

Interreg
Alpine Space



Région Autonome
Vallée d'Aoste
Regione Autonoma
Valle d'Aosta

Assessorat des Ouvrages publics,
de la Protection des sols
et du Logement public
Assessorato Opere pubbliche,
Difesa del suolo
e Edilizia residenziale pubblica

Carta dei Suoli della Valle d'Aosta

Note illustrative

A cura di: TiHoDa - RAVA

Michele E. D'Amico, E. Pintaldi, E. Sapino, E. Quaglino, I. Passarella, M. Freppaz, E. Navillod,
R.Rocco, S.Casola

Indice

INDICE.....	3
1 CONTESTO E PRESUPPOSTI DEL LAVORO.....	4
2 PEDOLOGIA E DESCRIZIONE DEL PROFILO.....	4
3 METODOLOGIA.....	7
3.1 <i>Dati pedologici esistenti</i>	7
3.2 <i>Dati raccolti in campagna ed analisi chimico-fisiche del suolo</i>	8
3.3 <i>Cartografia di base</i>	9
3.4 <i>Produzione della Carta dei Suoli 1:100.000</i>	13
3.5 <i>Carte derivate</i>	15
4 TIPI DI SUOLO (SCHEDE).....	25
4.1 UC 1.....	25
4.2 UC 2.....	31
4.3 UC 3.....	36
4.4 UC 4.....	38
4.5 UC 5.....	41
4.6 UC 6.....	44
4.7 UC 7.....	49
4.8 UC 8.....	56
4.9 UC 9.....	58
4.10 UC 10.....	60
4.11 UC 11.....	62
4.12 UC 12.....	64
4.13 UC 13.....	66
4.14 UC 14.....	68
4.15 UC 15.....	73
4.16 UC 16.....	77
4.17 <i>Suoli non cartografabili in scala 1:100.000</i>	79
4.18 <i>Suoli su serpentinite</i>	89
APPENDICE: GRAFICI DEI SERVIZI ECOSISTEMICI.....	95
5 RINGRAZIAMENTI.....	99
6 BIBLIOGRAFIA.....	99

1 Contesto e presupposti del lavoro

Le note illustrative contenute nel presente documento costituiscono parte integrante della Carta dei suoli della Regione Autonoma Valle d'Aosta. Esse rappresentano un tassello fondamentale per la comprensione e l'utilizzo della Carta e delle sue derivate. La Carta dei suoli della Valle d'Aosta, redatta in scala 1:100000, rappresenta uno strumento fondamentale per la gestione del territorio. Essa costituisce una sintesi dei tipi di suolo presenti a livello regionale, contribuendo a fornire informazioni indispensabili per la gestione delle risorse agro-forestali e ambientali della regione.

La Carta dei Suoli è stata redatta da TiHoDA, raggruppamento temporaneo di imprese costituito il 27 aprile 2018 in seguito all'aggiudicazione della gara pubblicata da IN.VA. S.p.A. - Centrale Unica di Committenza Regionale, con CUP B77B17000130006 - CIG 72547687F0, relativa all'espletamento del servizio di raccolta, integrazione e sistemazione dei dati relativi ai suoli valdostani come previsto dal progetto "Links4soils" finanziato nell'ambito della Cooperazione Territoriale -Alpine Space Program, programmazione europea 2014/2020 per la Regione Autonoma Valle D'Aosta. TiHo DA è costituita da tre soggetti:

Timesis s.r.l. (Via Niccolini 7, San Giuliano Terme, Pisa e Via Massena 7, Torino), società di consulenza che si occupa di sviluppo di progetti nel settore agricolo, forestale e ambientale;

Horizons s.r.l. (Largo Braccini 2, Grugliasco, Torino), società specializzata in analisi del suolo, bonifiche di siti contaminati e recupero pedo-ambientale di aree degradate;

Michele D'Amico, pedologo e ricercatore presso il DISAFA-Università degli Studi di Torino, con numerosi anni di attività nei territori alpini della Valle d'Aosta.

2 Pedologia e descrizione del profilo

La pedologia (dal greco pedon, suolo, e logos, scienza) è la scienza multidisciplinare che studia il suolo. È una scienza di sintesi, in quanto connette numerose discipline scientifiche, quali le scienze della terra, la biologia, le scienze fondamentali (ad es. matematica, chimica, fisica, ecc..) e le scienze applicate (ad es. agrarie, forestale, ecc..). Il suolo è un'interfaccia, ovvero un sistema aperto estremamente complesso, nel quale si interfacciano ed interagiscono, attraverso flussi continui di materia ed energia, i diversi comparti ambientali (litosfera, biosfera, idrosfera, atmosfera). Il suolo si trova in uno stato stazionario, ovvero di equilibrio apparente, in cui avvengono reazioni e processi i cui risultati portano a trasformazioni, permanenti o reversibili, nel corso tempo. Gli agenti responsabili di queste trasformazioni sono i fattori della pedogenesi, codificati da Hans Jenny nella celebre equazione del 1941:

$$\text{suolo} = f(\text{clima, tempo, rilievo, roccia madre, organismi viventi})$$

I processi che portano alla formazione del suolo (processi pedogenetici) sono molteplici e comprendono fenomeni di traslocazione (eluviazione/illuviazione), perdite (lisciviazione) e trasformazioni a carico della fase minerale e organica, che portano nel tempo alla formazione di strati distinti (orizzonti) generalmente paralleli, dotati di specifici caratteri morfologici e chimico-fisici. Gli orizzonti del suolo si distinguono in: 1) genetici: esprimono un giudizio qualitativo circa il tipo di processo pedogenetico (presente o passato) che ha dato origine all'orizzonte; 2) diagnostici: esprimono un giudizio di tipo quantitativo che consente, raggiunta una specifica soglia, di effettuare una classificazione utilizzando uno specifico Sistema di Classificazione.

La denominazione degli orizzonti principali riportata di seguito (tabella 2.1), finalizzata alla comprensione delle note illustrative applicate alla Regione Valle d'Aosta, fa riferimento alle linee guida per la descrizione dei

suoli della FAO (2006). Inoltre alcune indicazioni relative agli orizzonti organici sono riferite al sistema di classificazione degli humus European Humus Form Reference Base (Zanella et al. 2011).

Sovente è possibile individuare, all'interno del profilo pedologico, degli orizzonti di transizione, ovvero orizzonti dominati da proprietà comuni a due orizzonti principali. In tal caso la denominazione sarà costituita da due lettere (es. AE), il cui ordine dipenderà dalla proprietà dominante.

Tabella 2.1: nomenclatura dei principali orizzonti dei suoli.

Nomenclatura orizzonte	Descrizione
O	Straticomposti di sostanza organica, distinguibili in funzione del diverso grado di alterazione: OL (lettiera indecomposta); OF (lettiera frammentata), OH (sostanza organica humificata).
A	Orizzonti minerali o organo-minerali formati in superficie o al di sotto di orizzonti O , caratterizzati da accumulo di sostanza organica associata o meno alla matrice minerale.
E	Orizzonti minerali eluviali caratterizzati da una perdita di argilla silicatica, ferro e alluminio con una concentrazione residuale di sabbia e limo.
B	Orizzonti minerali profondi formati sotto un orizzonte A, E, O. In cui l'originale struttura della roccia è stata completamente o quasi completamente obliterata.
C	Orizzonti minerali profondi, ad esclusione di quelli fortemente cementati e della roccia dura, debolmente interessati dai processi pedogenetici e diversi dagli orizzonti O, A, E, o B. Sono costituiti da materiale simile o dissimile da quello dal quale il solum si è presumibilmente formato (ad es. sedimenti, saprolite, roccia non consolidata e altri materiali geologici non opoco cementati).
R	Roccia dura

Gli orizzonti principali vengono poi affiancati da un secondo livello descrittivo, identificato da una o più lettere minuscole suffisse che vengono aggiunte alla lettera dell'orizzonte principale, consentendo quindi di specificare ulteriormente il tipo di orizzonte e il processo pedogenetico coinvolto nella sua formazione (es. Bs). Le lettere suffisse possono essere più di una, qualora coesistano più processi e/o figure pedogenetiche (es. Bhs). Inoltre, è possibile affiancare ulteriormente un numero progressivo per l'identificazione univoca dell'orizzonte all'interno del profilo, in ordine di profondità crescente (ad es. Bs1, Bs2 ecc.). Di seguito si riporta (tabella 2.2) l'elenco dei suffissi utili per la comprensione delle descrizioni, riferite al sistema di classificazione della FAO (2006).

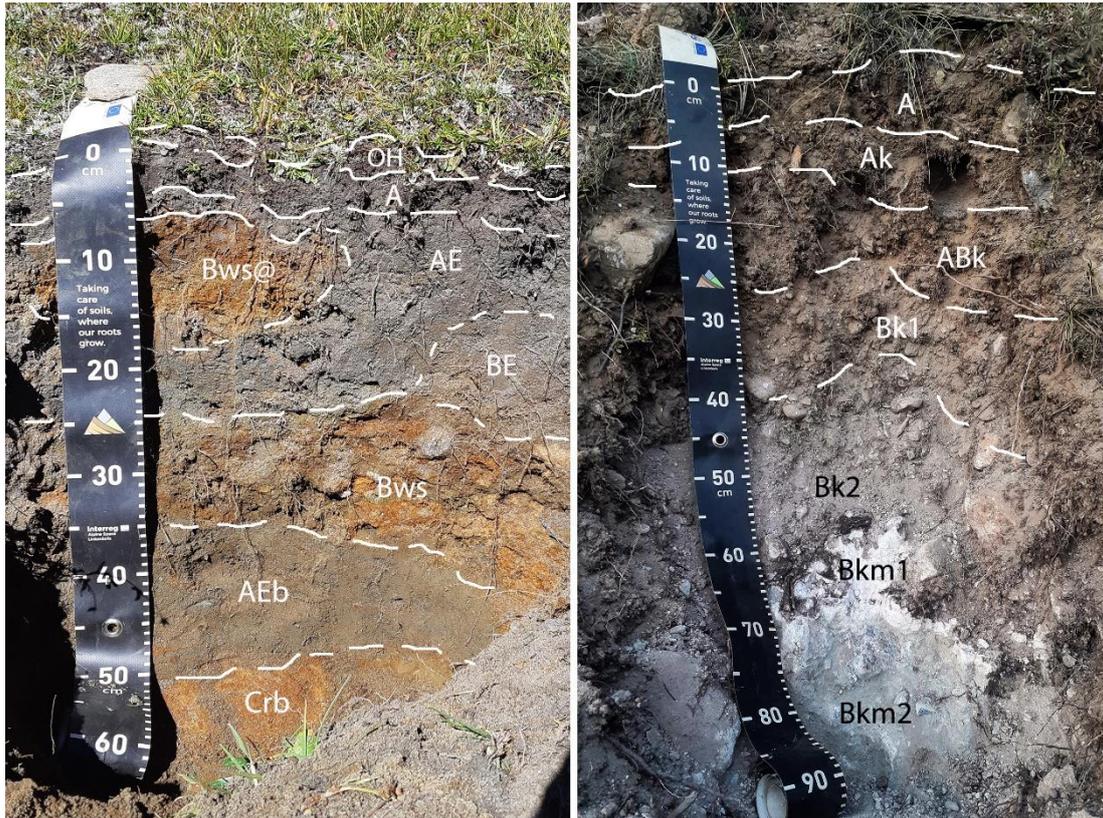


Fig. 2.1: Esempi di orizzonti in protospodic Dystric Cambisol (Turbic) e Skeletic Petric Calcisol in Valle d'Aosta.

Tabella 2.2: suffissi degli orizzonti pedologici utilizzati nei suoli della Valle d'Aosta.

b	Indica un orizzonte genetico sepolto (dall'inglese <i>buried</i>) caratterizzato da figure pedogenetiche formatesi prima del seppellimento.
g	Gley: indica la presenza di processi di riduzione e rimozione del ferro causati da carenza di ossigeno dovuta a condizioni di saturazione idrica temporanea o permanente.
h	Associata in genere alla lettera B, per indicare un accumulo illuviale di sostanza organica humificata, sovente associata ad ossidrossidi di ferro e alluminio.
k	Accumulo di carbonati di origine pedogenetica (secondari).
m	Indica un orizzonte cementato; in funzione dell'agente cementante, viene associata un'altra lettera minuscola (es. nel caso di carbonati km).
p	Indica un orizzonte di superficie disturbato da attività di origine antropica quali lavorazioni agricole o pascolo.
r	Lettera generalmente associata agli orizzonti C, indica roccia in via di alterazione o tenera (es. saprolite, arenaria, serpentinite alterata, ecc.).
s	Lettera associata agli orizzonti B, indica un orizzonte di accumulo illuviale di ossidi di ferro e alluminio.
t	Associata agli orizzonti B, indica un accumulo illuviale di argille silicatiche.
w	Lettera associata agli orizzonti B, indica il processo di alterazione della fase minerale del suolo (dall'inglese <i>weathering</i>) che determina cambiamenti di struttura e colore.
x	Indica un orizzonte a fragipan, ovvero caratterizzato da densità apparente molto elevata da asciutto e da mancanza di struttura quando bagnato.
@	Indica un orizzonte crioturbato, in cui i processi di variazione di volume associati al congelamento e allo scongelamento del ghiaccio creano orizzonti convoluti, o compatti con struttura laminare, o soliflusso, o silt caps (coperture di limo) sui clasti dello scheletro.

3 Metodologia

3.1 Dati pedologici esistenti

Il primo passo per la realizzazione della carta e la compilazione del relativo database è stato la ricerca dei dati pedologici esistenti disponibili. La ricerca ha portato alla luce un quadro piuttosto frammentato con dati difficilmente accessibili, tuttavia, è stato possibile raccogliere un cospicuo numero di dati pedologici. In particolare, dopo un'accurata analisi dei dati disponibili per ogni singolo profilo e la necessaria armonizzazione degli stessi, sono stati utilizzati 691 profili descritti (chiamati propriamente profili pedologici se analizzati, osservazioni se non campionate ed analizzate) per le elaborazioni statistiche finali che hanno portato alla produzione della carta dei suoli della Valle d'Aosta in scala 1:100.000 (fig. 3.1.1). In particolare, 333 profili ed osservazioni provengono da vari anni di collaborazione tra Regione Autonoma Valle d'Aosta e Università degli Studi di Torino - DISAFA -Settore Chimica Agraria e Pedologia, 24 da un progetto in corso tra Parco Nazionale del Gran Paradiso e Università degli Studi di Milano Bicocca - DISAT ("Valutazione e mappatura dei servizi ecosistemici in un'area protetta alpina", sotto la responsabilità scientifica della dottoressa Canedoli e del Prof. Padoa Schioppa), 18 sono localizzati sotto vigneto nell'ambito di uno studio eseguito da R. Minelli (Zonazione viticola della DOC Valle d'Aosta) nel 2008 nei suoli di vigneto della regione per conto dell'Institut Agricole Régional (IAR), 41 provengono dall'Istituto per le Piante da Legno e L'Ambiente (IPLA) (1995-1997), 130 provengono da numerosi anni di attività del dott. Michele D'Amico nel Parco Naturale del Mont Avic per conto del Dipartimento di Scienze dell'Ambiente e del Territorio DISAT dell'Università degli Studi di Milano Bicocca (sotto la responsabilità scientifica del Prof. Previtali) e Cooperativa REA (Monza, Via S. Gottardo 85), 18 da una collaborazione tra ARPA Valle d'Aosta e Cooperativa REA nell'area intorno alla discarica di Pontey (2004). Circa il 25% dei profili aperti e descritti nel territorio regionale è stato escluso a causa di una localizzazione errata, per problemi nella caratterizzazione ambientale o per incongruenze nella descrizione che ne rendevano impossibile l'armonizzazione ai dati più recenti e l'attribuzione alle unità cartografiche finali (sezione 3.4 e successive).

I profili di torbiera (n=22) sono stati esclusi a causa della scala del lavoro che non permette una visualizzazione delle piccole zone umide in cui sono presenti.

I dati esistenti non sono stati tuttavia sufficienti a coprire l'intero territorio, poiché diverse zone della Valle, specialmente alle quote più elevate, non erano mai state esplorate dal punto di vista pedologico. Pertanto, a partire dal mese di giugno 2018, è stata realizzata una vasta campagna di rilievi a terra, volta ad incrementare la rete di punti sul territorio regionale. In totale, durante l'estate 2018, nell'ambito del Links4Soils, sono stati eseguiti 73 profili pedologici e 65 osservazioni (profili pedologici speditivi descritti ma non campionati) e sono stati raccolti oltre 240 campioni per le relative analisi chimico-fisiche eseguite in laboratorio.

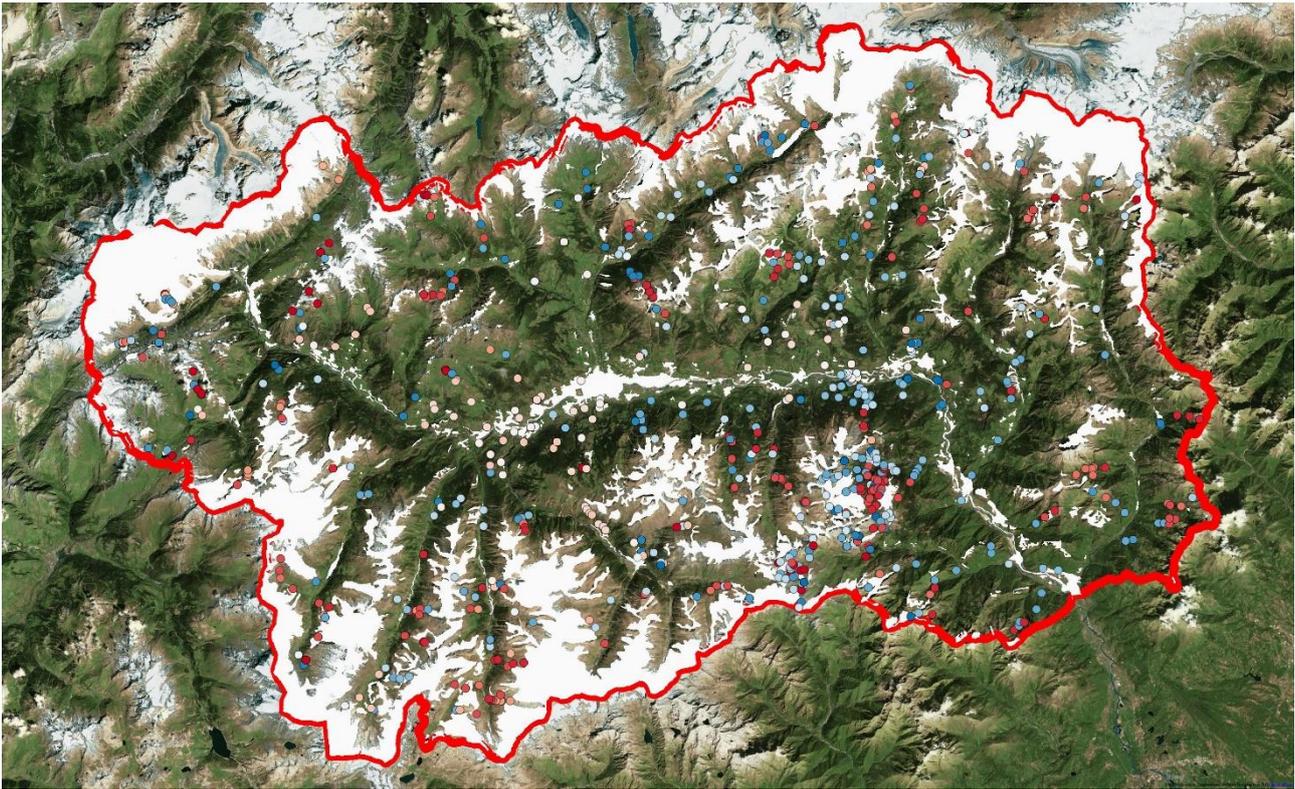


Fig. 3.1.1: distribuzione dei 691 profili sul territorio regionale. Le zone a “non-suolo” (rocce affioranti, ghiacciai, acque superficiali, zone urbane, pari a circa il 22.7% della superficie regionale) sono riportate in bianco.

