pressione esercitata dall'aria presente al loro interno. Infine, l'acqua può incidere negativamente sulla stabilità chimico-fisica dei "ped" per riduzione delle forze di attrazione tra le particelle colloidali, in seguito a liquefazione.

La presenza di argille espandibili alza il rischio di distruzione della struttura, in quanto aumentando o diminuendo di volume a seconda dell'idratazione causano un rimescolamento degli orizzonti (Mori e Zanini, dispense universitarie).

In linea generale, la vulnerabilità del suolo dipende da caratteri fisici quali: mineralogia del substrato, suoli ricchi in mica risultano fortemente vulnerabili, stabilità degli aggregati perciò quantità e tipo di sostanza organica, presenza di carbonati (D'Amico *et al.*, 2011).

La precaria stabilità strutturale del suolo segue le naturali leggi dell'entropia, ed è aggravata dal fatto che la dinamica di aggregazione ha tempi più lunghi rispetto alla disaggregazione.

Basandoci sul fatto che una buona struttura limita l'erosione (Barthès e Roose, 2002), non possiamo prescindere dalla conoscenza di tutti i fenomeni che vanno ad interferire con essa.

2.4. Inquadramento dell'area di studio

Il lavoro svolto ha visto il coinvolgimento di sei aree lombarde, comprese nei comuni di: Aprica, Corteno Golgi, Edolo, Vezza d'Oglio, Temù e Ponte di Legno.

In generale tutti i comuni interessati si dispongono omogeneamente su una linea orizzontale che va da Ovest ad Est, la quale inizia dalla Val di Corteno, termina nel comune di Ponte di Legno e nel suo insieme viene chiamata Alta Val Camonica, seguendo l'allineamento della Linea

Insubrica. Il primo comune sopra citato è situato a 1181 m s.l.m. sull'omonimo passo che separa la Val Camonica dalla Valtellina, immerso nello scenario delle Alpi Orobie nord-orientali. Corteno Golgi si trova ad un'altitudine di 925 m s.l.m. a metà dell'omonima valle, a Nord-Est delle Alpi Orobie. Il comune di Edolo è situato a 720 m s.l.m. ai piedi dell'area occidentale del gruppo dell'Adamello. Vezza d'Oglio si eleva fino a 1080 m s.l.m. e comprende tre valli laterali a quella principale, le quali sono: Val Grande, Val Paghera e Val Bighera. Il comune di Vezza d'Oglio è sormontato a Nord dal gruppo Sobretta-Gavia e a Sud dal gruppo dell'Adamello, allo stesso modo il comune di Temù. Quest'ultimo si alza sino ad un'altitudine di 1144 m s.l.m., mentre il comune di Ponte di Legno, immerso in un ampio fondovalle, si trova a 1258 m s.l.m. a Sud del gruppo Ortles-Cevedale. Il comune di Ponte di Legno termina con la frazione del Passo del Tonale (1884 m s.l.m.) sulle Alpi Retiche, a cavallo tra Lombardia e Trentino-Alto Adige, separando il gruppo dell'Ortles (a Nord) dal gruppo dell'Adamello e della Presanella (a Sud).

2.4.1. Aspetti geo-litologici

Come visto in precedenza, le diverse aree di studio interessate si estendono lungo la così detta linea Insubrica, un'estesa faglia trascorrente situata nell'arco alpino italiano, con andamento Est-Ovest (Figura 4). Questa linea segna il punto di scontro tra la placca europea (a Nord) e la placca africana (a Sud) da cui nacquero le Alpi.

A Sud della linea tettonica abbiamo le Alpi Meridionali (Dominio Sudalpino) costituite in grande parte da rocce calcaree e dolomitiche, ma anche da rocce silicatiche metamorfiche (micascisti e filladi) appartenenti al basamento cristallino, rappresentato dai noti "Scisti di Edolo" (Berruti, 1984). Sempre da un punto di vista geologico, le Alpi che si trovano a Nord fanno parte del dominio Austroalpino e la loro composizione litologica è caratterizzata da un complesso di marmi, quarziti e metabasiti (APAT, 1998).

In particolare, attraverso la consultazione della Carta Geologica fornita dal Geoportale di Regione Lombardia (sistema di riferimento WGS84/UTM32) notiamo che i campioni sono stati prelevati, in maggior misura, in zone con forte presenza di: paragneiss, micascisti, filladi, graniti, granodioriti e quarziti. Tuttavia, è stata individuata anche la presenza di piccole formazioni di basalti, andesiti, dioriti, gabbri e rioliti.

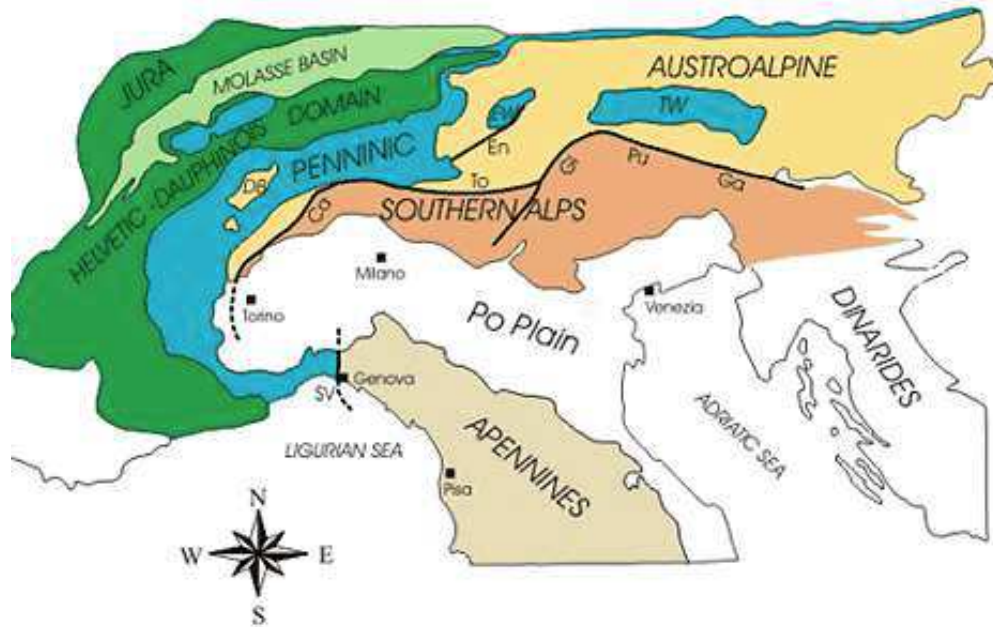


Figura 4: Linea Insubrica (in nero) che divide le Alpi Meridionali (Southern Alps) dal Dominio Austroalpino

2.4.2. Aspetti floristici

Grazie allo studio della carta dei tipi forestali fornita dal Geoportale di Regione Lombardia (sistema di riferimento WGS84/UTM32) sappiamo che le aree in cui sono stati effettuati i campionamenti sono caratterizzate da una forte presenza di peccete montane (associazione del *Piceetum transalpinum*) e subalpine (associazione del *Piceetum subalpinum*) entrambe identificate da *Picea excelsa*, fatta eccezione per la zona di prelievo del Passo del Tonale, la quale essendo ad una quota altitudinale superiore è dominata dall'associazione cespugliosa *Alnetum viridis*. Quest'ultima associazione vegetale è facilmente reperibile, anche se con minore densità, nelle aree di Vezza d'Oglio, Aprica, Temù.

Abbastanza diffuse in tutte le aree di studio in questione sono larici-cembrete appartenenti all'associazione del *Rhododendro-Vaccinietum*, insieme ad aceri-frassineti ed aceri-tiglieti. Piccoli popolamenti di corileti e betuleti abitano questi territori, in cui rada è anche la presenza di querceti a prevalenza di *Quercus petraea*.

Nella zona edolese si riscontra un'ampia comunità di *Pinus sylvestris*, nonché di castagneti.

La vegetazione arbustiva, tipica della fascia altitudinale compresa tra le foreste di conifere e le praterie naturali, vede come protagoniste le specie: *Loiseleuria procumbens*, *Vaccinium uliginosum*, *Rhododendron ferrugineum*, *Juniperus nana*, *Calluna vulgaris* per quanto riguarda i suoli a natura acida, mentre troviamo *Erica carnea*, *Rhododendron hirsutum* e vaste mughete a *Pinus mugo* su matrici basiche.

Per quanto riguarda le praterie naturali alpine, dal punto di vista della vegetazione distinguiamo due associazioni principali: *Caricetum curvulae* (curvuleto) su substrati acidi, *Seslerio-Caricetum sempervirentis* (seslerieto) in quelli carbonatici (Gusmeroli, dispense universitarie). Il curvuleto, ovvero quello maggiormente presente nella nostra area di interesse data la mineralogia, esso è dominato dalla specie *Carex curvula* accompagnata da altre specie, quali: *Agrostis rupestris*, *Anthoxanthum alpinum*, *Avenula versicolor*, *Leontodon helveticus*, *Minuartia recurva*, *Pedicularis kernerii*, *Phyteuma hemisphaericum*, *Potentilla aurea*, *Primula* spp, *Senecio incanus* ssp. *Carniolicus* e *Veronica bellidioides*.

Nelle Alpi meridionali il curvuleto viene sostituito dall'associazione *Festucion variae* popolata in prevalenza da *Festuca luedii*.

Dove il substrato è basico troviamo le specie: *Carex firma*, *Sesleria varia*, *Genziana clusii*, *Helianthemum oelandicum*, *Carex rupestris*, *Festuca quadriflora* e *Minuartia verna*.



Figura 5: Prato pingue su pista da sci (stazione Passo del Tonale)

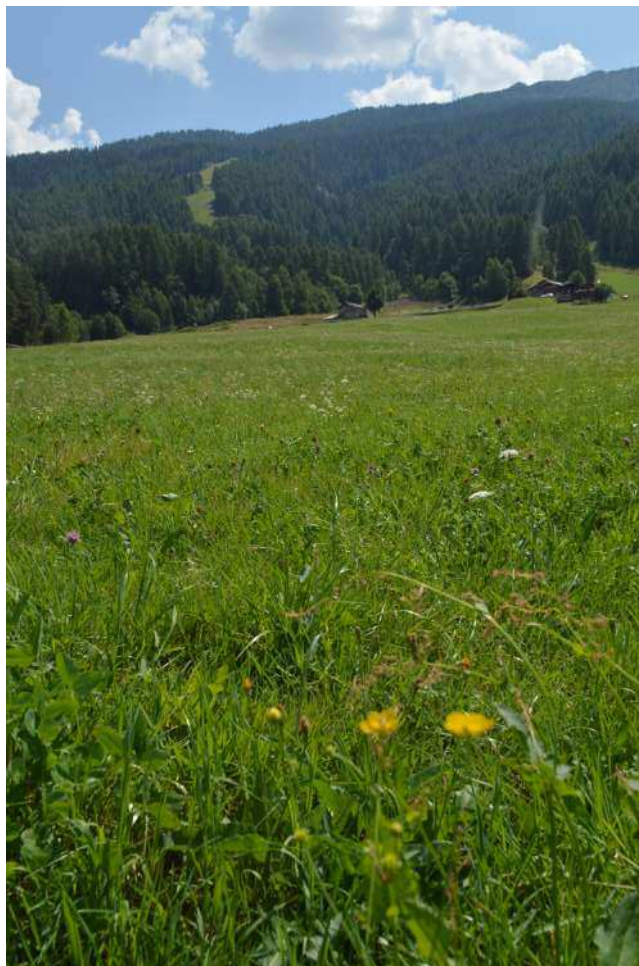


Figura 6: Prato pingue su pista da sci (stazione Aprica)

2.5. I suoli dell'area di studio

Dalla carta dei suoli della Lombardia fornita da ERSAF (sistema di classificazione WRB) notiamo che nelle aree di nostro interesse abbiamo prevalenza di Podzols, Fluvisols nei fondovalle, Cambisols con caratteri spodici (Figura 7). Per analizzare più da vicino le aree di nostro interesse, è stata consultata anche la carta pedologica fornita dal Geoportale della Lombardia. Attraverso quest'ultima carta è stata confermata la presenza di Cambisols podzolici a Corteno Golgi, Edolo, Vezza d'Oglio e Temù, in particolare nel fondovalle di quest'ultima località vi è la presenza di Fluvisols; mentre abbiamo prevalenza esclusiva di Podzols in zona Aprica e Passo del Tonale. Infine, è emerso, sempre dalla carta pedologica regionale, un dato relativo alla tessitura: tutti i suoli analizzati risultano franco-sabbiosi.