3.2 Dati raccolti in campagna ed analisi chimico-fisiche del suolo

In campagna sono stati raccolti i dati standard ambientali (natura del substrato e della forma, litologia del materiale parentale, copertura vegetale, pendenza, esposizione, rocciosità e pietrosità superficiale, evidenza di fenomeni erosivi) e i dati morfologici dei suoli (spessore e profondità degli orizzonti, colore, contenuto in scheletro e radici, forma e grado di aggregazione della struttura, evidenze di attività biologica). Tra i numerosi campioni, sono stati raccolti anche campioni indisturbati mediante cilindri di metallo del volume di 100 cm³ per il calcolo della densità apparente. Sono stati anche raccolti campioni disturbati di ogni orizzonte riconosciuto per l'esecuzione delle analisi di laboratorio. Le analisi chimico-fisiche necessarie per la caratterizzazione dei suoli sono state svolte dalla società Horizon del gruppo TiHoDa, presso i laboratori del Dipartimento di Scienze Agrarie, forestali e Alimentari DISAFA dell'Università di Torino. Le analisi hanno riguardato le principali caratteristiche chimico-fisiche dei suoli, in particolare è stata eseguita la determinazione dei seguenti parametri standard: granulometria apparente, pH, carbonio organico totale, azoto totale; inoltre, ove necessario ai fini della classificazione, sono state eseguite ulteriori analisi chimiche, tra cui: fosforo assimilabile, carbonati totali, ferro e alluminio totale, ferro e alluminio estraibili in ossalato e ditionito. Le analisi sono state eseguite secondo i metodi ufficiali riportati nel DM 13/09/1999 SO n° 185 GU n° 248248 e nei Metodi Ufficiali di Analisi Fisica del Suolo (Suppl. Ord. G.U. n. 173 2/9/1997).

Tutti i dati analitici disponibili sono raccolti in una tabella insieme al database.

3.3 Cartografia di base

I caratteri morfologici, chimici e fisici del suolo dipendono dai 5 fattori principali della pedogenesi (Jenny, 1941):

Suolo=f(materiale parentale, esseri viventi (vegetali, animali, attività umane), topografia, clima, tempo)

La distribuzione spaziale dei suoli dipende quindi da quella dei vari fattori della formazione del suolo, e la rappresentazione cartografica in ambiente GIS deve basarsi sui diversi strati cartografici, ognuno rappresentante o facente parte di uno dei fattori dell'equazione di Jenny. In particolare, le basi cartografiche usate sono state fornite dalla regione Valle d'Aosta e sono state:

- Carta Geologica in scala 1:100.000 (Regione Valle d'Aosta, 2015, disponibile su Webgis al sito <http://geologiavda.partout.it/GeologiaVDA/default/GeoCartaGeo>); la carta è stata modificata attribuendo una litologia dominante ai depositi di versante, visto che la litologia è uno dei principali fattori della pedogenesi, in grado di determinare molti caratteri chimici e fisici dei suoli. Le principali tipologie litologiche sono state raggruppate in 8 tipologie principali (fig. 3.3.1, tabella 3.3.1), dando origine ad una carta del materiale parentale a tutti gli effetti.

Tabella 3.3.1: *legenda della carta dei materiali parentali dei suoli della Regione Valle d'Aosta.*

LITOLOGIA	Cod. classe materiale parentale
Calcescisti, flysch, marmi fillitici	100
Pietre verdi (prasiniti, anfiboliti, metabasalti, metagabbri, gabbri) – Rocce mafiche	200
Serpentiniti – Rocce ultramafiche	300
Scisti neri	400
Accumuli di frana	Riclass.
Coperture sedimentarie non differenziate	Riclass.
Detrito di versante	Riclass.
Calcari, dolomie, gessi, carnirole	600
Depositi glaciali	700
Graniti, metagraniti, ortogneiss, metagranofiri, porfiroidi, filoni lamprofirici, micascisti, paragneiss, metaconglomerati	800
Quarziti	800
Depositi alluvionali	900
Ghiacciai	15000

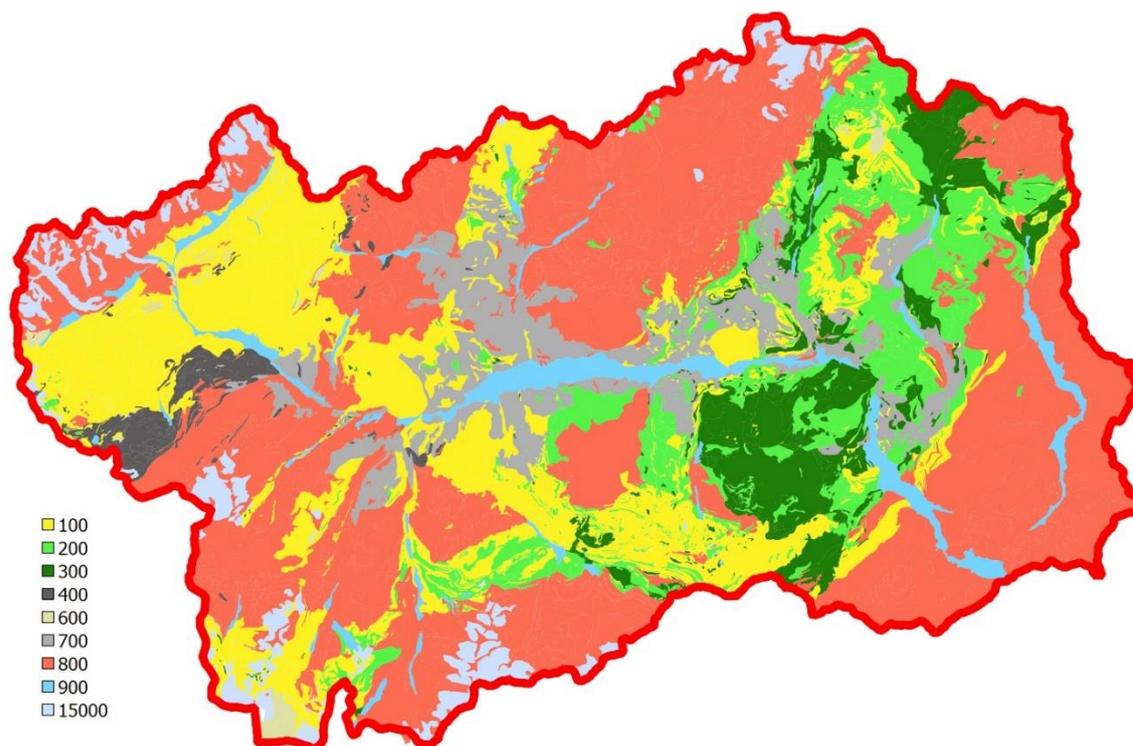


Fig. 3.3.1: carta del materiale parentale, basata sulla carta geologica in scala 1:100.000 modificata.

- Carta della Natura in scala 1:50.000 (Amedei et al., 2009); anche in questo caso, le varie tipologie di habitat sono state raggruppate e riclassificate in base al loro rapporto con i suoli e la loro formazione, in base alla tabella 3.3.2. e alla figura 3.3.2.

Tabella 3.3.2: legenda della carta della copertura di suolo semplificata della Regione Valle d'Aosta.

codice uso suolo	CODICE	C
1000	22.1	Acque dolci (laghi, stagni)
1000	24.1	Corsi fluviali (acque correnti dei fiumi maggiori)
2000	24.221	Greti subalpini e montani con vegetazione erbacea
3000	31.42	Brughiere subalpine a Rhododendron e Vaccinium
3000	31.43	Brughiere a ginepri nani
3000	31.52	Mughete esalpiche delle Alpi centro-orientali
4000	31.611	Ontanete ad Alnus viridis delle Alpi
4000	31.621	Saliceti basso arbustivi pirenaico-alpini
4000	31.81	Cespuglieti medio-europei
4000	44.11	Cespuglieti di salici pre-alpini
4000	44.13	Gallerie di salice bianco
4000	44.21	Boscaglia montana a galleria con ontano bianco
5000	34.314	Prati steppici sub-continentali - Formazioni delle Alpi interne occidentali e appennino settentrionale
5000	34.323	Praterie xeriche del piano collinare, dominate da Brachypodium rupestre, B. caespitosum

5000	41.731	Querceto a roverella dell'Italia settentrionale e dell'Appennino centro-settentrionale
5000	42.53	Pinete centro-alpine substeppiche a pino silvestre
5000	42.55	Pinete endalpiche delle Alpi sud-occidentali a pino silvestre
6000	36.31	Nardeti montani e subalpini e comunita' correlate
6000	36.34	Curvuleti e comunita' correlate
7000	36.431	Seslerieti delle Alpi
8000	36.5	Pascoli alpini e subalpini fertilizzati
8000	38.2	Prati falciati e trattati con fertilizzanti
8000	38.3	Prati falciati montani e subalpini
9000	41.11	Faggete acidofile centroeuropee
9000	41.39	Formazioni postcolturali a frassino maggiore e nocciolo
9000	41.41	Boschi misti di forre e scarpate
9000	44.31	Alno-frassineti dei rivi e sorgenti
9000	41.B	Betuleti
9000	41.D1	Formazioni a pioppo tremulo e betulla
10000	41.9	Castagneti
11000	42.12	Abetine calcifile delle Alpi e dell'Appennino centro-settentrionale
11000	42.21	Peccete subalpine
11000	42.221	Peccete montane acidofile
11000	42.222	Peccete montane calcifile
11000	42.1B	Rimboschimenti a conifere indigene
12000	42.322	Lariceti (Laricetum deciduae) come formazioni boscoso oppure come brughiere e prati alberati subalpini
12000	42.331	Foreste di larice e di larice-pino uncinato
12000	42.41	Foreste di pino uncinato - Foreste subalpine delle Alpi occidentali
12000	42.42	Foreste di pino uncinato - Pinete montane xeriche
13000	53.1	Vegetazione dei canneti e di specie simili
13000	54.2	Paludi neutro-basifile
14000	61.11	Ghiaioni silicei alpini
14000	61.21	Ghiaioni alpini di calcescisti
14000	61.22	Ghiaioni basici alpini del piano alpino e nivale
14000	61.23	Ghiaioni basici alpini del piano altimontano e subalpino
0	62.15	Rupi basiche delle Alpi
0	62.21	Rupi silicee montane medio-europee
15000	63	Ghiacciai e superfici costantemente innevate
16000	82.3	Colture di tipo estensivo e sistemi agricoli complessi
16000	83.321	Piantagioni di pioppo canadese
17000	83.21	Vigneti
18000	85.1	Grandi parchi
18000	86.1	Città, centri abitati
18000	86.3	Siti industriali attivi
18000	86.41	Cave

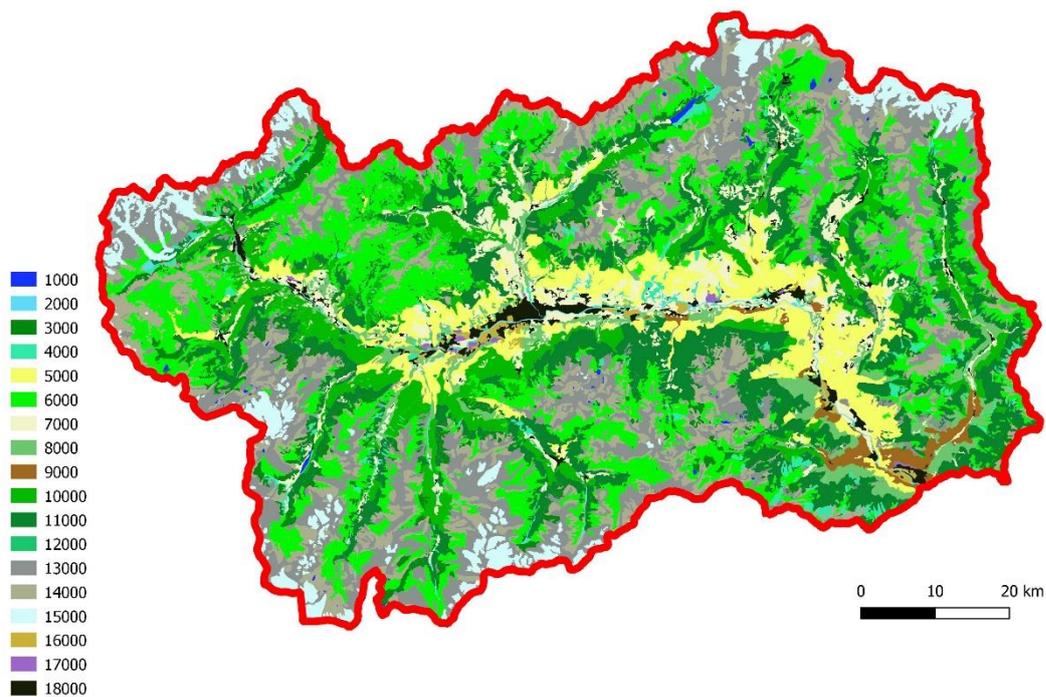


Fig. 3.3.2: carta della natura in scala 1:50000 semplificata.

- Altitudine, esposizione assoluta e pendenza dei versanti, derivate dal DTM regionale con definizione 10m; l'esposizione assoluta è stata calcolata considerando i versanti esposti a SW come i più caldi, e quelli a NE i più freddi, usando GIS secondo la formula:

$$|(180 - |(aspect - 225)|)|$$

- Carta delle precipitazioni medie annue, prodotta mediante kriging a partire dai dati provenienti da 70 centraline pluviometriche sparse sul territorio regionale (fig. 3.3.3) e fornito dal Centro Funzionale Regionale.

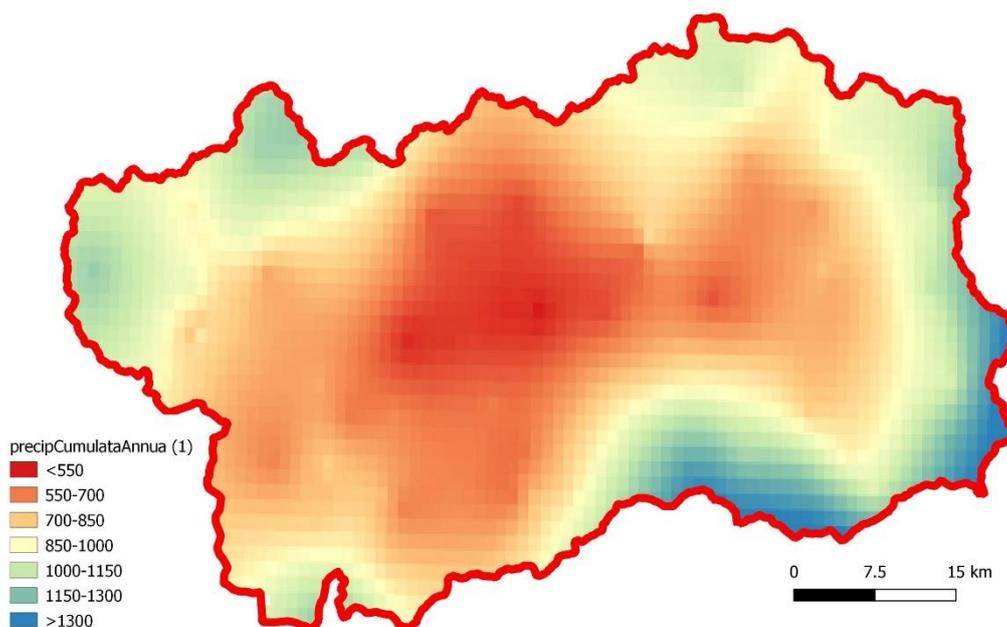


Fig. 3.3.3: carta rappresentante la spazializzazione delle precipitazioni medie annue (mm/anno), incluso l'equivalente in acqua del manto neveo (Snow Water Equivalent).

3.4 Produzione della Carta dei Suoli 1:100.000

I 691 profili usati sono stati riclassificati in base alla tassonomia WRB (IUSS Working Group WRB, 2015) e sono stati poi raggruppati in 16 tipologie di suoli simili da un punto di vista pedogenetico e funzionale (suoli con servizi ecosistemici e possibili utilizzi simili), che rappresentano quindi i tipi di suolo dominanti nel territorio regionale, e che rappresentano le Unità Cartografiche (UC). Suoli analoghi da un punto di vista genetico e simili da un punto di vista funzionale, ma con diverso grado di sviluppo (ad esempio gli Albic Podzols, UTS 1a e Albic Ortsteinic Podzols, UTS 1b), difficilmente mappabili in scala 1:100.000 separatamente, sono descritti come diverse Unità Tipologiche di Suolo (UTS) nel presente testo (capitolo 4).

L'estensione spaziale delle UC è stata effettuata applicando un modello Maximum Likelihood disponibile in ArcGIS, in grado di gestire variabili spazializzate continue (quota, esposizione, pendenza, piovosità media annua) e categoriche (materiale parentale e copertura vegetale). Il risultato presentava un eccessivo dettaglio in relazione al numero di osservazioni utilizzate, così le UC (che mostrano uno dei 16 tipi di suolo dominante) sono state accorpate in modo da raggiungere una superficie minima di 10 ettari (tab. 3.4.1, fig. 3.4.1). La relazione tra attribuzione dei suoli dominanti e unità cartografica è decisamente buona, ad evidenziare una buona resa cartografica del metodo utilizzato (fig. 3.4.2). Alcune differenze sono dovute alla scala che non ha permesso la delineazione di unità troppo piccole in assenza di una validazione rigorosa in gran parte del territorio regionale. Alcune differenze tra profili e UC sono dovute alla presenza di suoli geneticamente correlati (ad esempio, UC 6 e 7).