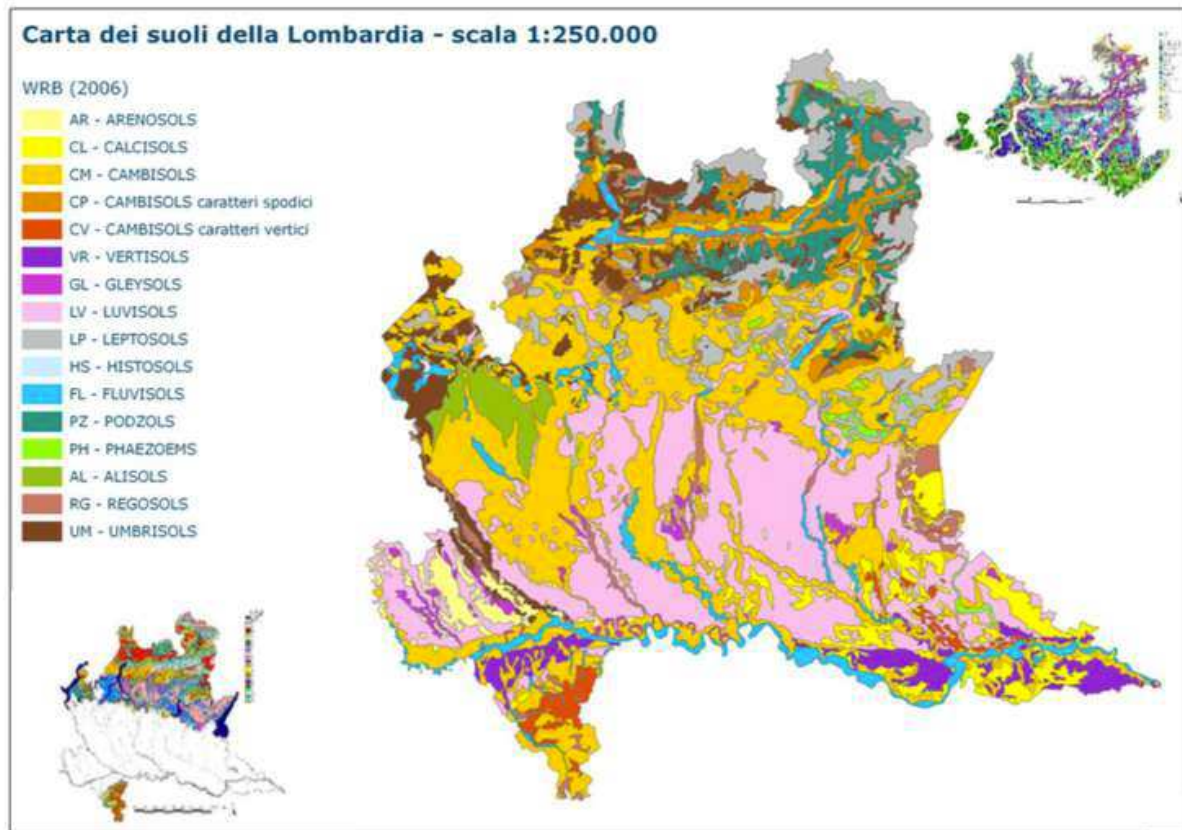


Figura 7: Carta pedologica dei suoli della Lombardia in scala 1:250.000

I Fluvisols sono caratterizzati da materiali fluvici compresi dai 25 ai 50 cm di profondità, perciò sono suoli sviluppati su sedimenti alluvionali e possono presentare vari orizzonti superficiali, quali: histico, mollico, ocrico, umbrico (Costantini *et al.*, 1999). Sapendo di poter avere tali orizzonti capiamo d'essere prevalentemente in situazioni di abbondante sostanza organica. Inoltre, i Fluvisols esprimono nel loro orizzonte A proprietà derivanti dall'uso del suolo a pascolo o da disturbi di vario genere.

I Podzols, invece, hanno un orizzonte spodico entro 200 cm dalla superficie, al di sotto di un orizzonte albico, histico, humbrico o ocrico oppure un orizzonte antropedogenico di spessore inferiore ai 50 cm. Il chimismo di questi suoli è tipicamente di natura acida e li troviamo facilmente in zone fredde e umide. Altro tratto tipico di questi suoli è la formazione di un orizzonte eluviale albico e di uno illuviale spodico, in seguito a fenomeni di cheluviazione ovvero di traslocazione di Fe, Al e/o sostanza organica verso orizzonti profondi con conseguente arricchimento in silice nell'orizzonte soprastante e perdita di nutrienti e basi di scambio. Infine,

i Cambisols, suoli con pedogenesi poco spinta, hanno un orizzonte di alterazione cambico, meno acidificati e lisciviati rispetto ai Podzols.

I Cambisols rappresentano suoli giovani dallo sviluppo pedogenetico moderato, contengono perciò un orizzonte Bw, il quale mostra il progredire di fenomeni di aggregazione e alterazione “in situ”. L’orizzonte che caratterizza maggiormente i Cambisols è proprio quello cambico, un orizzonte povero in sostanza organica ma ricco in ferro. In superficie però vi è, come per i fluvisols, un orizzonte A di accumulo di SO.

3. SCOPO

Scopo della tesi è quello di valutare il rischio di erosione a cui sono sottoposti i suoli montani gestiti per la pratica di sport invernali, sulla base del confronto tra pedositi, ovvero interpretando e mettendo a confronto le qualità chimico-fisiche di suoli sfruttati come piste da sci con le qualità chimico-fisiche di prati e pascoli.

Ottenere un quadro generale che mostri eventuali differenze, in termini di possibile perdita di suolo, tra questi agroecosistemi gestiti in modo nettamente differente, è perciò l’obbiettivo ultimo del lavoro svolto.

4. MATERIALI E METODI

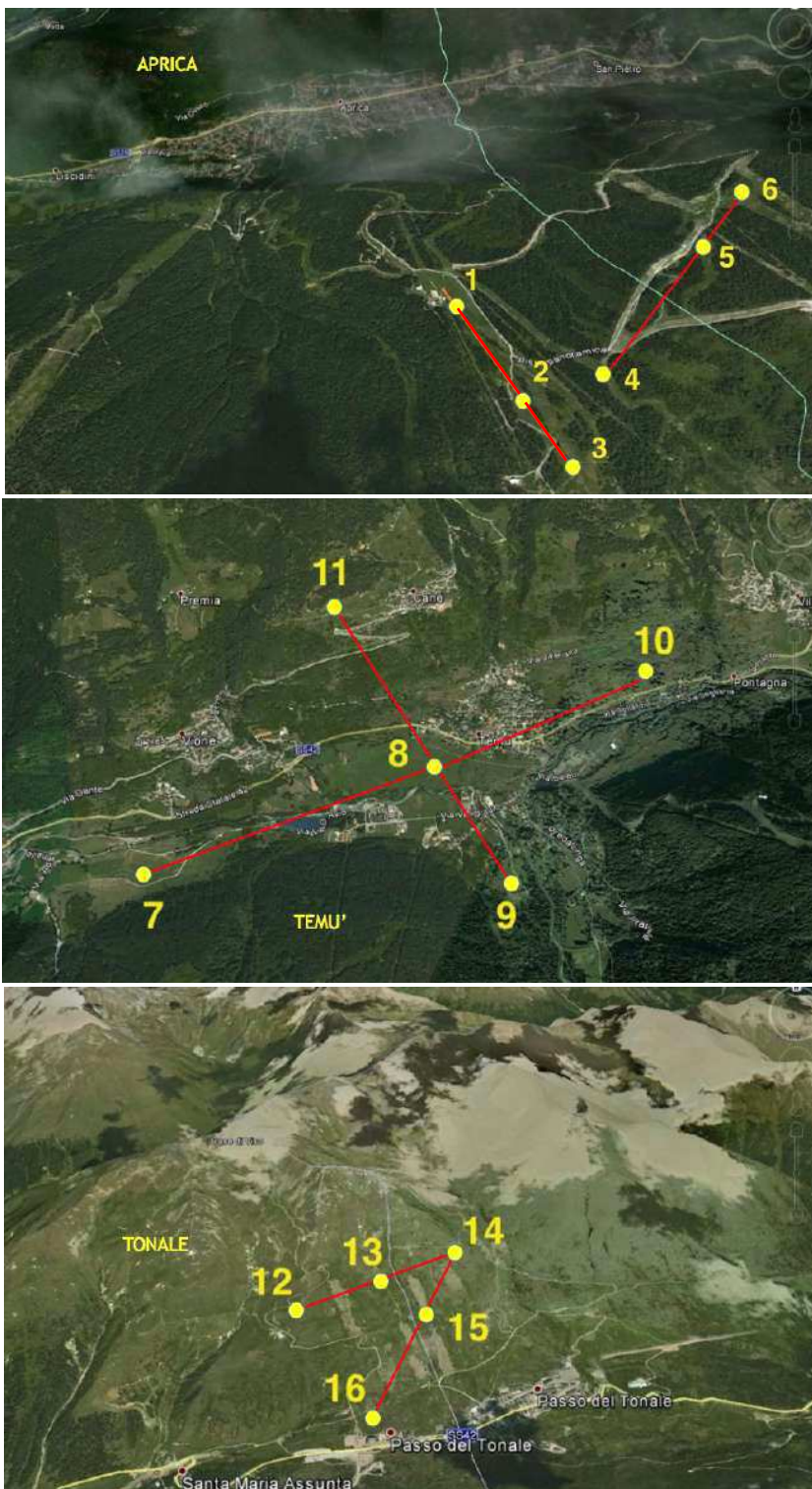
4.1. Piano di campionamento

I campioni oggetto di studio sono stati prelevati nella parte più superficiale di ogni profilo considerato, ovvero nello strato detto topsoil. Questo è compreso ad una profondità che va dai 0 ai 20 cm e normalmente include gli orizzonti organominerali A. L’analisi del topsoil è più specificatamente mirata a valutare la vulnerabilità del suolo nei confronti dei processi erosivi superficiali nonché verso i fenomeni di soliflussione, soil creep, debris flow e mudflow.

Tutti i campioni sono stati numerati (da 1 a 28) e per ogni comune è stata presa un’immagine satellitare (servizio Google Maps) in cui sono stati segnati i punti esatti di prelievo, in modo da renderli geograficamente distinguibili attraverso la classificazione numerica.

Come si può osservare dalle immagini (Figura 8), i campioni di Aprica e Passo del Tonale sono stati presi a quote altitudinali diverse sulle piste da sci, mentre per i campioni

rappresentanti prati e pascoli sono state scelte sia zone di fondovalle che di versante, ad altitudini superiori.