Tabella 3.4.1: Unità Cartografiche (tipi di suolo principali) della carta dei suoli della Regione Valle d'Aosta (1:100.000). La descrizione di queste UC è nella sezione 4.

UC	WRB2015
1	Albic Podzol
2	Skeletal Entic Podzol
3	Umbric Entic Podzol
4	Dystric Cambisol (Protospodic, Arenic)*
5	Haplic/Cambic/Gleyic Phaeozem
6	Haplic Kastanozem
7	Petric/Haplic Calcisol
8	Calcaric Regosol
9	Haplic Umbrisol
10	Eutric Cambisol
11	Hypocalcic Rhodic Cambisol
12	Dystric Cambisol
13	Hyperskeletal/Skeletal Regosol
14	Skeletal Eutric Regosol (Turbic)
15	Fluvisol
16	Skeletal Dystric Leptosol

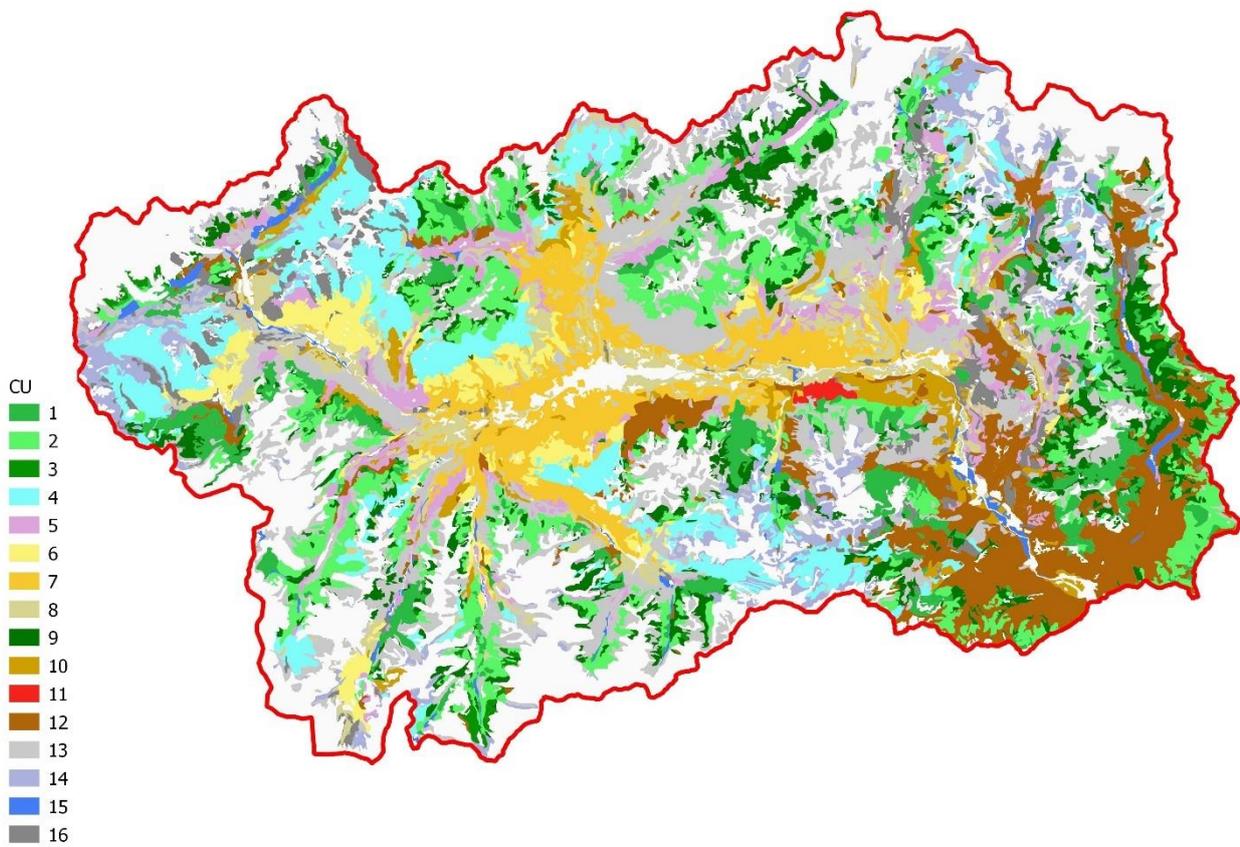


Fig. 3.4.1: carta dei suoli della Regione Valle d'Aosta (1:100.000).

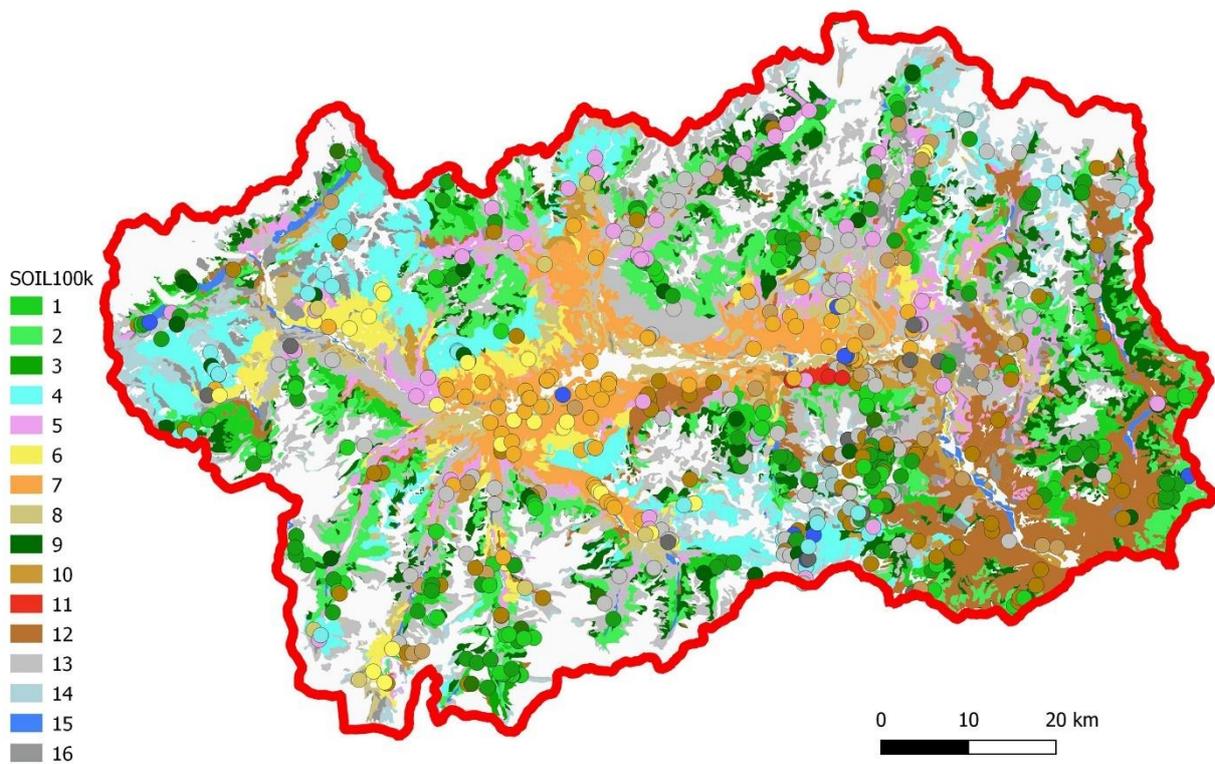


Fig. 3.4.2: carta dei suoli della Regione Valle d'Aosta, con i profili attribuiti ai diversi tipi di suolo dominante evidenziante una resa cartografica molto buona, considerando la scala 1:100.000.

Ogni UC è caratterizzata da alcune proprietà tipiche, ricavate come mediana dei dati morfologici (profondità, pietrosità), fisici (tessitura, erodibilità, frequenza di dissesti superficiali) e chimici (pH, stock di carbonio) dei singoli profili attribuiti a ciascuno.

3.5 Carte derivate

I dati chimici e fisici mediani di ogni UC (Unità Cartografica) sono la base delle carte derivate. In particolare, la carta degli stock di carbonio organico è stata prodotta considerando tutti gli orizzonti che compongono i vari profili), mentre la carta dell'erodibilità, la carta dell'erosione potenziale in assenza di protezione da parte degli orizzonti organici, la carta dell'erosione potenziale considerando gli orizzonti organici, la carta della vulnerabilità a fenomeni di scivolamento e colate di fango e la carta della Land Capability Classification (LCC) sono state prodotte considerando solo gli orizzonti superficiali.

3.5.1 Carta degli stock di Carbonio Organico

La carta degli stock di carbonio organico (fig. 3.5.1.1) è stata prodotta a partire dai valori mediani di stock di carbonio, calcolati per ogni profilo appartenente alla UC. In particolare, i valori sono stati calcolati sull'intero profilo considerando il contenuto in carbonio organico (TOC), densità apparente (BD), spessore di ogni orizzonte (D) e contenuto in scheletro (SK, valutato come volume % sul campo), in base alla formula:

$$C \text{ stock} = ((\text{TOC (g/kg)} * \text{BD (kg/dm}^3) * \text{D (dm)}) / 10) * (1 - \text{SK})$$

Da questi calcoli si evince che i suoli della Valle d'Aosta contengono, con un fisiologico margine di errore, 13 milioni di tonnellate di C organico ($13 * 10^6 \text{t}$), non considerando i suoli che accumulano C in modo più efficiente (gli Histosols di torbiera, UTS 17a e 17b), che non sono stati cartografati a causa della scala della carta.

Si può vedere (fig. 3.5.1.1) come i suoli più poveri in carbonio, tra quelli cartografati, sono i suoli tipici dell'area endalpica a bassa quota, a clima xerico, e quelli alle quote più elevate, in cui la produttività ecosistemica è ridotta dalle basse temperature

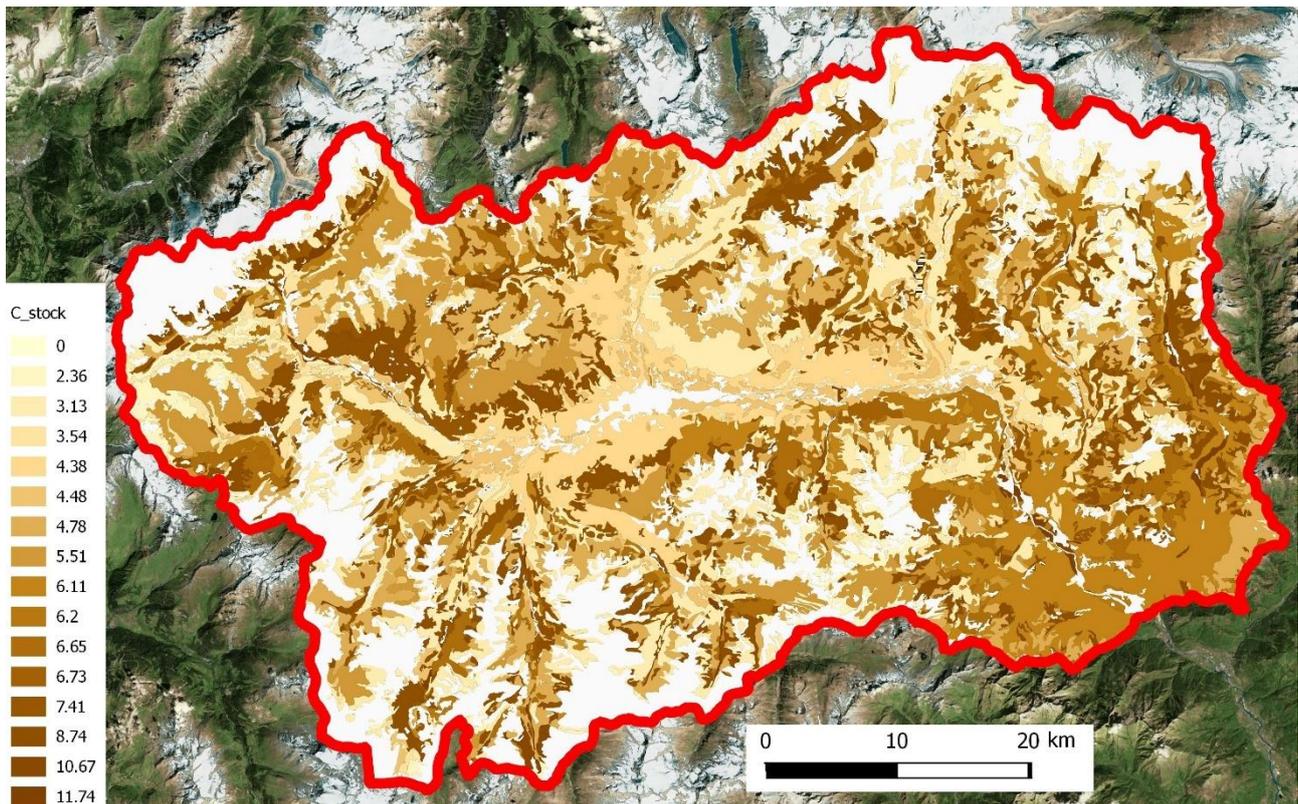


Fig. 3.5.1.1: carta dello stock di carbonio organico (kg/m²) nei suoli della Regione Valle d'Aosta.

3.5.2 Carta di Erodibilità del suolo

La carta dell'erodibilità potenziale (fig. 3.5.2.1) corrisponde alla carta del fattore K inserito nel modello USLE (Universal Soil Loss Equation, Wischmeier and Smith, 1978), poi sostituito dalla versione GIS RUSLE. In base al modello RUSLE (Revised Universal Soil Loss Equation, Renard et al., 1997), i tassi di erosione del suolo dipendono dall'equazione:

$$A = K * R * LS * C * P$$

- A = perdita di suolo stimata per erosione (t ha⁻¹ y⁻¹);
- R = erosività delle precipitazioni (MJ mm h⁻¹ ha⁻¹ y⁻¹);
- K = erodibilità del suolo (t ha⁻¹ MJ⁻¹ mm⁻¹);
- LS = fattore topografico che include lunghezza e pendenza del versante (adimensionale);
- C = copertura del suolo (stimato, adimensionale);
- P = fattore specifico per la protezione del suolo, generalmente omissso in studi su larga scala.

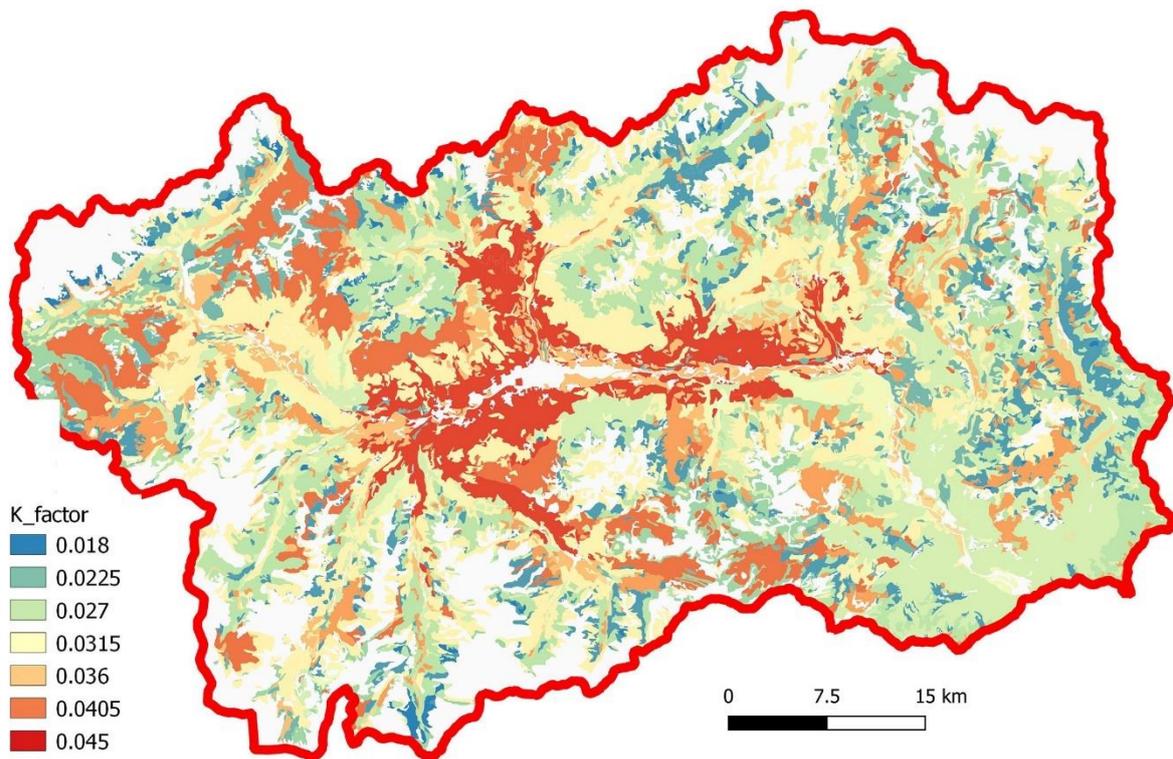


Fig. 3.5.2.1: carta dell'erodibilità degli orizzonti minerali superficiali dei suoli della Valle d'Aosta (fattore K del modello RUSLE).

In particolare, il fattore K rappresenta quanto ogni suolo è vulnerabile all'erosione in assenza di vegetazione, su una pendenza standard. K dipende da tessitura, struttura, permeabilità e sostanza organica in base all'equazione proposta da Wischmeier e Smith (1978):

$$K = (2.1 * 10^{-4}) (12 - OM) * M^{1.14} + 3.25 (S - 2) + 2.5 (P - 3) / (7.59 * 100)$$

dove:

- M = (limo (%) + sabbia molto fine (%)) x (100 - argilla (%))
- OM = sostanza organica (%), calcolata come C organico * 1.72
- S = codice di strutturazione dell'orizzonte, ottenuto utilizzando valori in tabella nel testo di Wischmeier e Smith (1978).
- P = classe di permeabilità del profilo, ottenuto seguendo una scala in base a valutazioni sul campo, struttura e tessitura.

Si può vedere come i suoli più erodibili, tra quelli cartografati, sono i suoli tipici dell'area endalpica a bassa quota, a clima xerico, e, in minor misura, alcuni alle quote più elevate su calcescisto, in cui la produttività ecosistemica è ridotta dalle basse temperature.