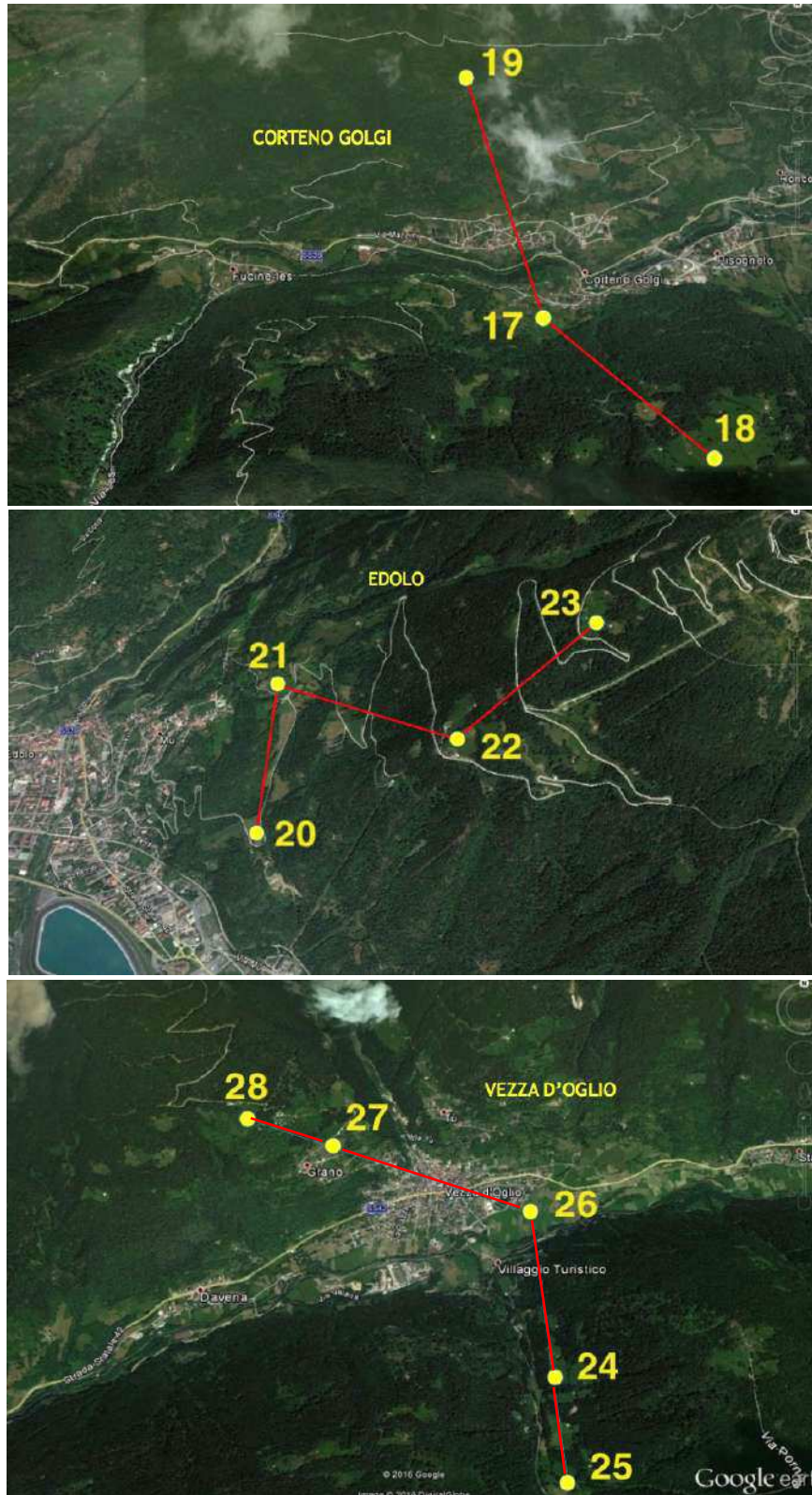


Figura 8: Individuazione dei siti campionati

4.1.1. Rilievi in campo

Durante le operazioni di campionamento in campo, per ciascun punto di prelievo sono state rilevate: altitudine (tramite localizzatore GPS) e uso del suolo in questione (attraverso indagine visiva, Tabella 1).

N° CAMPIONE	LUOGO	ALTITUDINE (m s.l.m.)	USO DEL SUOLO
1	Aprica	1691	Pista da sci – pascolo estivo
2	Aprica	1823	Pista da sci – pascolo estivo
3	Aprica	1866	Pista da sci – pascolo estivo
4	Aprica	1838	Pista da sci – pascolo estivo
5	Aprica	1685	Pista da sci – pascolo estivo
6	Aprica	1609	Pista da sci – pascolo estivo
7	Temù	1086	Prato – pascolo
8	Temù	1108	Prato – pascolo
9	Temù	1143	Prato – pascolo
10	Temù	1194	Prato – pascolo
11	Temù	1492	Prato – pascolo
12	Passo del Tonale	2129	Pista da sci – pascolo estivo
13	Passo del Tonale	2213	Pista da sci – pascolo estivo
14	Passo del Tonale	2240	Pista da sci – pascolo estivo
15	Passo del Tonale	2020	Pista da sci – pascolo estivo
16	Passo del Tonale	1897	Pista da sci – pascolo estivo
17	Corteno Golgi	900	Prato – pascolo
18	Corteno Golgi	936	Prato – pascolo
19	Corteno Golgi	980	Prato – pascolo
20	Edolo	806	Prato – pascolo
21	Edolo	923	Prato – pascolo
22	Edolo	1201	Prato – pascolo
23	Edolo	1486	Prato – pascolo
24	Vezza d'Oglio	1140	Prato – pascolo
25	Vezza d'Oglio	1168	Prato – pascolo
26	Vezza d'Oglio	1024	Prato – pascolo
27	Vezza d'Oglio	1236	Prato – pascolo
28	Vezza d'Oglio	1312	Prato – pascolo

Tabella 1: Località, quota e uso del suolo dei punti di campionamento

4.1.2. Preparazione dei campioni

Ogni campione di suolo è stato fatto asciugare all'aria aperta per un numero di giorni diverso da campione a campione, in base all'umidità iniziale. Una volta asciutti, tutti i campioni sono stati setacciati, rompendo con le mani gli aggregati più grandi, in modo da separare la frazione di terra fine (diametro inferiore a 2 mm) dallo scheletro.

Dalla frazione di terra fine sono stati ricavati, sempre attraverso setacciatura manuale, aliquote con diametri differenti:

- Campioni dal diametro < 0,5 mm per alcune analisi chimiche (carbonio organico e azoto)
- Campioni dal diametro < 0,425 mm per la determinazione dei limiti di Atterberg
- Campioni dal diametro compreso tra 1 e 2 mm per la setacciatura ad umido (WAS)

4.2. Analisi chimico-fisiche

Tutte le analisi sono state svolte nei laboratori di meccanica agraria (DISAFA), presso l'Università di Torino, secondo i metodi della Società della Scienza del Suolo (SISS, 1985).

4.2.1. Analisi di routine

4.2.1.a. *pH*

Per la misurazione del pH abbiamo usato i campioni di suolo setacciati a 2 mm, questi sono stati posti in piccoli contenitori di plastica con l'aggiunta di acqua distillata (con un rapporto terreno/acqua di 1:2,5 in peso) e infine sono stati posti in un'apposita macchina atta ad agitare i campioni per 15 minuti.

Il pH è stato determinato con il metodo potenziometrico, immergendo l'elettrodo del pHmetro nel provino contenente la dispersione di terreno e acqua.

4.2.1.b. *Carbonio organico e azoto*

Per questa analisi è stato necessario preparare, aiutandosi con delle pinzette, due sfere con capsula in alluminio (nell'ordine dei mm) per ogni campione, all'interno delle quali è stato inserito il provino di suolo che è stato poi analizzato.

L'analisi del carbonio organico e dell'azoto è stata effettuata con il metodo strumentale, il quale prevede l'ossidazione del carbonio in CO₂ attraverso analizzatore elementare. La reazione di ossidazione viene provocata grazie al raggiungimento, in tempi brevissimi, della temperatura di 1000 °C, in seguito alla quale il campione viene totalmente incenerito.

Per determinare l'azoto si sottopongono gli ossidi prodotti ad una reazione di riduzione e, infine, tramite analisi gas-cromatografica se ne evidenzia la presenza.

4.2.1.c. *Carbonati totali*

L'analisi del calcare totale ha visto l'utilizzo del calcimetro di Dietrich-Fruehling, in cui è contenuta acqua satura di CO₂. Per svolgere questa analisi sono stati prelevati 1 g di suolo per ogni campione (setacciati a 0,5 mm), successivamente in ogni campione è stato aggiunto acido cloridrico (con un rapporto HCl/soilo di 1:1 v/v), il quale dopo essere venuto a contatto con il suolo promuove lo sviluppo di CO₂. Quando i menischi si sono stabilizzati (dopo pochi minuti) è stato possibile leggere il volume di CO₂ raggiunto. Il metodo si basa sulla capacità del CaCO₃ di sviluppare anidride carbonica (ad ogni mole di CaCO₃ corrisponde una mole di CO₂), grazie alla quale si è in grado di determinare la percentuale di carbonati presenti nel campione.

4.2.2. Wet Aggregate Stability (WAS)

Durante eventi meteorici intensi, la stabilità della struttura è sottoposta a un notevole stress: nel caso in cui il suolo venga saturato, nel volgere di pochi minuti, potrebbe verificarsi la distruzione di una consistente parte degli aggregati.

Essere a conoscenza del grado di vulnerabilità all'acqua della struttura è la base da cui partire per una buona gestione del suolo. I dati relativi alla quantità di aggregati che mantengono inalterate le proprie caratteristiche dimensionali e qualitative, in caso di eventi di pioggia intensi, si ottengono attraverso precisi metodi di setacciatura in acqua, per tempi diversi e prestabiliti.

Al fine d'ottenere un indice della struttura, attraverso la misurazione della stabilità in condizioni di pedoturbazioni esogene usiamo il metodo del WAS index (Wet Aggregate Stability), secondo il modello di Yoder (1936), il quale a seguito di alcune rivisitazioni da parte di altri scienziati, fu valutato in funzione del tempo di abrasione secondo il modello di Zanini *et al.* (1998).

Quest'ultimo modello si basa su una funzione che descrive una curva di tipo esponenziale, la quale tiene conto sia della perdita iniziale di aggregati per “esplosione”, sia della perdita per abrasione (Bernardi, 2006).

La funzione in questione è la seguente:

$$\gamma(\chi) = a + b \left(1 - e^{-\frac{\chi}{c}} \right)$$

Dove γ = aggregati % persi; χ = tempo di agitazione in acqua; a = stima % della perdita iniziale di aggregati per esplosione; b = stima della perdita massima % di aggregati per abrasione; a+b = stima della perdita massima % potenziale di aggregati; c = parametro del limite temporale.

Per ottenere questi parametri, i dati del WAS sono stati elaborati con l'applicazione dell'algoritmo di Marquart.

Esiste, infine, un valore di c oltre il quale la funzione perde la sua validità temporale, ovvero superato questo valore il fenomeno di disaggregazione non ha più rilevanza.

Il tempo limite risulta essere $\chi_{\max} = 3c$ da cui $c = \frac{1}{3} \chi_{\max}$

Per ottenere la velocità di disaggregazione usiamo la derivata prima $\gamma'(\chi)$:

$$\gamma'(\chi) = \left(\frac{b}{c} \right) e^{-\frac{\chi}{c}}$$

4.2.2.a. Procedimento di laboratorio

La setacciatura ad umido ha previsto l'utilizzo di suolo nel range dimensionale 1-2 mm.

Sono stati pesati 10 g di suolo, poi inseriti in appositi cestini (precedentemente tarati) con pareti a griglia metallica, i quali poi sono stati fissati sui perni rotanti della macchina elettrica per l'analisi WAS (Figura 9).

I cestini così posizionati, si sono trovati immersi, per circa 1/3 della loro lunghezza, in acqua distillata. Per ogni campione sono state fatte 6 prove con intervalli di setacciatura a umido diversi (a 5, 10, 15, 20, 40, 60 minuti).

Infine, tutti i cestini sono stati posti in stufa a 105 °C per almeno una notte in modo da poter determinare la percentuale di aggregati persi in base alla differenza tra il peso secco iniziale e il peso secco finale.

La parte finale dell'analisi ha previsto il calcolo della sabbia grossa reale %, indispensabile al calcolo degli aggregati totali persi.

Questa è stata ottenuta ponendo i campioni di suolo a bagnomaria all'interno di appositi recipienti in vetro insieme ad acqua e H₂O₂ (30 %) in modo da ossidare la sostanza organica presente.



Figura 9: Strumento usato per la misura della WAS

4.2.3. Limiti di Atterberg

La consistenza descrive un'altra importante proprietà fisica del suolo, ovvero l'intensità e la natura delle forze coesive esistenti tra particelle elementari ed aggregati, fondamentali nei processi formativi e stabilizzatori della struttura. Quest'ultima proprietà fisica del suolo incide largamente sul grado di vulnerabilità della struttura, soprattutto quando andiamo in contro a eventi di deformazione meccanica o per liquefazione. In questi casi abbiamo bisogno di determinare un'altra proprietà fisica: la plasticità. Questa è data dalla capacità di un determinato materiale di cambiare forma quando sottoposto all'azione di forze esterne mantenendo la nuova forma anche in seguito alla cessazione di questa forza deformatrice. La plasticità dipende dalla tessitura del suolo: l'argilla, secondo ricerche sperimentali, ha comportamento elasto-plastico (Calabresi, 1968). A questo proposito sappiamo che esistono argille ad alta plasticità ed argille a bassa plasticità, perciò la consistenza dipende dalla quantità ma soprattutto dalla qualità delle argille presenti.

La conoscenza dello stato idrico del suolo e della sua plasticità sono alla base delle analisi che portano alla determinazione della consistenza, ovvero alla delineazione dei Limiti di Atterberg. A seconda del contenuto in acqua, un suolo può presentarsi allo stato solido, semisolido, plastico e liquido. Grazie alla diversa attitudine dei materiali costituenti il suolo, a passare da uno stato all'altro, possiamo fissare dei valori limite utili per l'identificazione e il confronto dei diversi suoli.