3.5.3 Carte dell'Erosione potenziale e dell'Erosione considerando i tipi di humus

Gli altri parametri dell'erosione utilizzati per il calcolo della perdita di suolo potenziale (erosione potenziale, espressa in t/ha/anno) nel territorio della Valle d'Aosta sono i fattori LS, C, R (fattore topografico, copertura del suolo e precipitazioni).

In particolare, il fattore LS è stato calcolato mediante GIS a partire dal DEM (Modello Digitale del Terreno 10 m) secondo il metodo proposto da Nearing (1997) e la formula:

$$[LS] = \text{Pow}([\text{flow accumulation}] * (\text{cell dimension}) / 22.13, m) * (- (m+1) + (17 / (1 + (\text{Pow}(2.71828183, (2.3 - (6.1 * \text{Sin}([\text{slope_deg}] * 0.01745))))))))))$$

dove:

- “flow accumulation” è il raster che identifica il numero di pixel che drenano naturalmente nei pixel successivi, immaginando un flusso idrico sulla superficie che scorre lungo la massima pendenza; questo valore è posto minore o uguale a 300, considerando che oltre i 300 m l’acqua comincia a scorrere in canali, non considerabili dal modello RUSLE;
- 22.13 m: la lunghezza standard della parcella su cui si calcola l’erosione in base alla definizione originaria di fattore LS;
- m: costante che si basa sulla topografia, considerato pari a 0.4 in aree montuose;
- Slope_deg è la pendenza di ogni pixel in gradi.

Gli altri parametri dell’equazione sono empirici, ma validati su pendenze inferiori al 22%, ma considerati piuttosto validi anche al di sopra di tale pendenza (Nearing 1997).

Il fattore C identifica come i vari tipi di copertura del suolo e vegetazione proteggono il suolo dall’erosione; valori bassi indicano coperture del suolo protettive, che riducono in modo molto efficiente l’erosione. In questo lavoro, il fattore C è stato attribuito basandosi su numerosi dati di letteratura per ogni diverso habitat cartografato nella Carta della Natura (Amedei et al., 2009). Alcune tipologie di habitat non hanno un valore di C; in questi casi l’attribuzione si è basata sulla copertura media del suolo, sulla percentuale di suolo nudo, sull’altezza delle comunità vegetali, secondo il metodo proposto da Bazzoffi (2007). I valori del fattore C finale sono mostrati in tabella 3.5.3.1.

Tabella 3.5.3.1: valore del fattore C per le diverse tipologie di copertura del suolo nel territorio della Valle d’Aosta.

	Habitat	C factor
22.1	Acque dolci (laghi, stagni)	0
24.1	Corsi fluviali (acque correnti dei fiumi maggiori)	0
24.221	Greti subalpini e montani con vegetazione erbacea	0.3
31.42	Brughiere subalpine a Rhododendron e Vaccinium	0.001
31.43	Brughiere a ginepri nani	0.001
31.52	Mughete esalpiche delle Alpi centro-orientali	0.001
31.611	Ontanete ad Alnus viridis delle Alpi	0.01
31.621	Saliceti basso arbustivi pirenaico-alpini	0.01
31.81	Cespuglieti medio-europei	0.01
34.314	Prati steppici sub-continentali - Formazioni delle Alpi interne occidentali e appennino settentrionale	0.15
34.323	Praterie xeriche del piano collinare, dominate da Brachypodium rupestre, B. caespitosum	0.043
36.31	Nardeti montani e subalpini e comunità correlate	0.013
36.34	Curvuleti e comunità correlate	0.08
36.431	Seslerieti delle Alpi	0.042
36.5	Pascoli alpini e subalpini fertilizzati	0.043

38.2	Prati falciati e trattati con fertilizzanti	0.005
38.3	Prati falciati montani e subalpini	0.005
41.11	Faggete acidofile centroeuropee	0.003
41.39	Formazioni postcolturali a frassino maggiore e nocciolo	0.008
41.41	Boschi misti di forre e scarpate	0.008
41.731	Querceto a roverella dell'Italia settentrionale e dell'Appennino centro-settentrionale	0.1
41.9	Castagneti	0.01
42.12	Abetine calcifile delle Alpi e dell'Appennino centro-settentrionale	0.003
42.21	Peccete subalpine	0.002
42.221	Peccete montane acidofile	0.004
42.222	Peccete montane calcifile	0.004
42.322	Lariceti (Laricetum deciduae) come formazioni boschive oppure come brughiere e prati alberati subalpini	0.001
42.331	Foreste di larice e di larice-pino uncinato	0.001
42.41	Foreste di pino uncinato - Foreste subalpine delle Alpi occidentali	0.001
42.42	Foreste di pino uncinato - Pinete montane xeriche	0.005
42.53	Pinete centro-alpine substeppeiche a pino silvestre	0.08
42.55	Pinete endalpine delle Alpi sud-occidentali a pino silvestre	0.05
44.11	Cespuglieti di salici pre-alpini	0.01
44.13	Gallerie di salice bianco	0.01
44.21	Boscaglia montana a galleria con ontano bianco	0.01
44.31	Alno-frassineti dei rivi e sorgenti	0.008
53.1	Vegetazione dei canneti e di specie simili	0
54.2	Paludi neutro-basifile	0
61.11	Ghiaioni silicei alpini	0.2
61.21	Ghiaioni alpini di calcescisti	0.3
61.22	Ghiaioni basici alpini del piano alpino e nivale	0.2
61.23	Ghiaioni basici alpini del piano altimontano e subalpino	0.2
62.15	Rupi basiche delle Alpi	0
62.21	Rupi silicee montane medio-europee	0
63	Ghiacciai e superfici costantemente innevate	0
82.3	Colture di tipo estensivo e sistemi agricoli complessi	0.3
83.21	Vigneti	0.34
83.321	Piantagioni di pioppo canadese	0.1
85.1	Grandi parchi	0.001
86.1	Città, centri abitati	0
86.3	Siti industriali attivi	0
86.41	Cave	0.8
41.B	Betuleti	0.008
41.D1	Formazioni a pioppo tremulo e betulla	0.008
42.1B	Rimboschimenti a conifere indigene	0.08

Il fattore R (erosività delle precipitazioni) è stato calcolato sulla base della carta delle precipitazioni medie annue del territorio regionale (paragrafo 3.3). vista la grande sovrastima delle equazioni empiriche sviluppate in altri ambienti ma normalmente usate anche in ambito alpino (Bazzoffi, 2007), è stata creata una nuova formula basata su un gran numero di dati misurati in Svizzera, in zone con regimi climatici simili

a quelli della Valle d'Aosta. In particolare, nello studio di Meusburger et al. (2012), l'erosività delle piogge è stata misurata sperimentalmente su determinate parcelle di territorio. Questi valori sono stati utilizzati in una regressione con i dati di precipitazione media annua misurata per lunghi periodi nelle località di indagine, selezionando i dati misurati in area endalpica Cantone Vallese) e sud delle Alpi (Canton Ticino e settore meridionale dei Grigioni), in zone quindi con regimi di precipitazione analoghi al range osservabile in Valle d'Aosta. Sono stati esclusi dal calcolo tutti i dati nelle Prealpi settentrionali, con clima oceanico, e quelli della Svizzera Orientale, più spiccatamente continentale. L'equazione utilizzata è stata quindi:

$$0.0005*(P^{2.0357})$$

dove P è la precipitazione media annua totale.

Moltiplicando tutti i fattori K, LS, C, R abbiamo quindi ottenuto la carta dell'erosione del suolo, con valori espressi in t/ha anno (fig. 3.5.3.2).

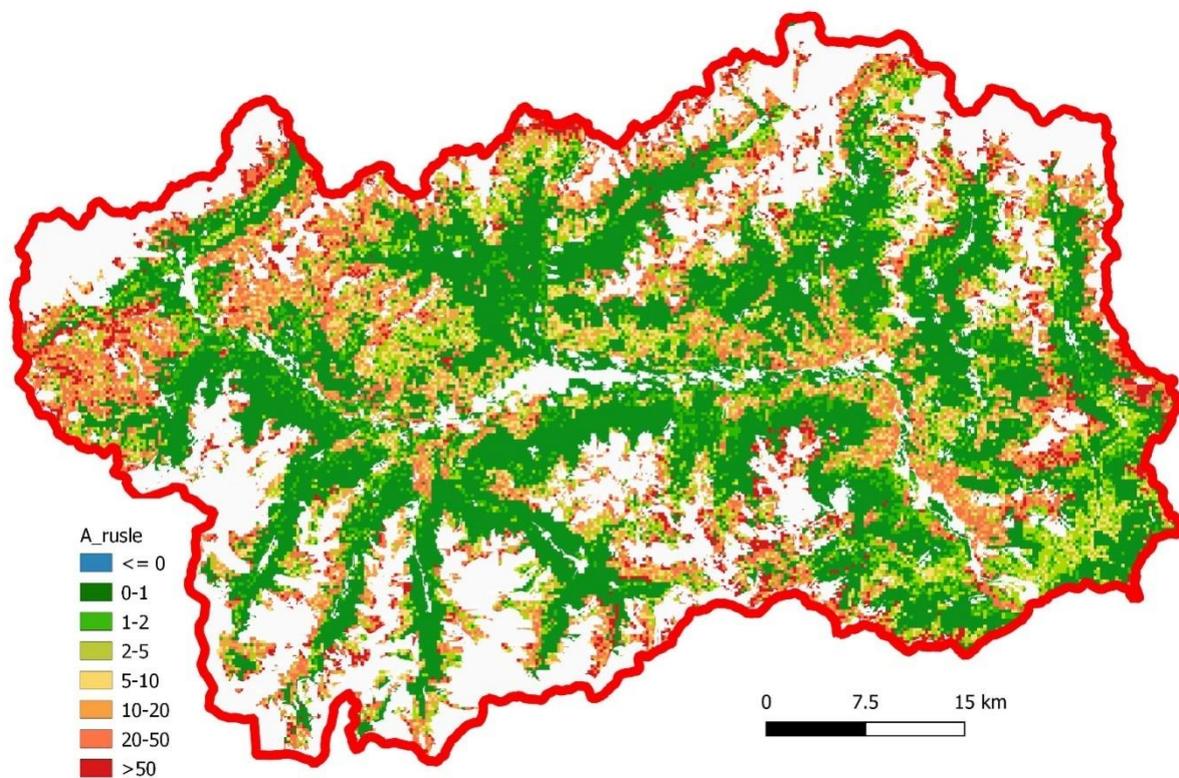


Fig. 3.5.3.1: carta dell'erosione media annua. I valori riportati sono espressi in $t \cdot ha^{-1} \cdot anno^{-1}$

È stato poi introdotto un fattore in grado di ridurre ulteriormente il tasso di erosione, l'humus (Pintaldi et al., 2018), considerando che gli orizzonti OF e, soprattutto, OH proteggono il suolo in modo molto efficace e non sono considerati normalmente durante il calcolo dell'erosione secondo il modello RUSLE.

I valori vanno da 0.5 per gli humus molto protettivi come i MOR (humus poco biologicamente attivi, con spessi orizzonti organici sulla superficie) a 0.9 per quelli poco protettivi ma con buona struttura negli orizzonti A (MULL, humus biologicamente attivi e con sottili orizzonti organici sulla superficie). I tassi di erosione così ottenuti sono in accordo con i tassi di formazione medi dei suoli in ambiente alpino (tra 8 e 20 t/ha anno, secondo Egli et al., 2014), e in accordo con il grado di sviluppo dei suoli della regione, spesso piuttosto avanzato dal punto di vista pedogenetico.

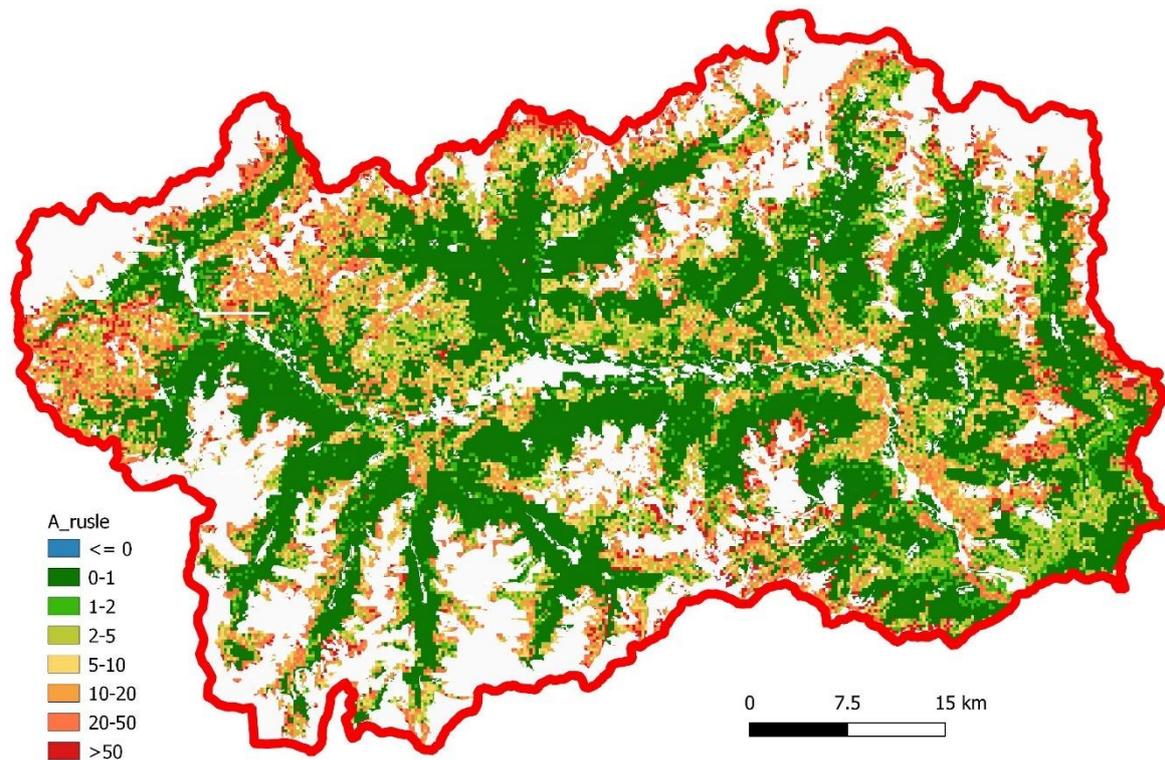


Fig. 3.5.3.2: carta dell'erosione media annua ($t \cdot ha^{-1} \text{ anno}^{-1}$) dopo aver incluso il fattore Humus nell'equazione.

In ambedue le carte, le zone caratterizzate da erosione maggiore sono ad alta quota (dove le comunità vegetali sono rade con abbondante suolo nudo), seguite dalle zone a bassa quota con latifoglie o, soprattutto, vegetazione xerofila o steppica. La vegetazione steppica, in particolare, ha una produttività bassa, ed è quindi associata a suoli piuttosto poveri in sostanza organica e poco strutturati, quindi più suscettibili (in accordo con il fattore K).

3.5.4 Carta della vulnerabilità del suolo rispetto a “shallow landslides”

La carta della vulnerabilità del suolo relativamente agli eventi di shallow landslides, colate di fango e colamenti è stata prodotta misurando la densità di eventi per km^2 , su ogni tipo di suolo (UC). Tali eventi sono quelli disponibili sul sito della regione (<http://catastodissesti.partout.it/#>), selezionati in base alla tipologia e considerando solo quelli che interessano il suolo (escludendo quindi le cadute massi, le frane di crollo, le esondazioni, e il ribaltamento di alberi). Come prevedibile, verificando l'importanza dei fattori strutturali, chimici e fisici dei suoli anche in questo ambito, i risultati a bassa quota sono simili a quelli dell'erodibilità. I suoli meno sviluppati e strutturati nella valle centrale, dove la produttività vegetale è inferiore a causa del clima endalpico poco piovoso, sono quelli più vulnerabili.

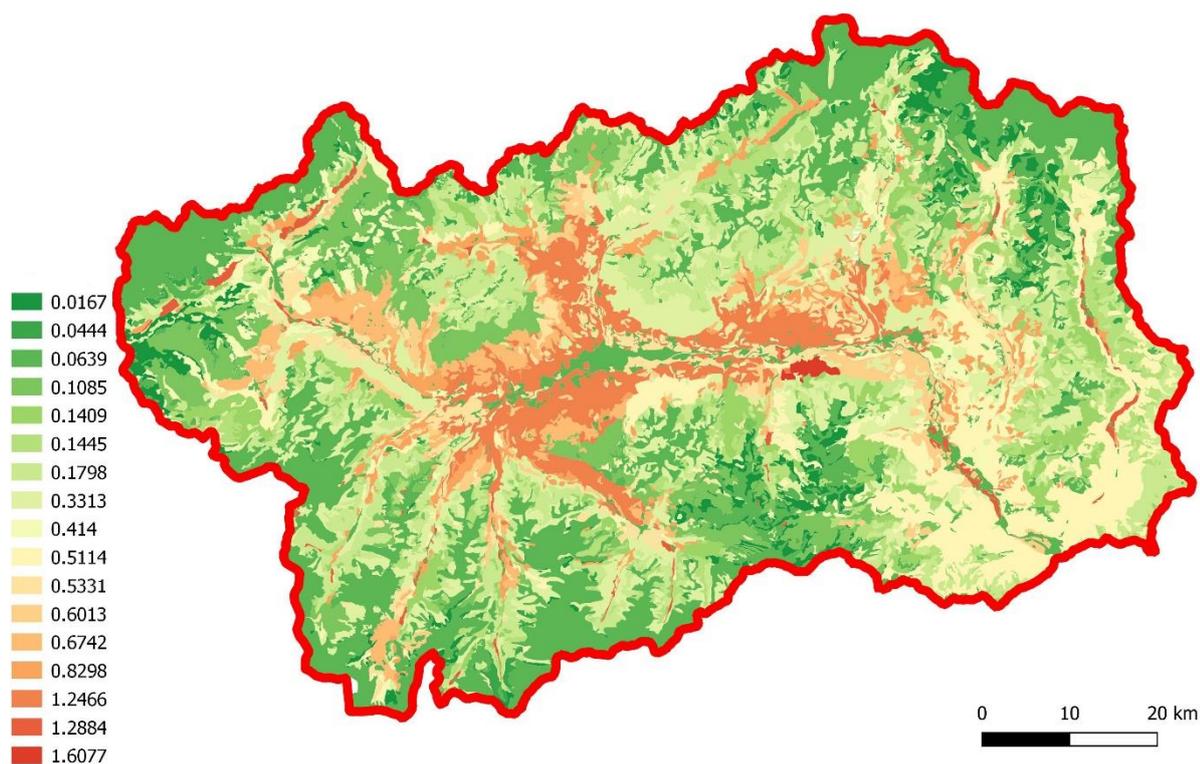


Fig. 3.5.4.1: carta della densità di fenomeni di erosione in massa nei suoli della Valle d'Aosta (n°/km^2).

3.5.5 Carta della Capacità d'Uso dei Suoli

La Carta della Capacità d'uso dei suoli (Land Capability Classification, LCC) è uno strumento che consente di valutare globalmente la qualità dei suoli, classificandoli in base alle diverse potenzialità produttive in ambito agro-silvo-pastorale. La classificazione tuttavia non si riferisce ad una specifica coltura, ma mira a dare una valutazione riferita al complesso delle colture praticabili su un determinato territorio sulla base delle caratteristiche chimico-fisiche del suolo (Costantini 2006). È importante sottolineare che la capacità d'uso non è determinata dalla media dei caratteri pedologici, bensì dal fattore considerato più limitante. Il metodo di classificazione utilizzato (Costantini 2006) prevede due livelli gerarchici costituiti da Classe e Sottoclasse. Complessivamente le Classi di capacità d'uso sono 8 (tab. 3.5.5.1), divisibili in due raggruppamenti principali: le classi da 1 a 4, che comprendono i suoli arabili adatti alla coltivazione e le classi da 6 a 8 che comprendono suoli non arabili in cui le limitazioni sono tali da non renderli adatti alla coltivazione. La classe 5 invece comprende suoli con forti limitazioni ma che, in determinati periodi, a fronte di condizioni temporaneamente favorevoli, possono essere destinati ad utilizzi agrari (IPLA 2010). Il secondo livello gerarchico comprende invece le Sottoclassi (tab. 3.5.5.2) nelle quali vengono definiti in dettaglio i fattori responsabili della limitazione. Per la realizzazione della carta sono stati selezionati, tra quelli disponibili, i parametri chimici, fisici, climatici e stagionali richiesti dalle tabelle mostrate in Costantini (2006). Ad ognuno di essi è stata assegnata una classe, dopodiché per ogni unità cartografica, la classe finale di capacità d'uso è stata attribuita sulla base del fattore considerato più limitante (tab. 3.5.5.3).

Tabella 3.5.5.1: classi della LCC (Costantini 2006, adattato)

Suoli arabili	Descrizione
Classe 1	Suoli senza o con poche limitazioni all'utilizzazione agricola. Non richiedono particolari pratiche di conservazione e consentono un'ampia scelta tra le colture diffuse nell'ambiente.
Classe 2	Suoli con moderate limitazioni, che riducono la scelta colturale o che richiedono alcune pratiche di conservazione, quali un'efficiente rete di affossature e di drenaggi.
Classe 3	Suoli con notevoli limitazioni, che riducono la scelta colturale o che richiedono un'accurata e continua manutenzione delle sistemazioni idrauliche agrarie e forestali.
Classe 4	Suoli con limitazioni molto forti all'utilizzazione agricola. Consentono solo una limitata possibilità di scelta.
Suoli non arabili	
Classe 5	Suoli che presentano limitazioni ineliminabili non dovute a fenomeni di erosione e che ne riducono il loro uso alla forestazione, alla produzione di foraggi, al pascolo o al mantenimento dell'ambiente naturale (ad esempio, suoli molto pietrosi, suoli delle aree golenali).
Classe 6	Suoli con limitazioni permanenti tali da restringere l'uso alla produzione forestale, al pascolo o alla produzione di foraggi.
Classe 7	Suoli che necessitano di pratiche di conservazione anche per l'uso forestale o per il pascolo.
Classe 8	Suoli inadatti a qualsiasi tipo di uso agricolo/forestale. Da destinare a riserve naturali o ad usi ricreativi, prevedendo interventi necessari a conservare il suolo e a favorire la vegetazione

Tabella 3.5.5.2: sottoclassi della LCC (Costantini 2006, adattato)

Sottoclasse di capacità d'uso	
S	Limitazioni dovute al suolo: profondità utile per le radici, tessitura, scheletro, pietrosità superficiale, rocciosità, fertilità chimica, salinità, drenaggio interno eccessivo.
W	Limitazioni dovute all'eccesso idrico: drenaggio interno, rischio di inondazione.
e	Limitazioni dovute al rischio di erosione e di ribaltamento delle macchine agricole: pendenza erosione idrica superficiale erosione di massa.
C	Limitazioni dovute al clima: interferenza climatica.

Tabella 3.5.5.3: matrice dei parametri selezionati e classificazione LCC per unità cartografica; UC: unità cartografica; TXT: tessitura; SK: scheletro; RP: rocciosità e pietrosità; K: vulnerabilità suoli (RUSLE).

UC	pH	CaCO ₃	TXT	Profondità	SK	RP	Clima	K	Classe LCC	Sottoclasse
1	4	1	1	3	3	4	6	5	6	c
2	3	1	1	3	2	6	6	2	6	c
3	4	1	1	3	2	6	6	1	6	c
4	3	1	1	3	1	4	7	5	7	c
5	2	1	1	3	2	4	3	3	4	s
6	1	1	1	4	2	4	3	3	4	s
7	1	1	1	4	3	4	3	5	5	e
8	1	1	1	3	2	4	3	5	5	e
9	3	1	1	3	3	6	6	1	6	s, c
10	2	1	1	3	2	4	2	3	4	s
11	2	1	1	3	2	4	3	5	5	e
12	3	1	1	3	2	6	3	2	6	s
13	2	1	1	3	4	6	3	3	6	s
14	1	1	1	3	4	8	7	2	8	s
15	1	1	1	3	1	4	3	4	4	s
16	1	1	1	7	3	8	6	1	8	s

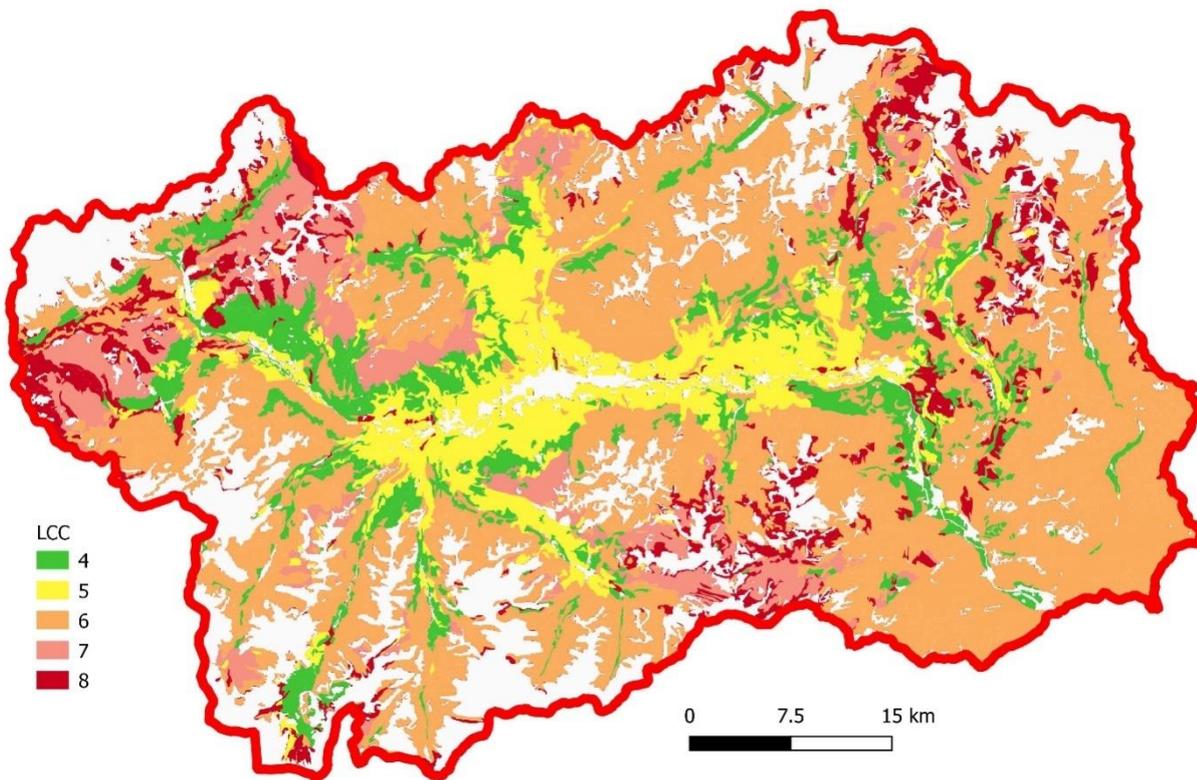


Fig. 3.5.5.1: carta LCC.

I risultati ottenuti indicano che i suoli migliori raggiungono al massimo la classe 4, mentre, in generale, la classe più diffusa è la 6. Le limitazioni principali, definite dalle Sottoclassi (tabella 3.5.5.2), riguardano soprattutto le caratteristiche del suolo tipiche degli ambienti di montagna, (in particolare la rocciosità e la pietrosità superficiali), le limitazioni legate al clima (ad es. Nelle UC presenti a quote elevate) e il rischio di erosione. In generale, i risultati hanno un valore indicativo, poiché la classificazione si riferisce a seminativi generici e non tiene conto del tipo di colture specifiche praticate in ambienti montani (ad es. vigneto, prato da sfalcio ecc.). Alla scala considerata, inoltre, anche eventuali opere di mitigazione della pendenza e, quindi, dell'erosione (terrazzamenti e miglioramenti fondiari, ad esempio) non possono essere cartografati. Inoltre, il metodo, per essere pienamente efficace, dovrebbe essere applicato ad una scala di dettaglio cartografico tale da percepire l'utilizzo anche delle piccole superfici, caratterizzate da un'elevata qualità dei suoli, ma che a causa dell'estensione ridotta non vengono considerate. Un esempio rappresentativo è quello riferito alle aree coltivate a vigneto, che, sebbene ricadano in UC 6,7 e 12, con LCC da 5 a 6 (suoli con limitazioni gravi che limitano i possibili usi all'utilizzo silvo-pastorale, tab. 3.5.5.3), offrono produzioni di elevata qualità. Una classificazione della Land Suitability per i vigneti in Valle d'Aosta è stata prodotta in passato (Stanchi et al. 2013), e mostra come i fattori principali che limitano la viticoltura sono soprattutto morfologici (le pendenze non devono essere superiori a 35°, e climatici (tendenzialmente le quote devono essere inferiori a 950 m e le esposizioni non settentrionali). I terrazzamenti sono senza dubbio un sistema utile per aumentare la superficie a vigneto anche nelle posizioni più difficili (Stanchi et al. 2012).

Altro esempio di come la LCC non sia in grado di cogliere appieno la capacità d'uso dei suoli di alta montagna è quello dei pascoli di alta quota (ad es. UC 9 o 4, tab. 3.4.1), i quali, sebbene presentino LCC di 6, producono foraggi in scarsa quantità, ma di altissima qualità, idonei alla produzione dei rinomati prodotti caseari della Valle.

4 Tipi di suolo (schede)

4.1 UC 1

4.1.1 UTS 1a: Albic Podzol (Skeletal)

Descrizione generale e processo pedogenetico prevalente

Gli Albic Podzols sono un'UTS molto comune che si trova sotto vegetazione subalpina o, localmente, sotto prateria alpina, soprattutto su materiali morenici o rocce acide, ma anche su rocce mafiche e serpentinitiche. Il processo che lo forma si chiama "podzolizzazione", ed è identificato da una forte eluviazione di metalli associati a sostanza organica solubile verso orizzonti profondi, che crea così orizzonti minerali di superficie poveri in nutrienti e sostanza organica, contrapposti ad orizzonti illuviali profondi con accumulo di metalli e/o complessi organo-minerali.

Morfologicamente, questo suolo è uno tra i più facilmente riconoscibili, caratterizzato da una sequenza di orizzonti dal colore spiccatamente diverso (fig. 4.1.1.1,2):

- OL-OF-OH: orizzonti organici a livello crescente di alterazione, tendente al nero nell'OH; in particolare, OL corrisponde alla lettiera fresca o poco alterata, OF corrisponde a una lettiera frammentata da artropodi e/o funghi, OH corrisponde alla lettiera humificata, dove le fibre e i materiali organici di partenza non sono più riconoscibili.
- A (presente solo in alcuni profili); se presente, presenta un colore scuro e una struttura grumosa molto fine o massiva, ad evidenziare una debole attività da parte della pedofauna.
- AE (EA): orizzonte intermedio tra un vero A ed un vero E, spesso dall'aspetto "sale e pepe", con giustapposizione tra particelle minerali pulite e piccoli aggregati organici.
- E: orizzonte eluviale, impoverito, biancastro o grigio; normalmente presenta una struttura laminare o è sciolto e destrutturato. È l'orizzonte più impoverito in nutrienti, sostanza organica, Fe, Al e metalli pesanti, traslocati in profondità dal processo della podzolizzazione.
- Bhs: orizzonte di accumulo illuviale di metalli e sostanza organica, caratterizzato da un colore bruno più o meno scuro.
- Bs: orizzonte di accumulo illuviale di Fe ed Al e un quantitativo minore di sostanza organica rispetto al Bhs, e quindi caratterizzato da un colore bruno più intenso e meno scuro.
- BC: normalmente giallastro, che tende al grigio del materiale parentale inalterato sottostante (orizzonte C)
- C: materiale parentale inalterato, normalmente grigiastro e poco strutturato, sciolto.

A causa della povertà degli orizzonti superficiali AE ed E, impoveriti in Fe e nutrienti, le radici spesso sono maggiormente concentrate in profondità, negli orizzonti Bhs e Bs di accumulo illuviale.

Tipo di humus

Gli Albic Podzols presentano la più alta possibilità di osservare un humus di tipo MOR, la tipologia di humus meno biologicamente attiva e caratterizzata dalla presenza di spessi orizzonti OL, OF e OH ma privi di un orizzonte A, sostituito da un E, in cui i processi di decomposizione avvengono soprattutto grazie all'attività fungina. Scarsi artropodi possono essere attivi nella lettiera. Il prodotto finale della decomposizione fungina della sostanza organica prodotta da conifere ed ericacee subalpine sono gli acidi organici solubili e gli acidi fulvici, in grado di alterare profondamente il materiale litologico di partenza e di chelare metalli e nutrienti,

trasportandoli in profondità. Gli humus di questo tipo si riconoscono dall'assenza dell'orizzonte A sotto a un OF o un OH; talvolta, un orizzonte AE può essere presente.

Quando è presente un orizzonte A, l'humus è di tipo Moder (Dysmoder o Humimoder sono le tipologie più comuni).

Uso del suolo

E' assolutamente caratteristico sotto foresta di larice (*Larix decidua*), pino cembro (*Pinus cembra*) o pino uncinato (*Pinus uncinata*) e sottobosco a rododendro, il quale sembra essere un fattore determinante per la formazione di questa UTS. L'uso agricolo e pastorale di questo tipo di suolo è limitato dall'elevata acidità e dalla carenza di nutrienti negli orizzonti minerali di superficie.

Suoli associati

In zone erose, negli impluvi o su pendenze particolarmente elevate frequentemente si osservano suoli meno evoluti, come gli Entic Podzols (UTS 2), i Dystric Skeletic Regosol (UTS 13) o, talvolta, gli Umbrisols (UTS 9), soprattutto in zone a prato. In zone particolarmente stabili e indisturbate, alcuni orizzonti Bhs o Bs sono cementati (UTS 1b).

Servizi ecosistemici e vulnerabilità

Elevata acidità e scarso contenuto e disponibilità di nutrienti (fosforo, potassio, calcio, magnesio) fanno sì che questi suoli siano adatti alla crescita della vegetazione naturale, soprattutto foreste ed arbusteto subalpini. Il processo tende ad impoverire i suoli con il passare del tempo, così che non è inusuale vedere foreste con alberi di piccole dimensioni sui pianori, dove il processo è più espresso, e alberi molto più alti sui versanti liberi, dove i movimenti laterali dell'acqua riducono la perdita di nutrienti.

Per quanto riguarda i servizi ecosistemici, i principali forniti da questi suoli sono: produzione di biomassa forestale, ritenzione idrica, controllo dell'erosione superficiale, filtrazione e purificazione delle acque, controllo del ciclo di carbonio, controllo del ciclo di nutrienti, habitat e biodiversità, attività ricreative.

Da un punto di vista della vulnerabilità all'erosione, questi suoli richiedono un tempo piuttosto lungo per formarsi (sopra i 500 anni); la presenza di un orizzonte E, quindi, identifica ambienti caratterizzati da un tasso di erosione bassissimo, grazie alla copertura vegetale e agli spessi orizzonti organici. Lo stesso orizzonte E, comunque, è sabbioso, scarsamente strutturato e molto vulnerabile ai processi erosivi, se privato della copertura organica e vegetale. E' quindi necessario considerare la conservazione della lettiera (orizzonti O) e dello strato basso arbustivo durante le operazioni forestali e la realizzazione di cantieri per specifiche attività.

Caratteristiche chimico-fisiche (principali):

Tabella 1: caratteristiche chimico-fisiche UTS 1a

	pH	Corg %	C/N	S %	L %	A %	SK %	Feo %	Alo %
AE	4.4	3.69	15	59.1	31.9	6.2	17	-	-
E	4.6	1.66	21	61.8	29.9	6.9	25	0.17	0.09
Bhs	4.9	1.68	23	75.0	16.0	3.5	40	0.60	0.36

Legenda tabelle: S - sabbia, L - limo, A - argilla, SK - scheletro, Feo - ferro estraibile in ossalato, Alo - alluminio estraibile in ossalato.