Usiamo, a tale scopo, i Limiti di Atterberg, così definiti:

- Limite di liquidità (LL): rappresenta il contenuto d'acqua (espresso come % in peso) in corrispondenza del quale non esiste più alcuna coesione tra le particelle.
- Limite di plasticità (LP): rappresenta il contenuto d'acqua (espresso come % in peso) in corrispondenza del quale il suolo passa dallo stato plastico a quello friabile.
- Limite di ritiro (SL): rappresenta il contenuto d'acqua (espresso come % in peso) in corrispondenza del quale il suolo passa dallo stato semisolido a quello solido; in altri termini rappresenta il contenuto d'acqua necessario a riempire i vuoti del campione in esame.

In particolare, possiamo individuare l'indice di plasticità (IP), definito dalla differenza tra il limite di liquidità e quello di plasticità.

$$IP=LL-LP$$

Più è ampio tale intervallo di contenuto idrico, più il suolo mantiene a lungo un comportamento plastico (Tabella 2).

Il metodo più usato per la definizione dei Limiti di Atterberg è quello del conopenetrometro dinamico, ideato da Sherwood e Ryley nel 1970 e in seguito confermato nel 1990 dalla comunità scientifica inglese per la facilità di utilizzo unitamente ad una buona riproducibilità tra operatori. Questo tipo di test, dipende unicamente dalla resistenza al taglio d'attrito del suolo, la quale può essere a sua volta influenzata dalla mineralogia del suolo e dal contenuto di sostanza organica. Perciò i limiti di Atterberg sono influenzati in primis dalla mineralogia e secondo quanto detto all'inizio, possiamo affermare che il limite di liquidità è influenzato anche dalla quantità di argilla totale presente all'interno del suolo (Fukuda *et al.*, 2001).

Secondo uno studio condotto da Blanquero-Canqui *et al.* (2006) il tipo di uso del suolo influenza in maniera significativa i valori dei limiti di Atterberg, soprattutto nei primi 20 cm di suolo, e ciò è legato alla quantità di carbonio organico presente. Possiamo allora affermare che il metodo qui descritto è un utile strumento per ottenere degli indici sulla qualità fisica del suolo.

IP	Suolo
0 - 5	Non plastico
5 - 15	Poco plastico
15 - 40	Plastico
> 40	Molto plastico

Tabella 2: Intervalli di valori dell'indice plastico

4.2.3.a. Procedimento di laboratorio

Per determinare i limiti di Atterberg, la terra fine è stata setacciata con maglia 0,425 mm in modo da tenere, per ciascun campione, circa 180 g della terra passante attraverso il setaccio.

Le prove riguardanti il limite di liquidità sono state eseguite con il conopenetrometro dinamico semiautomatico, sempre in accordo con la normativa inglese BS 1377.

Il conopenetrometro in questione possiede una punta a forma conica, con un angolo di apertura di 30° e l'insieme punta-asta di guida ha una massa complessiva di 80 g, il che gli permette di lavorare grazie alla propria forza peso.

Inizialmente si mettono, su un piatto di vetro, circa 120 g del campione preparato in precedenza, che viene progressivamente inumidito con acqua distillata in modo da ottenere, mescolando con una spatola, un composto omogeneo. La prova viene effettuata in suoli a tessitura medio-grossolana, dopo circa 1 ora di attesa, quando cioè si ottiene un inumidimento uniforme del provino. Passato questo lasso di tempo, un piccolo contenitore cilindrico in metallo (diametro circa 55 mm e altezza circa 35 mm) viene riempito completamente di campione umido, avendo cura di non lasciare aria all'interno e di creare una superficie liscia. Si procede posizionando il cilindro, così riempito, esattamente sotto la punta del conopenetrometro, così da permetterle, una volta premuto il tasto di rilascio a impulso elettronico, di cadere al centro del provino (Figura 11). Dopo 5 secondi d'attesa, si procede alla lettura della posizione di arresto del cono (mm), facendo poi la differenza con la posizione annotata all'inizio della prova.

Per ogni campione sono state portate avanti 4 prove identiche a questa appena descritta, aspettando tra una prova e la successiva che il suolo perdesse ulteriore umidità per evaporazione all'aria.

Il range di validità della prova è stato posto tra 31 mm e 11 mm, con una differenza tra una prova e l'altra di almeno 5 mm, oltre questi valori le prove sono state scartate e ripetute.

Una volta ritenuta valida la prova, dallo stesso contenitore cilindrico appena utilizzato, è stata prelevata una piccola quantità di campione umido, subito posto in un nuovo recipiente opportunamente tarato (T) e immediatamente pesato, ottenendo così il peso lordo umido del campione (Plu). Svolte queste operazioni su tutti i campioni, questi sono stati posti in stufa a 105 °C per una notte.

Al termine dell'essiccazione in stufa, i campioni sono stati nuovamente pesati, ottenendo questa volta il peso lordo secco del campione (Pls).

Con lo scopo di determinare la percentuale d'umidità di ciascun provino, è stata applicata la seguente formula:

$$W \% = ((Plu-Pls)/(Pls-T)) * 100$$

La percentuale di umidità alla quale corrisponde il limite liquido è individuabile attraverso la penetrazione del cono: nel momento in cui questo affonda nel campione di suolo ad una profondità di 20 mm siamo in corrispondenza del limite liquido (Figura 10).

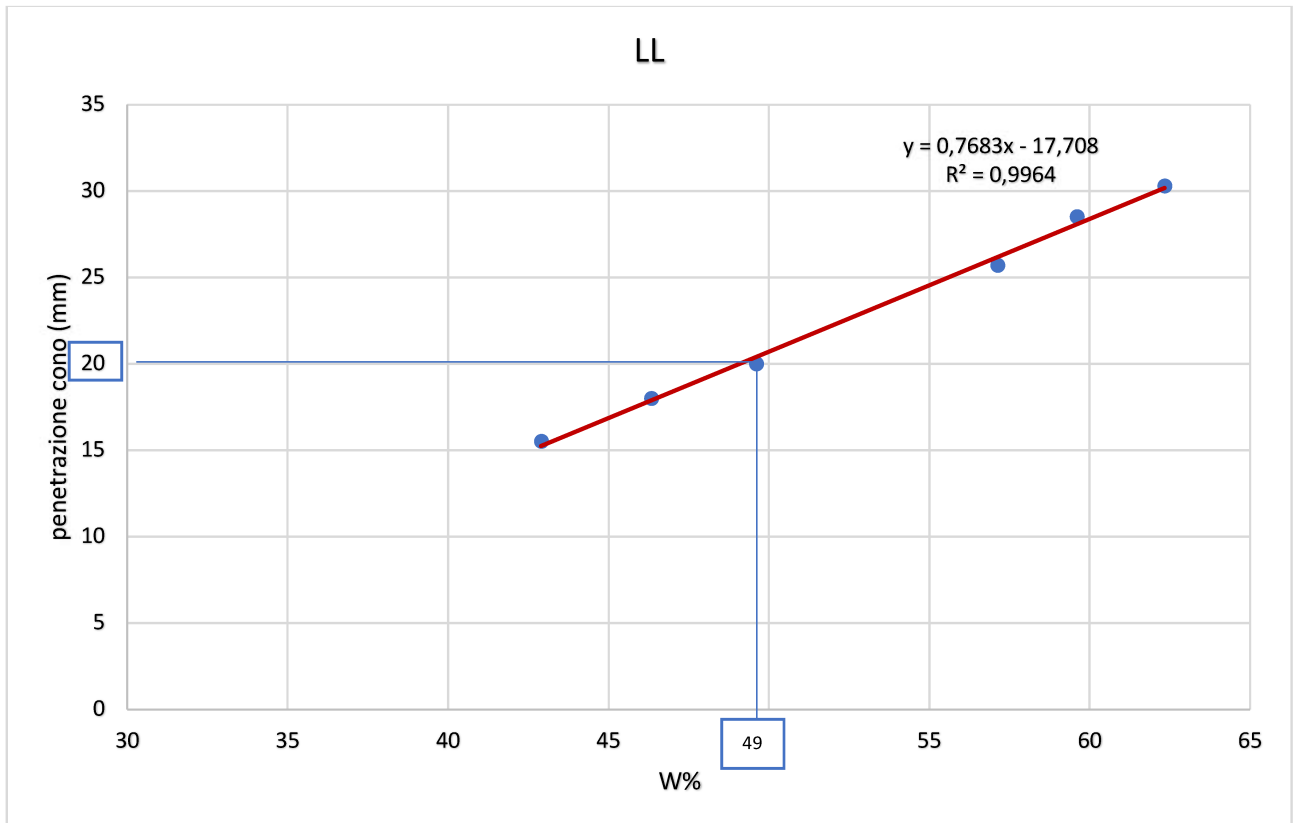


Figura 10: Grafico dell'individuazione del limite liquido

La seconda parte dell'analisi dei limiti di Atterberg vede la determinazione del limite plastico. A tal fine si è presa una piccola quantità di terra dall'ultimo provino, ovvero quello della quarta prova (ricordiamo che per ogni campione sono state svolte quattro prove, ciascuna con suolo a diversa percentuale di umidità) e si è cercato di plasmare con le mani un cilindretto di circa 5 cm di lunghezza e 3 mm di diametro.

Il test è stato portato avanti continuando a far ruotare il cilindretto di terra tra le mani e la superficie di lavoro in vetro, fino al raggiungimento di un diametro il più possibile inferiore a quello iniziale.

Se durante queste prime operazioni il provino non presenta fratture e quindi non si rompe, allora si rimodella il materiale per poi riformare un bastoncino di diametro sempre più piccolo.

Il campione sottoposto a questa lavorazione, perde umidità a tal punto da mostrare netti punti di rottura sulla sua superficie, indicatori del fatto che il limite plastico è stato raggiunto.

Nel nostro caso di studio, l'umidità presente nei provini finali era tale che il cilindretto di terra ha mostrato fratture significative già nel corso della prima prova di modellamento, di conseguenza non è stato possibile determinare il limite plastico per alcun campione.



Figura 11: Penetrazione del cono sulla superficie del campione di suolo umido

5. Metodo di analisi statistica

Per avere un'analisi statistica della varianza (ANOVA) è stato utilizzato il software SPSS.

La varianza è stata considerata significativa con $p < 0.05$ e altamente significativa con $p < 0.01$.

6. RISULTATI E DISCUSSIONE

6.1. Caratteristiche chimiche dei campioni

Campione	pH in acqua	C organico	N totale	C/N	Carbonati
		g/kg	g/kg		g/kg
1	5,5	24,4	1,90	13	0
2	4,9	27,7	1,85	15	0
3	5,8	27,6	1,45	19	0
4	5,6	24,6	1,40	18	0
5	5,5	33,7	2,05	16	0
6	5,3	32,05	1,75	18	0
7	7,0	31,4	1,75	18	0
8	5,9	39,8	3,60	11	0
9	5,8	48,6	4,30	11	0
10	6,5	41,8	3,35	12	0
11	5,3	51,7	4,25	12	0
12	5,0	65,05	4,50	14	0
13	5,0	15,1	0,80	19	0
14	4,6	56,2	3,45	16	0
15	6,1	20,4	1,45	14	0
16	6,3	268,1	21,9	12	0
17	6,0	38,8	3,25	12	0
18	5,3	30,8	3,00	10	0
19	5,7	21,2	1,90	11	0
20	6,2	45,3	3,35	14	0
21	6,6	34,2	2,55	13	0
22	5,8	74,4	7,05	11	0
23	5,9	46,7	3,65	13	0
24	5,0	52,8	4,80	11	0
25	5,1	49,05	5,15	10	0
26	5,9	37,1	3,65	10	0
27	5,6	52,6	4,85	11	0
28	6,3	45,3	4,00	11	0
MEDIA	5,7	47,7	3,80	13	0

Tabella 3: Dati chimici (pH; carbonio organico; azoto totale; rapporto C/N; carbonati totali)

In primis notiamo che nella Tabella 3 i dati relativi al carbonato di calcio sono risultati nulli; questo è avvenuto in quanto nel corso dell'esperimento con il calcimetro di Dietrich-Fruehling non è stata prodotta alcuna molecola di CO₂, il che corrisponde ad una totale assenza di CaCO₃, in tutti i campioni. Tale dato è in accordo con il pH, il cui valore medio risulta essere 5,7 ovvero nettamente acido e perciò quasi del tutto privo di composti basici (come il CaCO₃ per l'appunto). Il pH oscilla da un valore minimo di 4,6 a un valore massimo di 7, quindi da una condizione di peracidità ad una di neutralità. Ciò è in accordo con il tipo di roccia madre delle aree di studio, prevalentemente di natura acida.