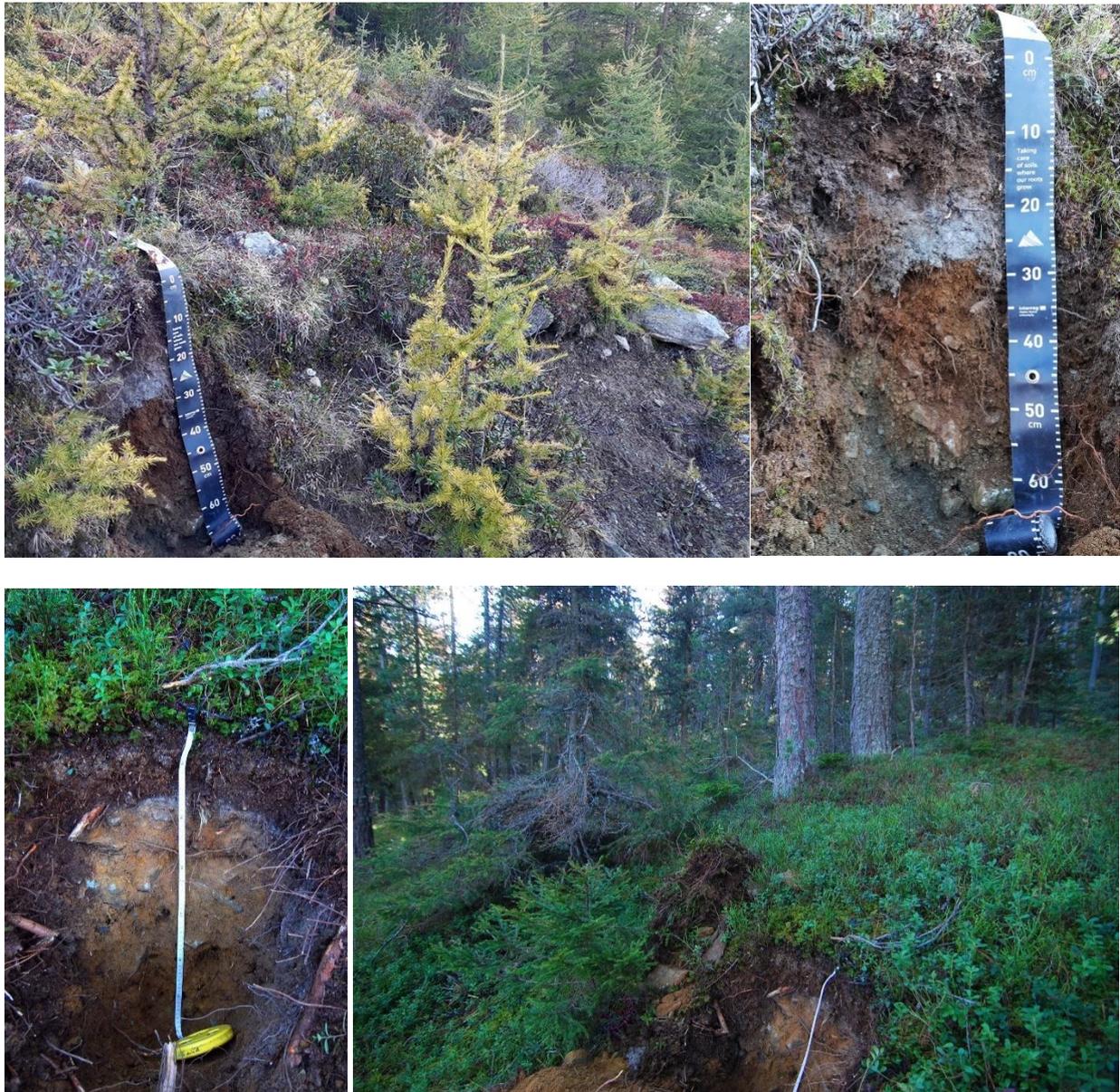


Fig. 4.1.1.1: Skeletic Albic Podzols (vda18 P51) sotto foresta subalpina superiore su metabasite (prasinite) presso Cheneil (Valtournenche), e presso Extrepierraz (Brusson) su metabasite (RISK P29).

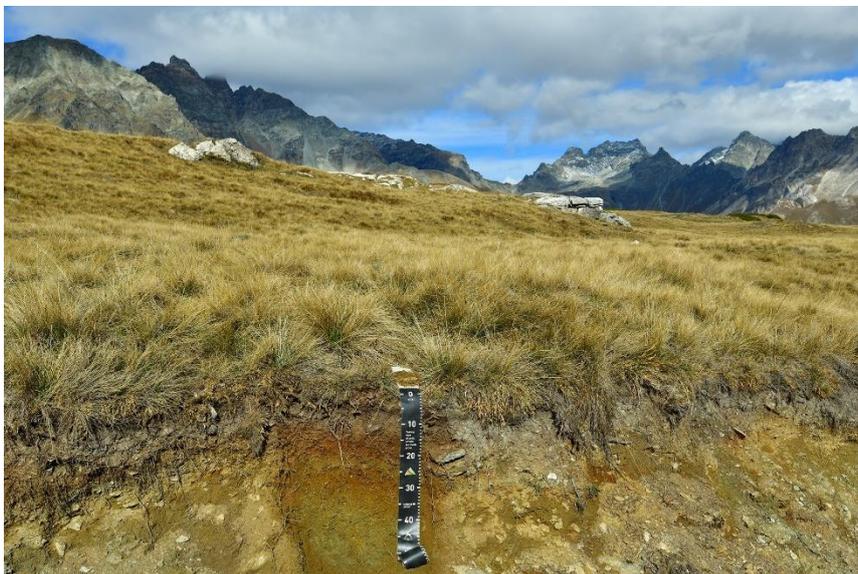


Fig. 4.1.1.5,6,7: Esempi di Albic Podzols: nel Parco Naturale del Mont Avic (MTA P65, Skeletic Gleyic Albic Podzol), su serpentinite sotto foresta umida di Pinus uncinata, e sotto curvuleto nella Valle di San Barthelemy (vda18 P62, Skeletic Albic Podzol).

4.1.2 UTS 1b: Albic Ortsteinic Podzol (Skeletal)

Descrizione generale e processo pedogenetico prevalente

Gli Albic Ortsteinic Podzols sono un tipo di suolo presente sotto vegetazione subalpina ma difficilmente cartografabile, soprattutto su materiali morenici o rocce acide, ma anche su rocce mafiche e serpentinite (solo nei climi più umidi della Valle di Champorcher). Il processo pedogenetico prevalente è sempre la "podzolizzazione" tuttavia questo suolo rappresenta la versione più evoluta del tipo 1a, in cui alcuni orizzonti Bs o Bhs (o BC) risultano cementati dagli ossidi ed idrossidi di Fe ed Al illuviali, diventando quindi orizzonti Bsm, Bhsm, o BCsm. L'ambiente di formazione di questi suoli necessita quindi di un'elevata stabilità nel corso dei millenni, e tassi di erosione praticamente nulli.

Tipo di humus

Come nell'UTS 1a, le tipologie MOR hanno però una frequenza maggiore (sez. 4.1.1).

Uso del suolo

Come per UTS 1a è tipico sotto foresta di larice (*Larix decidua*), pino cembro (*Pinus cembra*) o pino uncinato (*Pinus uncinata*) e sottobosco a rododendro. L'uso prevalente è quello forestale o pastorale a bassa intensità di pascolo.

Suoli associati

Si veda UTS 1a (sez. 4.1.1).

Servizi ecosistemici e vulnerabilità

Come per il suolo 1a, le specifiche condizioni pedoambientali consentono la crescita della sola vegetazione spontanea. I servizi ecosistemici forniti sono pressoché i medesimi dell'UTS 1, tuttavia si sottolinea come la presenza di orizzonti cementati possa localmente ridurre alcuni servizi, quali ad esempio la ritenzione e la filtrazione idrica, in virtù di una minore capacità di infiltrazione dell'acqua. Anche la profondità disponibile per le radici viene spesso ridotta.

La vulnerabilità è simile a quella dell'UTS 1a, ma gli orizzonti profondi cementati rendono questo tipo di suolo più resistente a fenomeni di liquefazione e soliflusso.

Caratteristiche chimico-fisiche (principali):

	pH	Corg %	C/N	S %	L %	A %	SK %	Feo %	Alo %
AE	4.7	2.86	24	64.2	26.0	6.3	30	-	-
E	4.2	1.41	23	65.0	28.0	2.0	20	0.37	0.17
Bsm	4.9	1.79	25	85.5	9.5	1.0	60	0.75	0.56

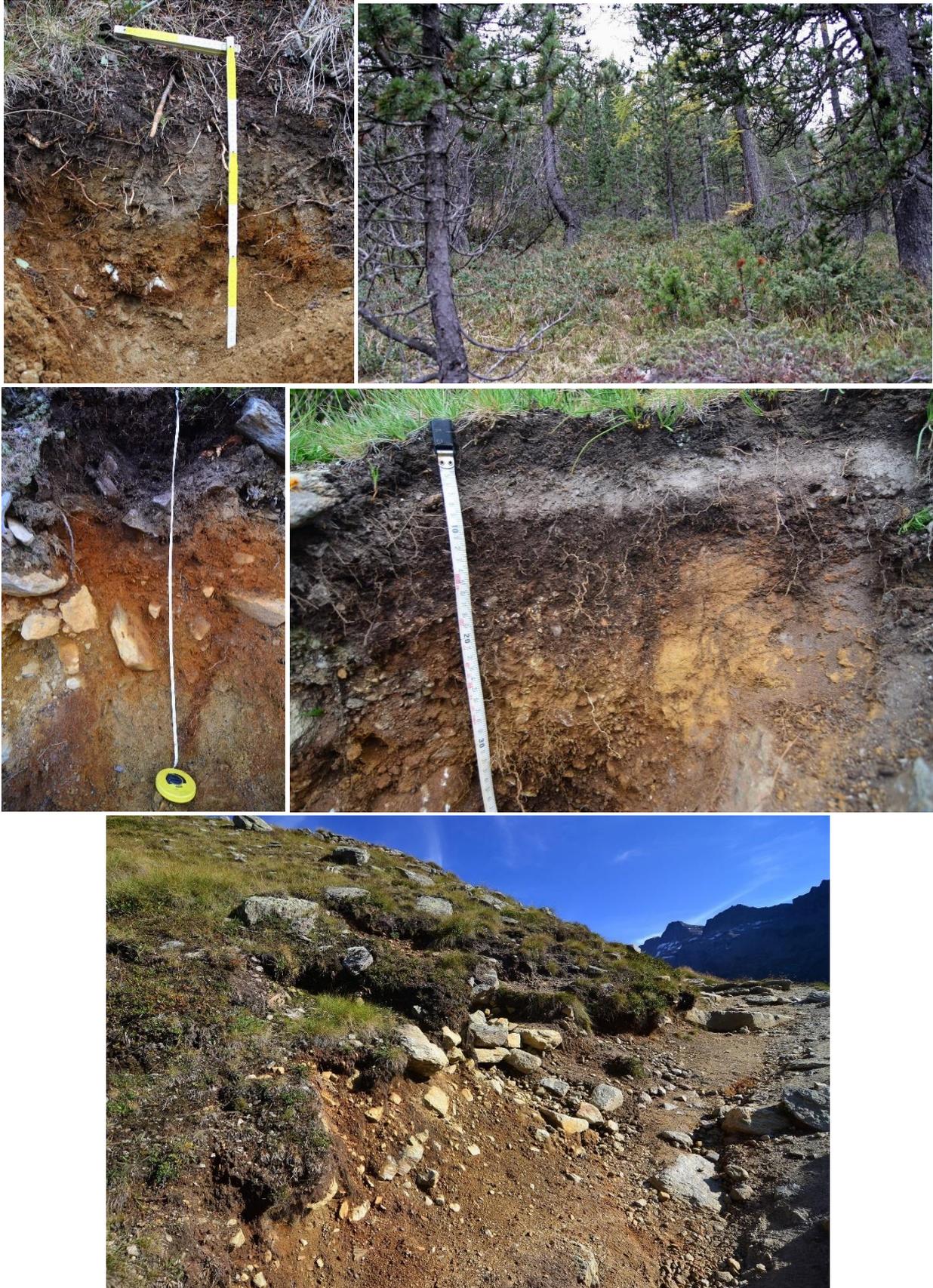


Fig. 4.1.2.1, 2, 3, 4, 5: Esempi di Albic Ortsteinic Podzols: nel Parco Naturale del Mont Avic, su serpentinite sotto foresta di Pinus uncinata (a destra), a Staffal e in Valgrisenche su gneiss, e una zona erosa, dove l'orizzonte E sciolto scivola sul Bsm cementato, in Valsavarenche, lungo il sentiero verso il Rifugio Vittorio Emanuele.

4.2 UC 2

4.2.1 UTS 2a: Entic Podzol (Skeletal)

Descrizione generale e processo pedogenetico prevalente

Gli Entic Podzols sono un tipo di suolo molto comune sotto vegetazione subalpina o prateria alpina, soprattutto su materiali morenici o rocce acide, ma anche su rocce mafiche e serpentinite. E' assolutamente caratteristico sotto arbusteto subalpino superiore dominato da *Vaccinium ssp.*.

Il processo pedogenetico dominante è sempre la "podzolizzazione", tuttavia, rispetto ai tipi di suolo dell'UC 1, non presenta un orizzonte minerale eluviale di superficie E sbiancato o grigio. Un orizzonte E è possibile talvolta, ma sottile e poco sviluppato. L'assenza o il ridotto sviluppo dell'orizzonte E, sono talvolta attribuibili a locali fenomeni di erosione superficiale, soprattutto su versanti acclivi. La sequenza caratteristica di orizzonti è OL-OF-OH (rispettivamente orizzonti organici freschi, lettiera, frammentati e humificati), AE, Bhs, Bs.

L'orizzonte AE o A sono scuri, più o meno grigiastri, dotati di un'aggregazione molto fine debole a causa della bassa attività biologica; i granuli di sabbia sono puliti, e associati a particelle minerali, senza integrazione tra le due frazioni. Il contenuto in carbonio organico è molto elevato. Talvolta, sotto prateria antropogenica, l'orizzonte A può avere una struttura biogenica meglio espressa (grumosa media).

Al di sotto vi è sempre un orizzonte Bhs o Bs bruno scuro o rossastro scuro, caratterizzato da accumulo di Fe, Al e sostanza organica proveniente dall'alterazione del materiale nell'orizzonte AE.

Tipo di humus

La debole strutturazione degli orizzonti A o AE, molto fine e con scarsa presenza di artropodi e vermi, associata alla presenza di sottili orizzonti organici OL (lettiera, residui morti intatti delle specie erbacee), OF (residui frammentati) e OH (humificati, dove le fibre vegetali di partenza non sono più riconoscibili) determina comunemente l'attribuzione al tipo di humus HEMIMODER, DYSMODER o HUMIMODER (Zanella et al., 2011). Sono tipologie di humus biologicamente poco attive, con scarsa presenza di artropodi e assenza di anellidi. La sostanza organica quindi si accumula a causa di una parziale e lenta degradazione del materiale radicale, ma rimane separata dalla matrice minerale sabbiosa, assumendo un aspetto "sale e pepe". La scarsa attività biologica dipende dal clima alpino rigido, dalla tessitura sabbiosa e dalla forte acidificazione.

Uso del suolo

Suolo caratteristico di arbusteto subalpino superiore dominato da *Vaccinium ssp.*, ma talvolta frequente anche su pendenze elevate in zone dominate UC 1, o in settori in cui praterie antropogeniche sostituiscono la vegetazione subalpina naturale. L'uso agricolo resta comunque sfavorito da carenza di nutrienti ed elevata acidità, anche se la presenza dell'orizzonte A al posto dell'E evidenzia un miglior stato di fertilità in confronto ai suoli dell'UC 1.

Servizi ecosistemici e vulnerabilità

I servizi ecosistemici forniti, sono paragonabili ai suoli dell'UC 1, tuttavia essendo suoli maggiormente diffusi su superfici acclivi e a quote superiori, alcuni servizi sono meno espressi (ad es. la produzione di biomassa forestale) mentre altri sono predominanti, quali ad es. la ritenzione idrica, il controllo dell'erosione idrica superficiale, il controllo del ciclo del carbonio, habitat e biodiversità e le attività ricreative.

Gli orizzonti minerali superficiali, di tipo A, più ricchi in sostanza organica, rendono questi suoli meno suscettibili all'erosione rispetto all'UC 1. La forte acidificazione e il processo di podzolizzazione rendono comunque questi suoli poveri ed adatti soprattutto alla vegetazione naturale.

Suoli associati

In zone stabili, con arbusteto più fitto, ci possono spesso essere suoli di tipo 1, dotati di orizzonti E, mentre negli impluvi o su pendenze particolarmente elevate frequentemente si osservano suoli meno evoluti, come i Dystric Skeletic Regosol (UTS 13) o, talvolta, gli Umbrisols (UTS 9), soprattutto in zone a prato. In zone particolarmente stabili e indisturbate, alcuni orizzonti Bhs o Bs sono cementati (UTS 2b).

Caratteristiche chimico-fisiche (principali):

	pH	Corg %	C/N	S %	L %	A %	SK %	Feo %	Alo %
AE	4.6	3.14	15	68.0	26.1	5.0	15	0.37	0.17
Bhs	4.8	1.57	16	77.2	20.5	4.3	50	0.56	0.36

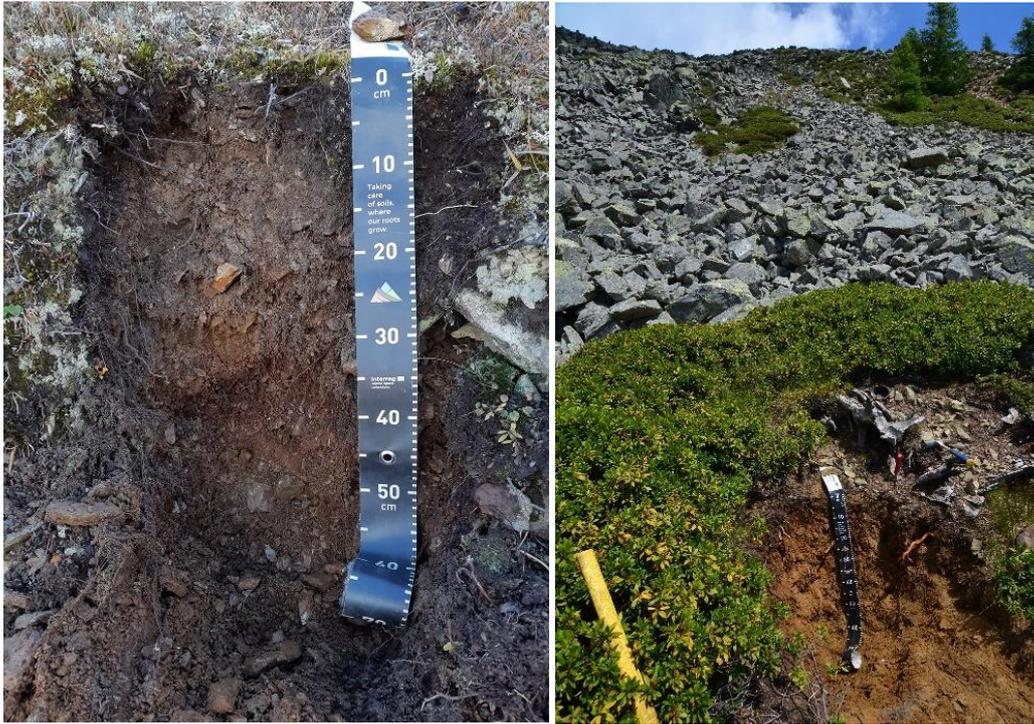


Fig. 4.2.1.1, 2: Entic Podzol su detrito di gneiss sotto arbusteto subalpino superiore nella Valle di San Barthelemy (vda18 P63).



Fig. 4.2.1.3, 4: Skeletic Entic Podzol sotto pecceta montana con sottobosco a *Vaccinium ssp.*, presso Saint Marcel (vda18 P4).

4.2.2 UTS 2b: Entic Ortsteinic Podzol (Skeletal)

Descrizione generale e processo pedogenetico prevalente

Gli Entic Ortsteinic Podzols sono un'UTS diffusa ma non caratterizzabile in modo univoco dal punto di vista dei fattori di formazione e, quindi, difficilmente cartografabile. Il processo pedogenetico dominante è la "podzolizzazione", tuttavia come per il suolo 2a, l'orizzonte eluviale E è assente o poco sviluppato. In genere è ubicato su materiali morenici o rocce silicee, nel piano subalpino superiore o alpino. Dal punto di vista morfologico la sequenza degli orizzonti è paragonabile a quella del tipo 2a, tuttavia esso ne rappresenta la versione più evoluta, in cui alcuni orizzonti Bs o Bhs (o BC) risultano cementati dagli ossidi ed idrossidi di ferro ed alluminio illuviali, diventando quindi orizzonti Bsm, Bhsm, o BCsm. Spesso questi suoli sono localizzati sotto vegetazione erbacea o pascolo, tale aspetto può essere determinante per spiegare l'assenza dell'orizzonte E, poiché eroso e sostituito da un orizzonte A.

Tipo di humus

Come in UTS 2a. (sez. 4.2.1)

Uso del suolo

Suolo presente sotto vaccinieto subalpino superiore su superficie stabili, ma spesso osservato anche sotto pascolo, in cui evidenzia un probabile cambio della vegetazione (da foresta/arbusteto a vegetazione erbacea) nel passato.

Servizi ecosistemici e vulnerabilità

Dal punto di vista dei servizi ecosistemici principali, questi suoli contribuiscono prevalentemente alla ritenzione idrica, al controllo dell'erosione idrica superficiale, al supporto degli habitat, della biodiversità e delle attività ricreative. La produzione di biomassa invece è limitata al sostentamento dei pascoli estensivi o bradi.

La copertura del suolo, solitamente caratterizzata da un cotico erboso più o meno denso, limita la vulnerabilità di questi suoli; tuttavia, una pressione eccessiva di pascolo o altre attività annesse possono danneggiare la superficie e la copertura erbacea aumentando sensibilmente il rischio di erosione questi suoli.

Caratteristiche chimico-fisiche (principali):

	pH	Corg %	C/N	S %	L %	A %	SK %	Feo %	Alo %
AE	4.6	3.14	14.9	68.0	26.1	5.0	15	0.37	0.17
Bsm	5.4	0.75	15.9	80.2	18.5	4.7	60	0.73	0.52



Fig. 4.2.2.1, 2: Skeletic Entic Ortsteinic Podzols in Val Veny (vda18 P24) e presso il Lago di Cignana in Valtournenche (vda18 P56).

4.3 UC 3

4.3.1 UTS3: Entic Umbric Podzol (Skeletal)

Descrizione generale e processo pedogenetico prevalente

Gli Entic Umbric Podzols sono un'UTS molto comune sotto praterie e arbusteti con presenza di *Vaccinium* ssp., tipicamente al piano alpino inferiore e subalpino superiore, su pendenze elevate, soprattutto su materiali morenici o rocce acide, ma anche su rocce mafiche e serpentinite. Il processo pedogenetico dominante è sempre la "podzolizzazione", inoltre la sequenza di orizzonti è simile a quella dell'UC 2 (assenza di orizzonte E), dalla quale però si differenzia marcatamente per la presenza di un orizzonte A o AE Umbrico ben sviluppato, spesso, molto scuro, acido e con una buona dotazione di carbonio organico. La formazione di tale orizzonte è da imputare principalmente al fatto che, sebbene la produttività vegetale sia paragonabile a quella dell'unità precedente, le temperature più basse dovute alla quota e la pressione di pascolo ridotta, favoriscono un maggiore accumulo di carbonio. La sequenza caratteristica di orizzonti è OL-OF-OH (rispettivamente orizzonti organici freschi, lettiera, frammentati e humificati), AE, Bhs, Bs.

L'orizzonte AE è scuro, più o meno grigiastro, dotato di una aggregazione molto fine debole a causa della bassa attività biologica; i granuli di sabbia sono puliti, e poco associati alle particelle minerali, senza integrazione tra le due frazioni. Il contenuto in carbonio organico è molto elevato.

Al di sotto vi è sempre un orizzonte Bhs o Bs bruno scuro o rossastro scuro, caratterizzato da accumulo di ferro, alluminio e sostanza organica proveniente dall'alterazione del materiale nell'orizzonte AE.

Tipo di humus

Come nei suoli di tipo 2 (sez. 4.2).

Uso del suolo

Suolo caratteristico di ambienti di prateria alpina a *Festuca varia* aggr. associata a *Vaccinium* ssp., o *Carex curvula*; la pressione del pascolo è scarsa a causa dell'elevata pendenza.

Servizi ecosistemici e vulnerabilità

Sebbene non rilevanti dal punto di vista produttivo, questi suoli forniscono diversi servizi ecosistemici di grande importanza, tra cui in particolare il controllo del ciclo del carbonio, la ritenzione idrica, il controllo dell'erosione idrica superficiale, la filtrazione e purificazione dell'acqua e le attività ricreative (grafico 5).

La presenza della copertura erbacea, unitamente agli orizzonti A/AE ben sviluppati e ricchi in sostanza organica, rende questi suoli non particolarmente suscettibili all'erosione, nonostante la locale elevata acclività. Tuttavia, il danneggiamento dei cotici erbosi, legato ad es. alla manutenzione delle strutture turistiche, potrebbe causare un sensibile aumento della suscettibilità ai fenomeni erosivi.

Suoli associati

Vista la pendenza e la quota elevate e l'elevata rocciosità di questa unità cartografica, i fenomeni erosivi sono piuttosto diffusi e portano ad avere frequentemente suoli meno sviluppati, come i Dystric Skeletic Regosol (UTS 13) o, talvolta, gli Umbrisols (UTS 9).

Caratteristiche chimico-fisiche (principali):

	pH	Corg %	C/N	S %	L %	A %	SK %	Feo %	Alo %
AE	4.3	4.40	14.8	70.4	14.7	2.0	5	0.37	0.21
Bhs	4.9	2.66	15.2	73.3	23.0	3.2	45	0.60	0.46



Fig. 4.3.1.1: Leptic Umbric Podzols su ripidi versanti nel gruppo del Monte Bianco, rispettivamente presso il Rifugio Monzino in Val Veny (sullo sfondo si vede l'Aiguille Noire de Peuterey, vda18 P18) e lungo il sentiero attrezzato verso il Rifugio Dalmazzi in Val Ferret (vda18 P35).

4.4 UC 4

4.4.1 UTS 4:Dystric Cambisol (Arenic, Protosodic)

Descrizione generale e processo pedogenetico prevalente

Suolo diffusissimo su calcescisto sotto prateria alpina, tendenzialmente su pendenze inferiori ai 20-30°, dove i processi erosivi, non particolarmente intensi, consentono la formazione di un suolo discretamente evoluto. Dal punto di vista morfologico, il suolo è tipicamente caratterizzato da un orizzonte superficiale di tipo AE, nero più o meno grigiastro, dotato di un' aggregazione molto fine e piuttosto debole, a causa della tessitura prevalentemente sabbiosa e della bassa attività biologica dovuta alla quota elevata ed alle basse temperature. Al di sotto vi è sempre un orizzonte Bw o BC rossastro o bruno intenso, debolmente strutturato e dalla consistenza quasi sciolta a causa dell'abbondanza di mica. A volte, l'orizzonte A appare più scuro che altrove, in genere a causa di un localizzato maggior contenuto di carbonio organico.

La sequenza di colori degli orizzonti, i bassi pH e la debole o moderata redistribuzione del ferro (che arricchisce e colora l'orizzonte B o BC, fig. 4.4.1.1) evidenziano una forte acidificazione e lisciviazione, talvolta associabile a un processo di debole podzolizzazione (si veda la tipologia di suolo 3 per una spiegazione dettagliata del processo). In particolare, occorre considerare che, per arrivare ad avere pH fortemente acidi su materiali parentali ricchi in carbonato di calcio, occorre la dissoluzione completa del carbonato di calcio presente in origine, che tiene insieme i cristalli di mica. Si viene così a formare un materiale sabbioso e poco coerente, molto permeabile, in cui la maggiore percolazione dell'acqua determina l'asportazione di gran parte del calcio e magnesio, abbassando il pH del suolo. Tale processo si verifica grazie al clima di alta quota, dove l'evapotraspirazione è normalmente inferiore alle precipitazioni e dove la spessa copertura nevosa fornisce abbondante acqua di fusione al disgelo.

Nel settore della regione ad ovest di Aosta, dove questi suoli sono a diretto contatto altitudinale con suoli caratterizzati da accumulo di carbonato di calcio secondario, come i Kastanozems o i Calcisols (UC 6 e 7), è possibile osservare sequenze di orizzonti assolutamente inusuali a scala globale. Il profilo vda18-P27 (fig. 4.4.1.2), in particolare, presenta la tipica sequenza di orizzonti A-E-Bw(s)-CB del suolo 4 normale, ma sotto ai 60-70 cm circa, vi è un orizzonte CBk, con accumulo di carbonati secondari in forma di concrezioni intorno alle pietre ed efflorescenze nei pori. Il pH sale da 4.5 nell'orizzonte AE a 8.4 nel CBk. La podzolizzazione (evidenziata da una debole redistribuzione di ferro ed alluminio da E a Bw, processo caratteristico di ambienti boreali umidi) e la carbonatazione (processo di accumulo di carbonato di calcio pedogenetico, tipico di ambienti aridi di steppa e savana) coesistono in questo profilo.

Tipo di humus

La debole strutturazione degli orizzonti A o AE, molto fine e con scarsa presenza di artropodi e vermi, associata alla presenza di sottili orizzonti organici OL (lettiera, residui morti intatti delle specie erbacee), OF (residui frammentati) e OH (humificati, dove le fibre vegetali di partenza non sono più riconoscibili) determina comunemente l'attribuzione al tipo di humus HEMIMODER o, più raramente, HEMIMOR (tipologia di humus MOR, ma con orizzonti O più sottili del normale, Zanella et al., 2011). Sono ambedue tipologie di humus biologicamente poco attive, con scarsa presenza di artropodi e assenti anellidi. La sostanza organica quindi si accumula a causa di una parziale e lenta degradazione del materiale radicale, ma rimane separata dalla matrice minerale sabbiosa, assumendo un aspetto "sale e pepe". La scarsa attività biologica dipende dal clima alpino rigido, dalla tessitura sabbiosa e dalla forte acidificazione.

Uso del suolo

Suolo caratteristico di ambienti di prateria alpina dominata da *Carex curvula* o *Carex curvula* subsp. *Rosae*, talvolta con pascolo brado e solo localmente intenso.

Suoli associati

Nell'UC 4, oltre all'UTS 4 è facile trovare suoli meno evoluti come quelli appartenenti alle UC 13 (Regosols) o 16 (Leptosols, tab. 3.4.1), soprattutto dove le pendenze sono particolarmente elevate, o suoli crioturbati di tipo UC 14 dove l'esposizione ai venti invernali riduce lo spessore del manto nevoso favorendo la crioturbazione, movimenti all'interno del suolo causati dall'espansione volumetrica associata al congelamento dell'acqua. Inoltre, è possibile anche avere piccole zone con suolo UTS 20 (non cartografato, suoli di valletta nivale).

Servizi ecosistemici e vulnerabilità

La copertura del suolo è tipicamente discontinua, ma la presenza di orizzonti organici frammentati e humificati (OF ed OH) limita la vulnerabilità di questi suoli. Una pressione eccessiva di pascolo o altre attività che possono danneggiare la superficie e la copertura erbacea mettono fortemente a rischio di erosione questi suoli, la cui struttura e tessitura sono favorevoli all'instaurarsi di processi erosivi, se non adeguatamente protetti. Dal punto di vista dei servizi ecosistemici principali, questi suoli, situati solitamente a quote piuttosto elevate, sono rilevanti soprattutto per la ritenzione idrica e il controllo dell'erosione. Sebbene poco produttivi in termini di biomasse (pascoli estensivi), essi svolgono comunque un ruolo rilevante anche nel controllo del ciclo del carbonio e nelle attività ricreative (grafico 6).

Caratteristiche chimico-fisiche (principali):

	pH	Corg %	C/N	S %	L %	A %	TXT	SK
AE	4.9	2.51	0.00	74.1	21.4	4.5	FS	3.5
Bw	5.5	0.95	9.52	73.2	23.5	3.3	FS	20.0



*Fig. 4.4.1.1, 2: Suoli alpini su calcescisto sotto prateria a *Carex curvula*, rispettivamente sulla Tête Entre Deux Sauts in Val Ferret (vda18 P32) e nell'alto Vallone delle Cime Bianche (Val d'Ayas, RISK P60). Si può osservare il diverso grado di sviluppo dei diversi orizzonti nei 2 profili, con un orizzonte AE molto più sbiancato nel primo caso e un orizzonte Bw molto più spesso ed arrossato nel secondo, dovuto a differenze microclimatiche e/o a differenti processi di erosione e deposizione.*



Fig. 4.4.1.3, 4: Profilo Vda18 P27, nel Vallone dell'Orgères (La Thuile), nei pressi del limite altitudinale inferiore dell'UTS 4. Si può osservare la sequenza OF-OH-E (grigio e sciolto, destrutturato), Bw (con accumulo parziale di Fe ed Al), seguito da un orizzonte più sciolto e molto scheletrico, e uno più biancastro al di sotto, oltre i 65-70 cm, con efflorescenze e coperture di CaCO₃ di origine pedogenetica.

4.5 UC 5

4.5.1: UTS 5: Skeletic/Haplic/Cambic Phaeozem

Descrizione generale e processo pedogenetico prevalente

I Phaeozems sono caratterizzati da un accumulo di sostanza organica in orizzonti A di notevole spessore, associati a pH non acidi; a livello globale, questi suoli sono generalmente diffusi in ambiente di prateria con clima sub-umido, tra il bioma della steppa e quello della foresta di latifoglie delle medie latitudini. Sono comunque frequenti in molte condizioni diverse, dove l'uomo ha creato prati e praterie artificiali, in condizioni di clima non eccessivamente piovoso e non arido, in cui il pH non scende per lisciviazioni (arrivando così ad avere Umbrisols, UTS 9) e non vi è precipitazione di carbonati (ottenendo Kastanozems, UTS UC 6).

In Valle d'Aosta, questi suoli sono diffusi in varie condizioni climatiche, sia a bassa quota nei settori più umidi sud-orientali, sia dove vi è apporto importante di nutrienti da parte dell'uomo, sia su materiali parentali poveri in carbonato di calcio, sotto prateria antropogenica, nella zona endalpica.

La caratteristica morfologica principale è lo spesso e scuro orizzonte A (di tipo *mollico*), la cui formazione è associata prevalentemente alla decomposizione degli apparati radicali delle specie erbacee. Questi orizzonti sono caratterizzati da consistenza soffice e struttura grumosa ben espressa, prodotta dall'attività dei lombrichi, che producono dei complessi organo-minerali particolarmente attivi e importanti per la conservazione della sostanza organica e la fertilità del suolo, associando in modo molto efficiente la sostanza organica con la frazione minerale.

Tipo di humus

La buona aggregazione strutturale grumosa grossolana degli orizzonti A, prodotta da lombrichi associati ad artropodi, e la presenza di orizzonti OL poco alterati e, talvolta, OF, sono caratteri tipici degli humus di tipo MULL (MESOMULL e DYSMULL rispettivamente, Zanella et al., 2011). Talvolta anche gli orizzonti OL sono assenti; in questo caso l'humus è di tipo EUMULL. Le tipologie di humus MULL sono le più attive biologicamente, e sono caratterizzate da decomposizione e rilascio di nutrienti al suolo particolarmente efficienti.

Uso del suolo

Suolo caratteristico di prati da sfalcio e pascoli di bassa quota, spesso fertilizzati e irrigati.

Suoli associati

Nell'UC 5, oltre all'UTS 5 è facile trovare suoli meno evoluti come le UTS 13 o l'8 (Eutric Regosols o Calcaric Regosols, tab. 3.4.1), soprattutto in zone erose quali gli impluvi, o UTS 20 (Anthrosols, sez. 4.17.5), rielaborato da lavorazioni di miglioramento fondiario.

Servizi ecosistemici e vulnerabilità

La bassa acidità, la buona disponibilità di nutrienti e l'elevato contenuto di sostanza organica associata alla fase minerale (grazie all'intensa attività biologica), rendono alcuni di questi suoli fra i più ricchi e fertili della Valle, nonché, se correttamente gestiti, fra i più importanti accumulatori di carbonio. La loro rilevanza, sia dal punto di vista ambientale, sia da quello produttivo e storico culturale (legato alle tradizionali pratiche agricole), sono riconosciute anche a livello di pianificazione territoriale. Alcuni di questi suoli infatti, in particolare quelli ricadenti in aree di particolare interesse agricolo o agrosilvo-pastorale, sono definiti come "*buone terre coltivabili*", ossia suoli che "*per la loro vocazione produttiva costituiscono il principale sostegno*

economico del settore primario e comprendono le attività agricole che, con la loro presenza diffusa sul territorio, garantiscono la difesa del suolo dai rischi idrogeologici e la specificità del sistema insediativo tradizionale”, individuate sui piani regolatori comunali come sottozone Eg. Considerato l’elevato valore intrinseco di questi suoli, essi sono soggetti a specifiche prescrizioni e limitazioni d’uso, coerentemente alla normativa regionale in materia di urbanistica e pianificazione territoriale, atte a mantenerne la conservazione e a limitarne il depauperamento. Dal punto di vista dei servizi ecosistemici, questi suoli rivestono quindi una grande importanza, fornendo numerosi servizi di carattere produttivo e ambientale, tra cui: produzione di biomassa gricola (soprattutto foraggio di qualità), ritenzione idrica, controllo superficiale dell’erosione, controllo del ciclo di carbonio e dei nutrienti, supporto all’ habitat e alla biodiversità (specialmente per la pedofauna) e archivio culturale e naturale (grafico 7).