Essendo a conoscenza del fatto che: in media il carbonio rappresenta il 58 % della sostanza organica (Giandon e Bortolami, 2007) e la SO ha gruppi funzionali acidi (le sostanze umiche dell'humus comprendono acidi umici e acidi fulvici e questi acidi fulvici possiedono più gruppi funzionali di natura acida), troviamo coerenti i dati corrispondenti al carbonio organico, i quali risultano generalmente medio-elevati (in media 47,7 g/kg) pur essendoci una significativa variabilità tra i due gruppi di campioni ($p < 0.05$).

Il valore massimo di C organico è stato trovato nel campione 16, in cui ne abbiamo 268,1 g/kg a testimoniare la presenza di una torbiera, la quale infatti generalmente è caratterizzata dalla presenza di almeno il 12-18 % in peso di carbonio (ARPA Piemonte, 2012).

Questo campione di torba, il quale rappresenta un campione a sé stante data la sua particolarità, è stato prelevato nella parte più bassa di una pista da sci sul Passo del Tonale, in una zona in cui l'accumulo di acqua è favorito dalla poca pendenza. In questo caso comunque, la presenza di azoto risulta equilibrare, almeno in parte, il rapporto C/N. Nel campione 13 abbiamo 15,1 g/kg di carbonio organico, il quale nel nostro caso rappresenta il valore più basso trovato.

Quantità elevate di carbonio organico in tutti i campioni fanno supporre una situazione di lenta umificazione, in accordo con il clima rigido montano. Considerando la presenza di alcuni suoli giovani, riteniamo il valore medio di carbonio (47,7 g/kg) abbastanza elevato.

Per quanto riguarda il rapporto C/N notiamo che si passa da valori minimi come 10, ovvero da situazioni in cui la mineralizzazione risulta relativamente veloce, a valori massimi di 18-19 in cui si tende nettamente a una situazione di lenta mineralizzazione.

A questo proposito in letteratura troviamo che valori del rapporto C/N maggiori di 20 coincidono con situazioni in cui la mineralizzazione della sostanza organica risulta essere lenta (Landi *et al.*, 2000).

I valori più elevati del rapporto C/N sono la conseguenza di una scarsa presenza di azoto, la quale appunto non è in grado di equilibrare tale rapporto, soprattutto per quanto riguarda i campioni prelevati sulle piste da sci. Infatti, da quanto emerso dall'analisi ANOVA, esiste una differenza significativa ($p < 0.05$) di C/N tra piste da sci (valori elevati) e prato-pascolo (Figura 12). Altri parametri chimici diversi tra pista e vegetazione naturale sono mostrati sempre in Figura 12, in cui notiamo che sulle piste abbiamo: N totale più basso, C organico più basso e pH più basso.

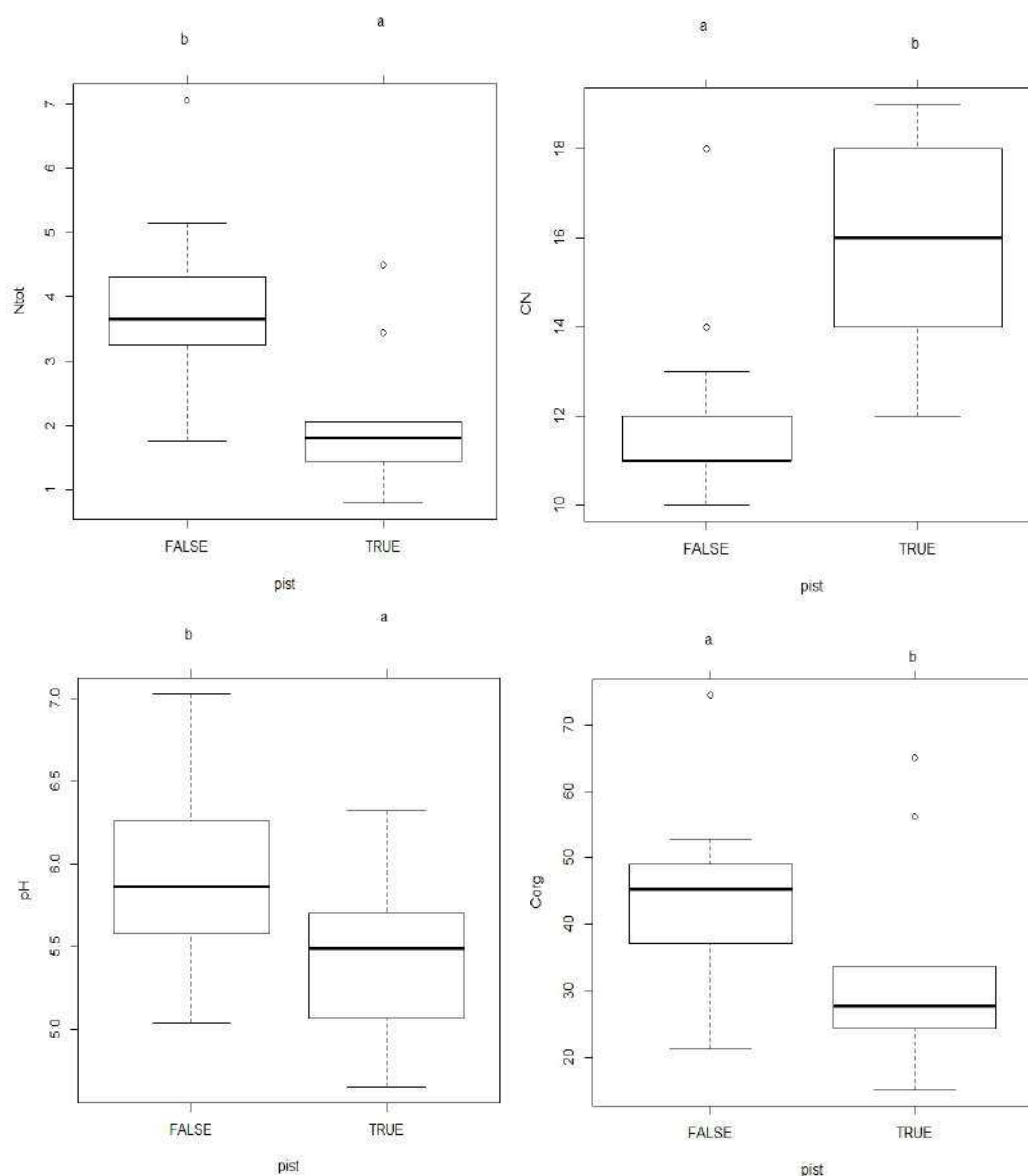


Figura 12: Differenze significative ($p < 0.05$) in N totale, C/N, pH e C organico tra piste da sci (a destra nei boxplot) e prato pascolo (a sinistra nei boxplot)

6.2. Caratteristiche fisiche dei campioni

6.2.1. WAS

Campione	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>a+b</i>	<i>c</i>	<i>sabbia grossa reale</i>
	%	%	%	<i>minuti</i>	%
1	0,30	67,2	67,5	3,16	33,8
2	0,63	68,9	69,5	3,49	36,9
3	43,6	52,6	96,2	0,00	31,1
4	0,12	61,5	61,6	2,74	29,2
5	0,63	60,0	54,6	4,52	31,5
6	17,07	43,5	60,6	0,00	29,6
7	41,5	51,7	93,2	0,00	10,5
8	0,00	59,0	59,0	4,40	21,4
9	25,5	21,2	46,7	0,00	12,6
10	7,37	67,8	75,2	0,00	24,4
11	2,51	72,7	75,2	0,00	30,8
12	0,00	55,9	55,9	5,28	16,5
13	0,10	64,9	65,0	2,37	31,0
14	26,8	29,2	55,9	0,00	13,9
15	0,10	62,7	62,8	2,31	32,5
16	0,07	15,3	15,4	3,02	9,00
17	1,55	75,9	77,5	5,53	21,7
18	0,28	85,4	85,7	3,19	39,4
19	0,63	66,9	67,6	0,00	22,8
20	0,07	55,7	55,8	2,72	15,6
21	9,86	58,2	68,1	0,00	19,0
22	0,12	48,4	48,5	2,67	15,2
23	0,26	64,4	64,7	2,78	18,0
24	10,5	29,7	40,2	0,00	16,9
25	0,21	54,6	54,8	3,25	22,4
26	0,02	83,5	83,6	1,78	28,2
27	0,06	73,0	73,02	2,82	26,5
28	0,13	64,2	64,4	2,58	18,0
Media	6,79	57,4	64,2	2,09	23,5

Tabella 4: valori dei parametri a, b, a+b, c; valori della sabbia grossa reale

Dalle analisi fisiche con metodo WAS sono stati ottenuti tre parametri utili ai fini interpretativi (Tabella 4).

I valori corrispondenti al parametro a esprimono una stima percentuale della perdita iniziale di aggregati avvenuta per esplosione, in seguito a rapida saturazione idrica del suolo.

La media dei valori stimati per il parametro a corrisponde a 6,79 % e notiamo subito che tra i campioni non vi sono differenze significative (ANOVA). Notiamo però, che il parametro a oscilla da un valore minimo dello 0,00 % a un massimo del 43,6 %: questo potrebbe essere giustificato dalla pratica (o assenza) di lavorazioni invasive dei terreni in questione, che portano alla distruzione della struttura.

Essendo i valori di a in media nettamente inferiori alla media ottenuta per il parametro b (media pari a 57,4 %), si deduce che il fenomeno dell'esplosione a saturazione è molto meno rilevante rispetto alle perdite per abrasione, cioè quelle che si verificano durante la setacciatura.

Il valore massimo per il parametro b risulta 85,4 % il che indica un notevole aumento della perdita di aggregati, dovuta in questo caso all'abrasione. Da quanto appena detto è confermato che le forze meccaniche abrasive sono decisamente più incisive a livello di aggregati persi, rispetto alla perdita % per esplosione.

In linea generale la perdita massima potenziale di aggregati ($a+b$ espresso in %) risulta essere omogenea tra i diversi campioni e avendo una media di 64,2 % di aggregati persi possiamo affermare che il parametro $a+b$ denota una situazione di discreta stabilità della struttura.

Il parametro del limite temporale c è indicativo dei minuti oltre i quali la disaggregazione risulta irrilevante. Questo parametro è perciò un buon indicatore della velocità di distruzione dei così detti "ped", ovvero attraverso questo parametro capiamo che la maggior parte degli aggregati potenzialmente soggetti a rottura vanno incontro a questo fenomeno in media dopo solo 2,09 minuti di immersione in acqua, valore accettabile per suoli alpini.

Le percentuali di sabbia grossa reale presente nei campioni esaminati sono state utili al solo fine di ottenere i valori di aggregati totali persi.

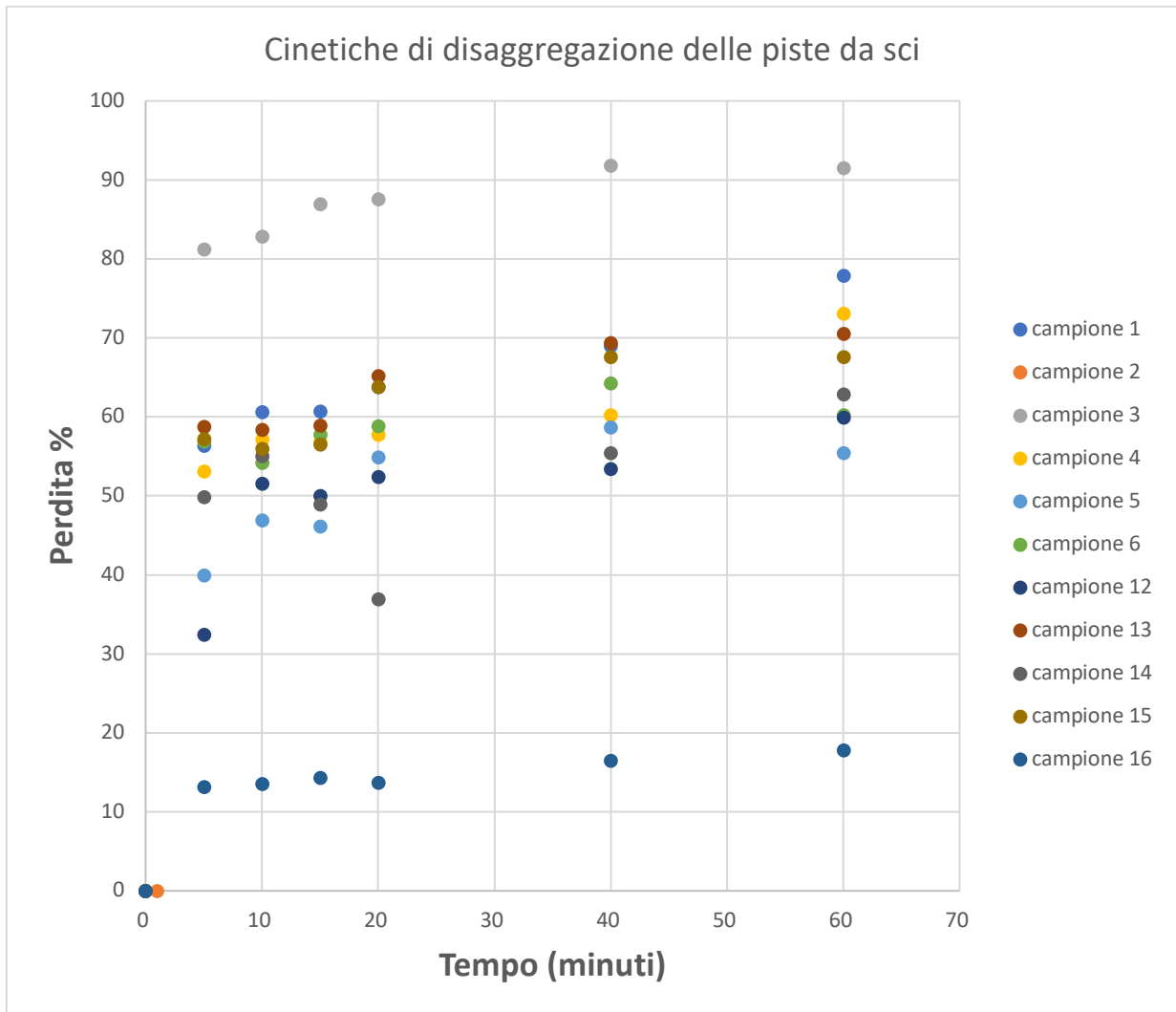


Figura 13: Grafico delle perdite di aggregati in base al tempo di agitazione in acqua relative ai campioni delle piste da sci

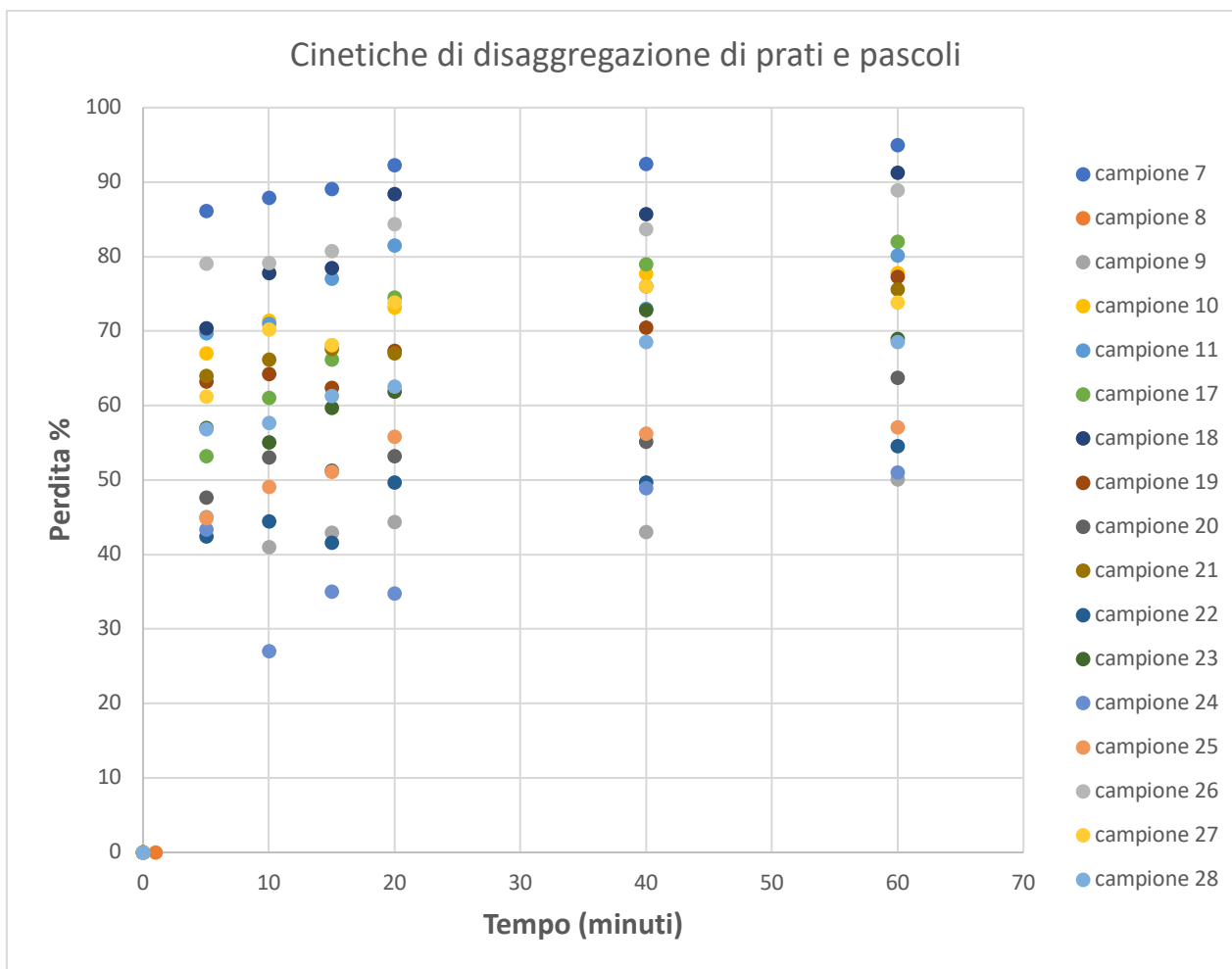


Figura 14: Grafico delle perdite di aggregati in base al tempo di agitazione in acqua relative ai campioni dei prati-pascoli

Dal primo grafico (Figura 13) notiamo subito i punti individuati dal campione 16, i quali hanno un andamento significativamente più basso in termini di perdita % di aggregati in quanto corrisponde alla torbiera del Passo del Tonale, perciò l'andamento risulta del tutto coerente.

La perdita maggiore, sempre in percentuale, appare nel campione 7, rappresentativo di una zona classificata come prato-pascolo (Figura 14).

Da notare, inoltre, è la tendenza generale di tutti i punti, alcuni in maggior misura altri meno, di avere una rapida perdita iniziale, dovuta ad una repentina disaggregazione, per poi distribuire la perdita maggiore di aggregati in un intervallo di tempo più dilatato.

In generale possiamo dire che, pur non essendoci una significativa differenza in termini di perdita di aggregati tra i campioni (ANOVA), ciascuno di essi descrive un andamento singolare e caratteristico.

Dal grafico sottostante (Figura 15) possiamo visualizzare, con maggiore chiarezza, i punti dei campioni più significativi di due piste da sci messe a confronto con quelle di due campioni “prato-pascolo”. Ad occhio viene confermato quanto descritto dall’analisi della varianza (ANOVA), ovvero tra i campioni rappresentativi delle piste da sci e quelli dell’ambiente prato-pascolivo non vi sono differenze importanti.

Al contrario possiamo affermare che c’è più varianza all’interno dei due gruppi esaminati, in quanto sia all’interno dei prati-pascoli che delle piste da sci possiamo andare incontro a situazioni diverse, probabilmente in ragione delle maggiori o minori altitudini in cui sono stati prelevati tali campioni oppure della presenza o assenza di lavorazioni del terreno.

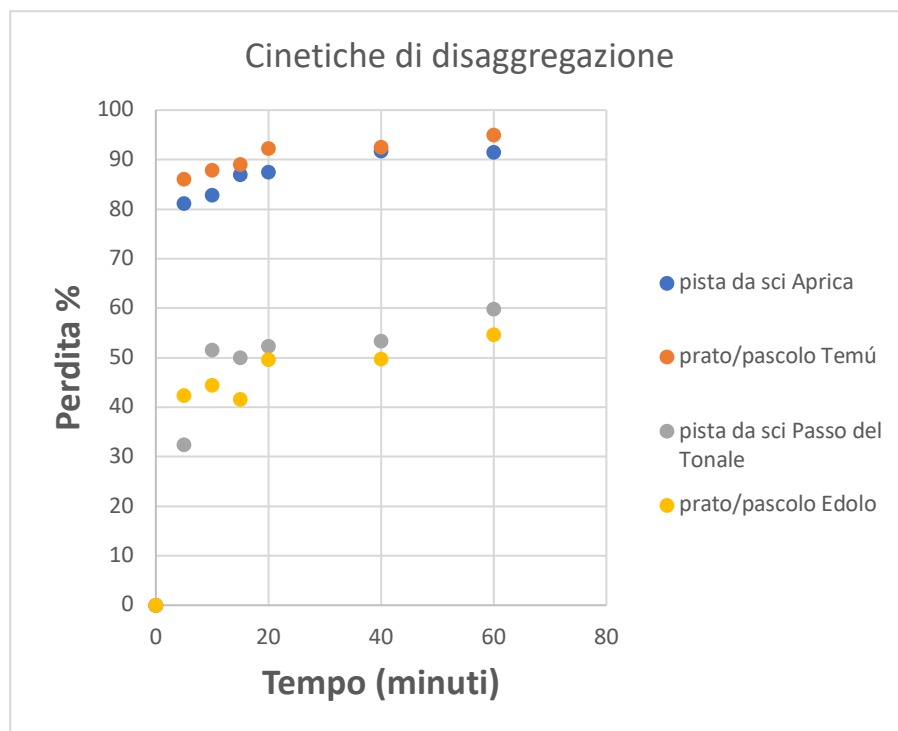


Figura 15: Confronto tra cinetiche di disaggregazione di due piste da sci con quelle di due prati-pascoli

6.2.2. Limiti di Atterberg

campione	LL	LP	IP
	%	%	(%)
1	49	nd	nd
2	56	nd	nd
3	48	nd	nd
4	45	nd	nd
5	55	nd	nd
6	55	nd	nd
7	44	nd	nd
8	59	nd	nd
9	63	nd	nd
10	52	nd	nd
11	60	nd	nd
12	nd	nd	nd
13	35	nd	nd
14	82	nd	nd
15	36	nd	nd
16	nd	nd	nd
17	54	nd	nd
18	51	nd	nd
19	41	nd	nd
20	60	nd	nd
21	51	nd	nd
22	66	nd	nd
23	50	nd	nd
24	61	nd	nd
25	67	nd	nd
26	49	nd	nd
27	56	nd	nd
28	51	nd	nd
MEDIA	50	nd	nd

Tabella 5: Valori del limite liquido, del limite plastico e dell'indice plastico

Le prove effettuate con il conopenetrometro hanno permesso, per ogni campione, l'individuazione di un limite liquido (Tabella 5), vale a dire la percentuale di umidità oltre la quale il suolo risulta privo di consistenza, ovvero non vi è più coesione tra le particelle elementari di suolo.

Il limite liquido varia da un minimo di 35 % ad un massimo di 82 % e in media risulta pari al 50 %.

Dall'elaborazione ANOVA è emerso che non vi sono differenze significative tra i limiti di liquidità delle piste da sci e quelli dei prati-pascoli (Figura 17), perciò considerando quanto appena detto, possiamo valutare la media ottenuta (50 %) come rappresentatrice dei due gruppi da noi messi a confronto. Notiamo però una certa variabilità numerica proprio all'interno dei campioni delle piste da sci del Passo del Tonale: ci si muove da un valore minimo di umidità del 35 % ad uno massimo dell'82 % (che sono proprio rispettivamente il valore minimo e massimo della totalità dei campioni). La spiegazione a tali risultati si può trovare nella correlazione tra LL e C organico ($r = 0.525$, $p < 0.01$). All'aumentare del contenuto in carbonio organico, aumenta il valore del limite liquido, il che risulta del tutto coerente ricordando che il carbonio organico costituisce gran parte della sostanza organica, importante fattore aggregante. Il limite plastico (LP) non è stato individuabile dalle prove effettuate in laboratorio, da ciò possiamo ipotizzare che i suoli in questione siano classificabili come "non plastici".

Secondo gli studi di D.J. Campbell *et al.* (2000) condotti sulla teoria della "A-line" di Casagrande del 1947, valori del limite di liquidità > 50 % sono da considerarsi alti in termini di comprimibilità, mentre vengono detti a bassa comprimibilità suoli con LL < 35 % (Figura 16). Sempre secondo questi studi, si evince che fanno eccezione i suoli organici, e in particolare le torbe, i quali sono caratterizzati da alti valori del limite liquido associati a bassi valori di plasticità, proprio come accade per i campioni esaminati.

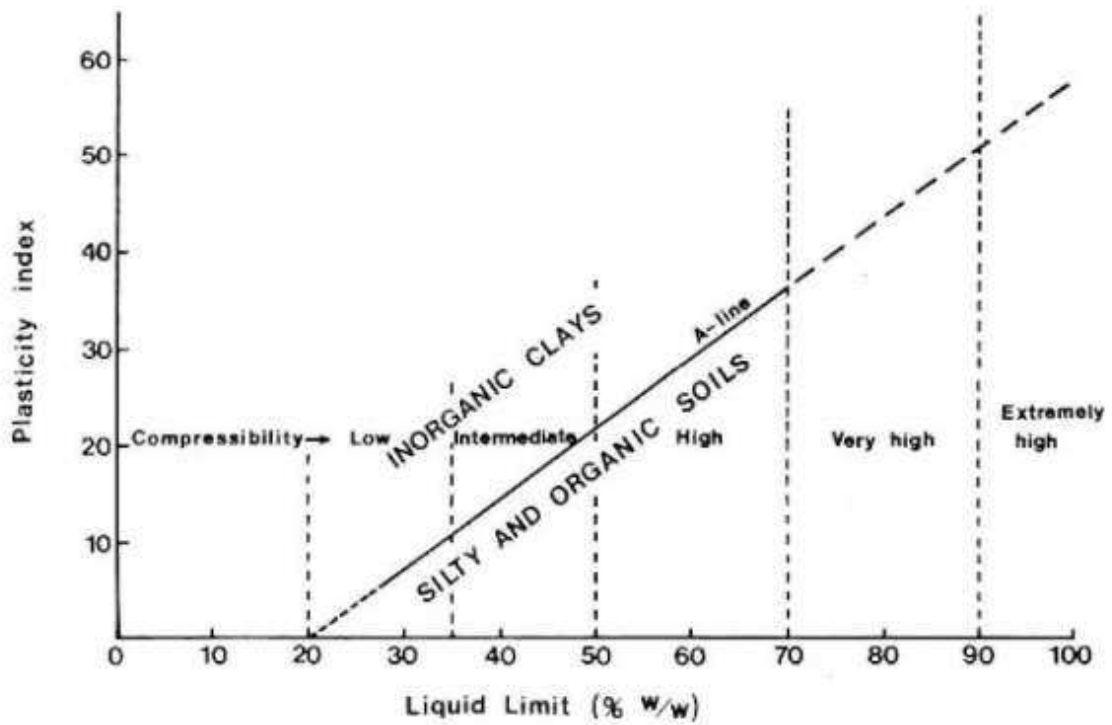


Figura 16: Carta della plasticità usata nel British Soil Classification System (Campbell, 2000)

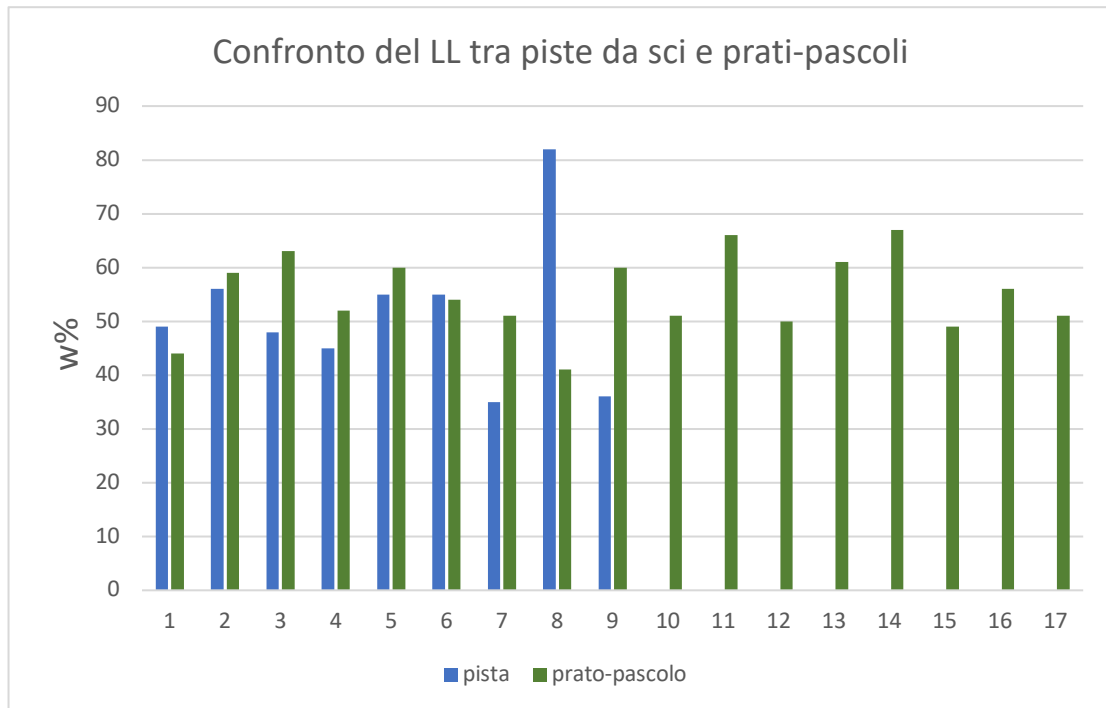


Figura 17: Grafico del confronto del limite liquido di piste da sci con quello di prati-pascoli

7. Conclusioni

Dal lavoro sperimentale condotto è stato possibile determinare le qualità chimico-fisiche di piste da sci e prati-pascoli, in modo da poter confrontare la vulnerabilità all'erosione di questi ambienti.

I campioni rappresentanti le piste da sci hanno dimostrato una significativa differenza nelle proprietà chimiche rispetto ai campioni di prati e pascoli. Sulle piste vi è uno squilibrio del rapporto C/N maggiore rispetto alle aree esterne ai tracciati. Questo risultato si può spiegare visto il metodo di gestione invernale, e fa pensare ad un insufficiente apporto di azoto o a modificazioni delle condizioni fisiche (e.g., temperatura invernale del suolo) causate dalla gestione sciistica, pur essendovi presente il pascolamento estivo. Tutti i suoli hanno mostrato una buona dotazione di C organico, benché le piste mostrassero contenuti minori. Questo aspetto si riflette in un'aggregazione relativamente buona, rispetto ad altre aree delle Alpi, come confermato dai risultati delle analisi fisiche. I risultati della setacciatura ad umido sono comparabili tra i due gruppi confrontati, come anche le analisi della consistenza (Limiti di Atterberg).

Possiamo quindi concludere che l'uso e la gestione del suolo studiato non ne influenzano tanto le proprietà fisiche rispetto a quanto ci si aspettava, quanto quelle chimiche, come invece si poteva prevedere. Nello specifico, sono stati ottenuti, anche per le piste da sci, dati che dimostrano in alcuni punti di prelievo una particolare vulnerabilità iniziale della struttura, la quale potrebbe essere stata compromessa in seguito ai lavori estivi di livellamento del terreno e preparazione dei tracciati, oppure durante la battitura invernale. Supponiamo che la vulnerabilità iniziale della struttura non influenzi la perdita totale di aggregati, che risulta omogenea tra i campioni. Si è visto, inoltre, che nelle piste da sci la perdita di coesione tra le particelle di suolo in seguito a liquefazione, è mediamente bassa e paragonabile a quella di prati e pascoli, il che dimostra un buon grado di coesione degli aggregati di questi suoli rispetto alle condizioni indisturbate. Possiamo allora supporre che le piste da sci esaminate siano, seppur disturbate dal punto di vista delle proprietà chimiche, dotate di una struttura soddisfacente. L'erosione in seguito a fenomeni meteorici intensi resta un fattore di rischio, anche considerate le elevate pendenze, ma da quanto abbiamo visto, la vulnerabilità delle piste da sci non è significativamente maggiore a quella di un prato o un pascolo. Il rischio permane in quanto pur

essendo stata accertata la presenza di una buona struttura, le forze abrasive dell'acqua risultano distruttive per la maggior parte degli aggregati, nel volgere di pochi minuti. Confermato il fatto che la gestione delle piste da sci, implicata la neve artificiale e le opere meccaniche di livellamento, provoca un certo tipo di stress nei confronti del suolo, affermiamo che le opere di inerbimento e pascolamento estivo tamponano parzialmente i danni creati durante l'inverno. Ipotizziamo che lo squilibrio chimico, infatti, sia dovuto anche all'inerbimento con sementi alloctone, con poca variabilità o comunque non adeguate a quell'ambiente. L'utilizzo del fiorume, una miscela di sementi autoctone di alto pregio naturalistico spiccatamente adeguata al ripristino ambientale (Ceriani *et al.*, 2011), potrebbe riequilibrare le proprietà chimiche di questi suoli. Il lavoro di ricerca qui iniziato, perciò, ha un suo possibile continuum nell'indagine delle sementi utilizzate nelle aree studiate.

8. BIBLIOGRAFIA

APAT-Dipartimento Difesa del Suolo, 2009. Note illustrative della carta geologica d'Italia alla scala 1:50.000. foglio 042, 14-16.

ARPA Piemonte, Pompilio, L., Rivella, E., Buffa, G., Filippa, G., Freppaz, M., 2012. Torbiere e libellule nelle montagne dell'Ossola. 5-53, (<https://www.arpa.piemonte.it/pubblicazioni-2/pubblicazioni-anno-2012/torbiere.pdf>) visitato Gennaio 2019.

Barthes, B., Roose, E., 2002. Aggregate stability as an indicator of soil susceptibility to runoff and erosion: validation at several levels. *Catena* 47: 133-149.

Berruti, G., 1984. Natura bresciana. *Ann. Mus. Civ. Sc. Nat., Brescia*, 21, 1986: 3-29.

Bernardi, A., 2006, tesi magistrale sul tema "Messa a punto di analisi fisiche del suolo per la valutazione della vulnerabilità strutturale".

Blanco-Canqui, H., Lal, R., Post, W.M., Izaurrealde, R.C, Shipitalo, M.J., 2006. Organic carbon influences on soil particle density and rheological properties. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 70: 1407-1414.

BS: 1377: 1967, British standard methods of test for soil for engineering purposes, BSI, London.

BS: 1377: 1975, British standard methods of test for soil for engineering purposes, BSI, London.

BS: 1377: 1990, British standard methods of test for soil for engineering purposes, Part 2: Classification tests, BSI, London.

CAI-TAM., 2010. Montagna, neve e sviluppo sostenibile: quali prospettive. I quaderni TAM del Club Alpino Italiano, vol. 5, 2-62.

Calabresi, G., 1968. Deformazioni plastiche di una terra argillosa. 159-169.

Campbell, D.J., Smith, A.K., Mullins, C.E., 2000. *Soil and Environmental Analysis: Physical Methods*. Second Edition, 349-367.

Ceriani, R.M., Ferrario, A., Villa, M., 2011. Il fiorume: una risorsa per la biodiversità. *Quaderni della Biodiversità*, 3-14.

Costantini, E.A.C., Dazzi, C., 1999. *World Reference Base for Soil Resources*. 1-109.

- Curtaz, F., Zanini, E., 2013. Guida pratica di pedologia. 11-44.
- D'Amico, M.E., Stanchi, S., Ratto, S., Navillod, E., Filippa, G., Freppaz, M., Zanini, E., 2011. La vulnerabilità dei suoli in ambiente alpino: L'esempio della regione valle d'Aosta. Convegno Nazionale S.I.S.S., 14-15.
- Demolon, A., Henin, S., 1932. Recherches sur la structure des limons et la sythese des aggregates. Soil Res. 3: 1-9.
- DIVAPRA – Chimica Agraria e Pedologia, 2014. Stabilità degli aggregati e conservazione della sostanza organica del suolo di vigneti collinari. Rendicontazione tecnica, 4-19.
- Edwards, A.P., Bremner, J.M., 1976. Microaggregates in soils. J. Soil Sci. 18, 64-73.
- ERSAF, Brenna, S., 2017. I suoli di montagna in regione Lombardia, (https://rep.legambiente.it/sites/default/files/docs/i_suoli_di_montagna_in_lombardia_stefano_brenna.pdf) visitato Gennaio 2019.
- FAO, 2015. Understanding Mountain Soils: A contribution from mountain areas to the International Year of Soils 2015, (<http://www.fao.org/3/a-i4704e.pdf>) visitato Febbraio 2019.
- Fukuda, M., Suwa, S., Uno, T., Zae, P.S., Hwang, J.G., 2001. Dependence of liquid limit on grain size distribution. Proceedings of the Eleventh International Offshore and Polar Engineering Conference, Stavanger, Norway.
- Geoportale Regione Lombardia, (<http://www.geoportale.regione.lombardia.it>) visitato Gennaio 2019.
- Giandon, P., Bortolami, P., 2007. L'interpretazione delle analisi del terreno. ARPAV, 25-36.
- Google Maps (<https://www.google.it/maps/@41.29085,12.71216,6z>) visitato Gennaio 2019.
- Gusmeroli, F., 2012. Prati, pascoli e paesaggio alpino. Fond. Edmund Mach, 9-253.
- Gusmeroli, F., Gli agroecosistemi seminaturali alpini. Dispense universitarie.
- Jenny, H., 1941. Factors of soil formation. Mc Graw-Hill, New York., 281.
- Landi, L., Ranella, G., Nannipieri, P., 2000. Indicatori chimici della qualità del suolo. Memorie di Sc. Fis. e Nat., Vol. XXIV, 239-248.
- Miller, M., Dick, R.P., 1995. Dynamics of soil C and microbial biomass in whole soil and aggregates in two cropping systems. Appl. Soil Ecol., Vol. 2, 253-261.
- Mori, D., Zanini, E., Dalla litosfera alla pedosfera. Dispense universitarie.

Oades, J.M., 1993. The role of biology in the formation, stabilization and degradation of soil structure. In: L. Brussaard and M.J. Kooistra (Editors), Int. Workshop on Methods of Research on Soil Structure/Soil Biota Interrelationships. *Geoderma*, 56: 377–400.

Ray, F.E., 2013. *La biologia delle piante di Raven*. Zanichelli. Settima edizione italiana, 768-772.

Sherwood, P.T., Ryley, M.D., 1970. An investigation of a cone-penetrometer method for the determination of the liquid limit, *Geotech.* 20: 203-208.

S.I.S.S., 1985. *Metodi normalizzati di analisi del suolo*. Edagricole, Bologna.

Tisdall, J.M., 1996. Formation of soil aggregate and accumulation of soil organic matter. In: Carter M.R., Stewart B.A. (Eds), *Structure and Organic Matter Storage in Agricultural Soils*. CRC press, Boca Raton, FL, 57-96.

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

Yoder, R.E., 1936. A direct method of aggregate analysis of soils and a study of the physical nature of erosion losses, *J. Am. Soc. Agron.*, vol. 28.

Zanini E., Bonifacio E., Albertson J. D., Nielsen D. R., 1998. Topsoil aggregate breakdown under water saturated conditions, *Soil Sci.* 163: 288-298.

VALUTAZIONE DEL RISCHIO DI EROSIONE DEI SUOLI DI AMBIENTE MONTANO GESTITI PER LA PRATICA DI SPORT INVERNALI

Elaborato finale di Michelle Lancianese
Matricola 853651

9. RIASSUNTO

L'erosione è la principale causa di perdita di suolo a livello mondiale. Particolarmente soggetti a tali fenomeni sono proprio gli ecosistemi più fragili e instabili, come quelli montani. Sappiamo che particolarmente "stressati" dal punto di vista chimico-fisico sono proprio le aree gestite per la pratica di sport invernali. Possiamo intendere queste aree come prati-pascoli i quali nel periodo invernale, a causa della neve artificiale, della compattazione forzata di quest'ultima e del lungo periodo di copertura nevosa, vanno incontro ad erosione e squilibri chimici (C organico, N, P e presenza di eventuali inquinanti). La neve artificiale, infatti, è più pesante di quella naturale e, in seguito a compattazione, perde totalmente la sua funzione isolante, favorendo, al contrario, il congelamento del cotico erboso, con conseguente ritardo nella ripresa vegetativa e relativi danni alla struttura. Tuttavia, i danni maggiori risultano essere provocati dai lavori estivi di rimodellamento delle piste da sci, i quali vanno a compromettere gravemente la struttura.

Il suolo deriva dalla roccia madre ed è il prodotto di tutte quelle lente trasformazioni che coinvolgono la sostanza minerale ed organica nei così detti processi pedogenetici ovvero di "nascita del suolo". Tra le proprietà che influenzano a livello fisico il suolo, abbiamo la struttura. Questa è il risultato dell'aggregazione, ovvero della formazione di complessi chiamati "ped" (o aggregati) a loro volta derivanti dall'unione di particelle elementari di suolo, in base al loro grado di coesione. Nella formazione di un aggregato vi è l'interazione di: argille, ossidi e idrossidi di Fe, Al e Mn, carbonato di calcio, sostanza organica (tra cui gli essudati degli apparati radicali e i metaboliti dei microrganismi del suolo). La stabilità della struttura può essere compromessa dalle forze meccaniche ed abrasive dell'acqua. Nell'ambito di questa tesi parliamo in particolare di prati-pascoli e piste da sci: ambienti trasformati dall'uomo con scopi alimentari, zootecnici e turistici. L'obbiettivo ultimo del lavoro svolto è quindi quello di confrontare la stabilità strutturale di piste da sci le quali appunto sappiamo essere sottoposte a notevoli stress chimico-fisici con quella di prati-pascoli in teoria meno stressati. A questo proposito ricordiamo che una buona struttura limita l'erosione. Lo studio è stato condotto su campioni di suolo prelevati presso sei comuni allineati sulla faglia situata sull'arco alpino, detta Linea Insubrica: Aprica, Corteno Golgi, Edolo, Vezza d'Oglio, Temù e Passo del Tonale.

La litologia di queste aree è caratterizzata da una prevalenza di paragneiss, micascisti, filladi, graniti, granodioriti e quarziti. I 28 campioni analizzati sono stati tutti prelevati nel topsoil, la porzione di suolo compresa tra i primi 20 cm dalla superficie, ovvero quella maggiormente soggetta ai fenomeni erosivi.

Il pH è stato determinato tramite pHmetro a elettrodo, il rapporto C/N tramite metodo strumentale e i carbonati totali con l'uso del calcimetro di Dietrich-Fruehling. I dati fisici relativi al numero di aggregati che mantengono inalterate le proprie caratteristiche dimensionali e qualitative, in caso di eventi di pioggia distruttivi, si ottengono attraverso precisi metodi di setacciatura in acqua, per tempi diversi e prestabiliti, attraverso il metodo WAS (Wet Aggregate Stability). Questo metodo tiene conto sia della perdita iniziale di aggregati per "esplosione", sia della perdita per abrasione. Elaborando i dati dell'analisi WAS otteniamo i parametri a, b, c relativi a (in ordine): stima % di aggregati persi inizialmente per esplosione, stima % della perdita massima per abrasione e limite temporale della funzione. La seconda analisi fisica svolta ha permesso la conoscenza della consistenza del suolo tramite analisi che hanno portato alla determinazione dei Limiti di Atterberg. Questi vengono ottenuti con l'uso di uno strumento che sfrutta la propria forza-peso, chiamato conopenetrometro dinamico. Grazie alla

diversa attitudine dei materiali costituenti il suolo, a passare da uno stato all'altro, possiamo fissare dei valori limite utili per l'identificazione dei suoli. Questi valori sono: limite liquido (LL), dato dall'umidità % in corrispondenza della quale il suolo si trova allo stato liquido (non vi è nessuna coesione tra le particelle elementari) e limite plastico (LP) ovvero l'umidità % in cui il suolo passa dallo stato plastico a quello friabile.

Dalla totalità delle analisi chimiche svolte (eccetto per l'analisi dei carbonati totali) è emersa una significativa variabilità ($p < 0.05$) tra i due gruppi messi a confronto. Il pH è risultato passare da una condizione di peracidità (valore minimo 4,6) ad una condizione di neutralità (valore massimo 7), con una media di 5,7 in accordo con la natura acida della roccia madre. Il pH è risultato più basso sulle piste da sci. Dato il pH risulta del tutto coerente l'assenza di carbonati riscontrata. Per quanto riguarda il carbonio organico si è visto che questo passa da un valore minimo di 15,1 g/kg ad un massimo di 74,4 g/kg con una media di 47,7 g/kg, la quale risulta elevata e denota una situazione di lenta umificazione, in accordo con il clima rigido montano. Nelle piste da sci il C organico è attestato da valori più bassi rispetto ai valori di prati-pascoli. L'azoto ha presentato una media di 3,80 g/kg con valore minimo 0,80 g/kg e massimo di 7,05 g/kg. Anche per l'azoto, i valori più bassi sono stati riscontrati sulle piste da sci, pur essendovi presente il pascolo estivo. Il rapporto C/N è risultato avere un valore minimo pari a 10 e un valore massimo pari a 19 (in media pari a 13). Sulle piste da sci tale rapporto è apparso più alto a segnalare una situazione di lenta mineralizzazione.

Le analisi fisiche hanno messo in luce una situazione relativamente omogenea: dall'analisi della varianza ANOVA non sono emerse differenze significative tra piste da sci e prati-pascoli, né per quanto riguarda l'analisi WAS né per quella dei Limiti di Atterberg. Dalla WAS è stato ottenuto un valore di a in media pari a 6,79 % con valore minimo 0,00 % e massimo 43,6 %. Questa variabilità si suppone sia dovuta alla presenza (o assenza) di lavorazioni del terreno in questione. Il parametro b è stato attestato da un valore medio di 57,4 % che risulta nettamente superiore al valore medio di a (6,79 %), perciò possiamo affermare che la perdita di aggregati per abrasione è maggiore della perdita per esplosione. Dal parametro $a+b$ (media pari a 64,2%) si è notata una discreta stabilità della struttura. Infine, si è visto che in media dopo 2,09 minuti la maggior parte degli aggregati erano stati persi, ciò denota una situazione tipica dei suoli alpini. Per quanto riguarda l'analisi del limite liquido (LL) si sono ottenuti i seguenti valori di umidità (%): valore minimo del 35%, valore massimo dell'82% e valore medio del 50 % perciò valori tendenzialmente alti. Il limite plastico (LP) non è stato determinabile e da ciò è stato dedotto che i suoli esaminati sono da considerare "non plastici". È stata, inoltre, trovata una correlazione tra LL e C organico ($r=0.525$ $p < 0.01$): all'aumentare del valore di carbonio organico aumenta il valore del limite liquido, situazione del tutto coerente con la funzione aggregante della sostanza organica. In conclusione, tutti i suoli hanno mostrato una buona dotazione di C organico, benché le piste mostrassero contenuti minori. Questo aspetto si riflette in un'aggregazione relativamente buona, come confermato dai risultati delle analisi fisiche. Dal confronto, infatti, è emerso che le proprietà fisiche delle piste da sci sono simili a quelle di prati-pascoli. Possiamo quindi supporre che l'uso e la gestione (come la neve artificiale compattata) dei suoli studiati non ne influenzano tanto le proprietà fisiche, quanto quelle chimiche. Possiamo allora concludere che le piste da sci esaminate siano, seppur disturbate dal punto di vista delle proprietà chimiche (come si era ipotizzato), dotate di una struttura soddisfacente rispetto a quanto ci si aspettava. Tuttavia, ricordiamo che il rischio di erosione permane in quanto pur essendo stata accertata la presenza di una buona struttura, le forze abrasive dell'acqua risultano distruttive per la maggior parte degli aggregati, nel volgere di pochi minuti. Infine, affermiamo che le opere di inerbimento e pascolamento estivo tamponano solo parzialmente i danni creati durante l'inverno. Ipotizziamo che lo squilibrio chimico, infatti, sia dovuto anche all'inerbimento con sementi alloctone, con poca variabilità o comunque non adeguate a quell'ambiente. L'utilizzo del fiorume, una miscela di sementi autoctone di alto pregio naturalistico, potrebbe riequilibrare le proprietà chimiche di questi suoli. Il lavoro di ricerca qui iniziato, perciò, ha un suo possibile continuum nell'indagine delle sementi utilizzate nelle aree studiate.

10. RINGRAZIAMENTI

Ringrazio il prof. Ermanno Zanini per avermi dato l'opportunità di conseguire un tirocinio completo ed approfondito presso i laboratori di meccanica agraria (DISAFA) dell'Università di Torino.

Ringrazio, inoltre, la correlatrice Silvia Stanchi per aver seguito la seconda parte di tirocinio e il prof. Michele Eugenio D'Amico per aver ricoperto il ruolo di Relatore.