La copertura del suolo, se correttamente gestita con adeguate pratiche agricole, risulta essere piuttosto continua. Il denso cotico erboso e il relativo apparato radicale, gli orizzonti A spessi e ben strutturati, rendono questi suoli poco suscettibili all’erosione. Tuttavia, si sottolinea come un’eventuale scorretta gestione potrebbe determinare, nel breve periodo, un depauperamento grave del cotico, con conseguente perdita di carbonio e aumento repentino della vulnerabilità.

Caratteristiche chimico-fisiche (principali):

	pH	Corg %	C/N	S %	L %	A %	SK %
A	6.15	3.11	12.1	60.0	26.3	9.3	5
Bw/C	6.45	1.29	11.0	57.0	26.3	6.6	20



Fig. 4.5.1.1,2,3,4,5: Skeletic Phaeozem sotto prato da sfalcio a Lozon, Saint-Denis (suolo non catalogato), Cambic Phaeozem sotto pascolo in Valle di Clavalitè (Fenis, RISK P130) e Haplic Phaeozem su Gneiss alterato in Valle di Saint Barthelemy (vda18 P61).

4.6 UC 6

4.6.1: UTS6a: Skeletic Calcic Kastanozem

Descrizione generale e processo pedogenetico prevalente

Come i Phaeozem (UTS 5), i Kastanozems sono caratterizzati da accumulo di sostanza organica in orizzonti A di notevole spessore, associati ad un orizzonte sottostante di accumulo di carbonati di origine pedogenetica (Bk, BCK). A livello globale, questi suoli sono generalmente diffusi in ambiente arido con vegetazione a steppa o savana, quindi in condizioni più aride rispetto ai Phaeozems. Il clima arido, infatti, limita la lisciviazione delle basi mantenendo il pH su valori neutri o superiori in superficie, e favorisce la deposizione di carbonati secondari nell'orizzonte Bk sottostante. I processi di formazione sono spiegati nella sezione riguardante l'UC7 (sez. 4.7).

In Valle d'Aosta, le tipologie di substrato che favoriscono la presenza dell'UTS 6a sono i calcescisti, i marmi e le carniole (come in Valtournenche) o il materiale morenico composto da litologia mista nella Valle della Dora. Sono diffusi nella zona endalpica con clima poco piovoso, dove l'evapotraspirazione è superiore alle precipitazioni per gran parte dell'anno (regime di umidità del suolo di tipo *Ustico* secondo USDA 1998), soprattutto nel settore occidentale dove l'aridità è comunque meno marcata grazie ad un maggiore innevamento invernale. In alcuni casi vi possono essere Kastanozems ben sviluppati anche sotto prateria alpina, dove teoricamente l'evapotraspirazione dovrebbe essere inferiore rispetto alle quote inferiori, come nell'alta Valle di Rhêmes (fig. 4.6.1.3, 4), Valtournenche (fig. 4.6.1.1,2) o nella zona a monte di Vétan (Saint-Pierre).

La caratteristica morfologica principale è lo spesso e scuro orizzonte A (di tipo *mollico*), la cui formazione è associata prevalentemente alla decomposizione degli apparati radicali delle specie erbacee. Sono caratterizzati da consistenza soffice ed una struttura grumosa grossolana, prodotta dai lombrichi; rispetto ai Phaeozems (UTS 5), la strutturazione è meno forte a causa del clima arido che limita stagionalmente l'attività della fauna del suolo.

Al di sotto, c'è un orizzonte Bk o BCK, con accumulo di carbonati sotto forma di efflorescenze o concrezioni, che devono superare il 5% in volume.

Tipo di humus

La struttura grumosa grossolana degli orizzonti A, prodotta da lombrichi associati ad artropodi, e la presenza di orizzonti OL poco alterati e, raramente, OF, sono caratteri tipici degli humus di tipo MULL (MESOMULL soprattutto, localmente DYSMULL rispettivamente, Zanella et al., 2011). Talvolta anche gli orizzonti OL sono assenti; in questo caso l'humus è di tipo EUMULL. Le tipologie di humus MULL sono le più attive biologicamente, in cui la decomposizione e il rilascio di nutrienti al suolo sono particolarmente efficienti. Rispetto ai Phaeozems, caratterizzati da simili orizzonti A biostrutturati di tipo mollico e da simili processi biologici nel topsoil, ma diffusi in climi leggermente più umidi in Valle d'Aosta, i Kastanozem presentano però una aggregazione meno ben espressa, a causa della minor attività biologica associata all'eccessiva secchezza.

Uso del suolo

Suoli presenti in prati da sfalcio e pascoli di bassa quota, ma talvolta anche sotto pineta di *Pinus sylvestris* o querceto a *Quercus pubescens*. Localmente sono presenti anche sotto pascolo di alta quota oltre al limite degli alberi.

Suoli associati

Nell'UC 6, oltre all'UTS6a (il più frequente), è facile trovare suoli con orizzonti A meno spessi e strutturati e con accumulo di carbonati in profondità (Calcisols, tipi di suolo appartenenti all'UC 7) o suoli meno evoluti in genere come i Calcaric Regosols (UTS 8), soprattutto in zone soggette ad erosione su versanti molto ripidi o negli impluvi. Nei siti morfologicamente più stabili, l'orizzonte Bk può essere cementato (Bkm o BCkm, UTS 6b).

Servizi ecosistemici e vulnerabilità

Il pH subalcalino favorisce una buona disponibilità dei nutrienti e una buona attività biologica. Tuttavia rispetto ai suoli dell'UTS 5 l'accumulo di sostanza organica risulta essere generalmente inferiore a causa del clima più arido, che oltre a determinare una minore attività biologica nei periodi più asciutti, a causa una maggiore mineralizzazione della sostanza organica. I servizi ecosistemici forniti da questi suoli sono paragonabili a quelli dell'UTS 5, sebbene a causa delle specifiche condizioni pedoclimatiche e dell'eventuale presenza di orizzonti cementati, alcuni risultino essere meno espressi, come, ad esempio, la produzione di biomassa agricola, la ritenzione idrica, il controllo del ciclo del carbonio e dei nutrienti e il supporto agli habitat e alla biodiversità (grafico 8).

La copertura del suolo, se mantenuta correttamente, è in grado di proteggere il suolo dai fenomeni erosivi. Tuttavia, un depauperamento dei cotici, causato ad esempio da un'eccessiva pressione di pascolo, può aumentare sensibilmente la vulnerabilità. Inoltre l'eventuale esposizione degli orizzonti minerali profondi, specialmente di quelli cementati, può aumentare sensibilmente lo scorrimento superficiale delle acque e quindi i fenomeni erosivi superficiali.

Caratteristiche chimico-fisiche (principali):

	pH	Corg %	C/N	CaCO ₃ %	S %	L %	A %	SK %
A	7.5	2.58	12.7	1.6	70.3	21.3	3.9	10
Bk	8.2	0.69	15.4	18.8	64.7	23.2	5.6	30

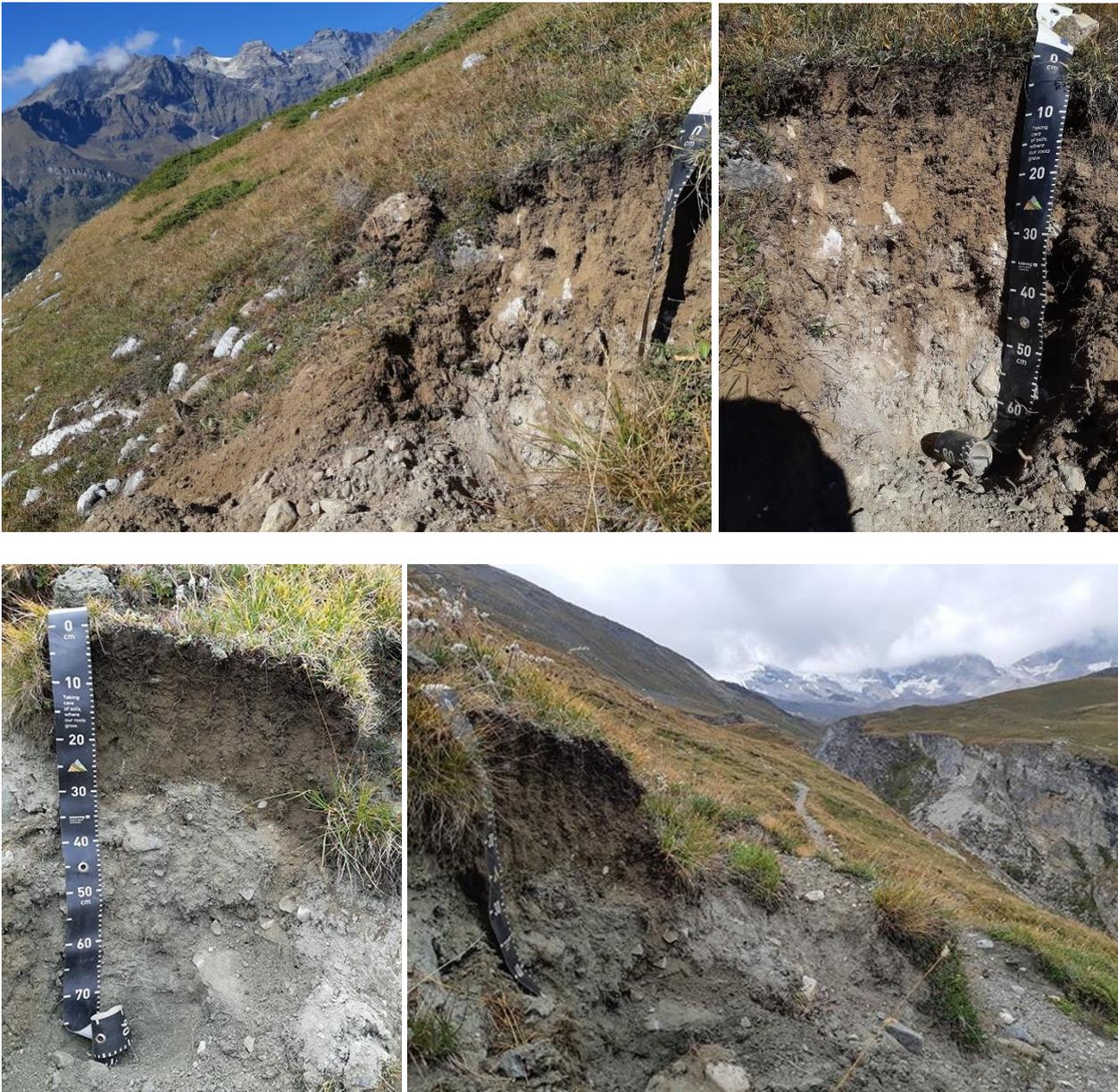


Fig. 4.6.1.1,2,3,4: Kastanozem, con un evidente orizzonte Bk sotto allo scuro e spesso A, in Valtournenche (località Madonna delle Salette, vda18 P49), e nella Valle di Rhêmes, lungo il sentiero verso il ghiacciaio di Lavassey (vda18 P32).

4.6.2: UTS 6b: Skeletic Petrocalcic Kastanozem

Descrizione generale e processo pedogenetico prevalente

In questi suoli, molto simili all'UTS 6a, l'orizzonte di accumulo di carbonati secondari sotto all'orizzonte organominerale A è cementato, almeno parzialmente (Bkm, BCkm, fig. 4.6.2.1,2). In genere questi suoli sono localizzati in aree più stabili, in cui il processo di accumulo di carbonati in profondità ha potuto proseguire senza disturbi erosivi.

Tipo di humus

Come nell'UTS 6a (sez. 4.6.1).

Uso del suolo

Come l'UTS 6a (sez. 4.6.1).

Servizi ecosistemici e vulnerabilità

I servizi ecosistemici e la vulnerabilità sono simili all'UTS 6a. Gli orizzonti cementati in profondità possono ridurre la disponibilità idrica e l'approfondimento delle radici, ma possono fornire una debole riduzione del rischio di frana e scivolamento.

Caratteristiche chimico-fisiche (principali):

	pH	Corg %	C/N	CaCO ₃ %	S %	L %	A %	SK %
A	7.5	4.8	12.7	10.8	75.4	15.5	4.6	25
Bkm	8.1	0.6	15.4	22.1	74.3	19.6	6.4	50



Fig. 4.6.2.1,2: Petrocalcic Kastanozem con un orizzonte Bkm formato esclusivamente di CaCO_3 pedogenico nei pressi di Morgex (vda18 P39). Si vede bene come le radici non riescano ad attraversare questo orizzonte duro come uno strato roccioso.



Fig. 4.6.2.3,4: Skeletic Petrocalcic Kastanozem presso La Thuile (vda18 P29) e Petrocalcic Kastanozem presso Vetan (Saint-Pierre), in una zona di prateria in cui si alternano zone con travertini e con orizzonti calcici di origine più strettamente pedogenetica (RISK P137).

4.7 UC 7

4.7.1: UTS7a: Skeletic Calcisol (Hypercalcic)

Descrizione generale e processo pedogenetico prevalente

Suolo diffuso nel settore della regione caratterizzato da clima poco piovoso, ma difficilmente separabile dalle due tipologie successive (UTS 7b e 7c); rispetto alla tipologia 7b, caratterizzata da un minor accumulo di CaCO₃ nell'orizzonte Bk, tende ad essere più frequente sui versanti più asciutti esposti a sud; l'UTS 7a diventa frequente anche all'Envers nella zona immediatamente ad ovest di Aosta. Il substrato e la vegetazione tipici di questi suoli sono pressoché analoghi alle tipologie UC 6 (materiali ricchi di carbonati quali depositi morenici, calcescisti, carnirole), prevalentemente sotto vegetazione xerofila o vigneto.

L'orizzonte superficiale A è poco strutturato e piuttosto povero in sostanza organica, più chiaro che nei simili Kastanozems; al di sotto, il materiale poco alterato è arricchito in quantità di carbonato di calcio superiori al 20%, molto evidenti sotto forma di coperture sui clasti dello scheletro, efflorescenze biancastre soffici e polverulente, riempimenti nei pori delle radici. La loro formazione necessita di un clima arido. A livello globale, i Calcisols sono diffusi in zone dove l'evapotraspirazione supera le precipitazioni per lunghi periodi ogni anno e in località dove molto raramente i suoli raggiungono la saturazione idrica. Sono infatti i suoli più comuni nelle zone di deserto o steppa molto arida.

La precipitazione del carbonato di calcio negli orizzonti Bk segue una sua parziale dissoluzione negli orizzonti superficiali ad opera dell'acqua piovana, ed avviene dove l'acqua smette di infiltrarsi o dove viene raggiunta la saturazione chimica.

La maggiore aridità dei siti in cui sono diffusi i Calcisols rispetto ai Kastanozems influisce sulla minor produttività della vegetazione che vi cresce, la quale non è in grado di fornire un quantitativo sufficiente di sostanza organica, necessario per la formazione dello spesso orizzonte A che caratterizza i Kastanozems.

Tipo di humus

La xericità estrema dei siti dove sono presenti i Calcisols rallenta sia la produttività vegetale che l'attività biologica; la struttura quindi tende ad essere debole e gli orizzonti tendono ad essere piuttosto sciolti, con solo pochi aggregati grumosi; gli orizzonti organici tendono ad essere più spessi che nei Kastanozems, e gli humus sono spesso DYSMULL o AMPHI (negli ultimi sono presenti anche gli orizzonti organici humificati OH, sempre sopra orizzonti A con una struttura grumosa più o meno forte, creata dall'azione dei lombrichi). Talvolta, la struttura dell'orizzonte A non è formata da lombrichi, e pertanto la tipologia di humus diventa HEMIMODER (humus biologicamente poco attivo, dove la decomposizione avviene grazie all'attività degli artropodi ma non porta alla formazione di aggregati organominerali).

Uso del suolo

Suoli presenti sotto varie tipologie di uso del suolo, ma soprattutto sotto vegetazione steppica, sotto pineta substeppica di *Pinus sylvestris* o querceto a *Quercus pubescens*. A quote basse, inoltre, nelle esposizioni più favorevoli, questi suoli vengono utilizzati per la coltivazione dei vigneti

Suoli associati

Nell'UC 7, oltre all'UTS7a (frequente più o meno a pari merito rispetto al 7b, sez 4.7.2), è facile trovare suoli con orizzonti cementati Bkm (UTS 7c, sez 4.7.3), soprattutto nella zona immediatamente ad ovest di Aosta, ma anche sul versante all'Adret tra i comuni di Nus e Verrayes. Localmente si possono trovare suoli meno

evoluti come i Calcaric Regosols (UTS 8), soprattutto in zone soggette ad erosione su versanti molto ripidi o negli impluvi. Nelle zone terrazzate, in genere, il disturbo antropico ha favorito un minor sviluppo pedogenetico e, quindi, prevalgono le UTS 7b o UTS 8 (sez. 4.8).

Servizi ecosistemici e vulnerabilità

Sebbene le condizioni di pH e di nutrienti non siano fattori limitanti, la produttività vegetale e l'attività biologica sono fortemente influenzate dall'elevata xericità, con ripercussioni sul contenuto di sostanza organica e sui servizi ecosistemici direttamente connessi. Questi suoli quindi svolgono prevalentemente funzioni protettive, quali ad esempio il controllo dell'erosione, la ritenzione idrica, la filtrazione e purificazione delle acque (grafico 10).

Il ridotto contenuto di carbonio e la struttura debole, rendono questi suoli piuttosto vulnerabili all'erosione, specialmente ove la copertura vegetale risulti discontinua o depauperata.

Caratteristiche chimico-fisiche (principali):

	pH	Corg %	C/N	CaCO3%	S %	L %	A %	SK %
A	7.9	1.03	8.6	10.6	71.0	22.7	5.6	20
Bk	8.6	0.21	11.9	21.0	77.2	19.7	3.1	30



Fig. 4.7.1.1,2: Skeletic Calcisol (Hypercalcic) nella Valle di Cogne, lungo il sentiero tra Gimillian e Pila (vda18 P43).



Fig. 4.7.1.3,4: Skeletic Calcisol (Hypercalcic) su serpentinite coperta da un sottile strato morenico, presso Verrayes (suolo non catalogato).

4.7.2: UTS 7b: Skeletic Calcisol (Hypocalcic)

Descrizione generale e processo pedogenetico prevalente

Suolo diffuso, ma difficilmente cartografabile, soprattutto su esposizioni settentrionali nella valle centrale e nelle valli laterali; rispetto all'UTS 7a, questa UTS è caratterizzato da un minor accumulo di carbonato di calcio CaCO₃ pedogenetico nell'orizzonte Bk o BCk. Sono quindi suoli nel complesso meno evoluti rispetto alla tipologia precedente. Sono favoriti, rispetto all'UTS 7a, dove l'evapotraspirazione è leggermente inferiore o nelle zone coltivate, dove le lavorazioni, rimescolando il materiale, riducono l'espressione degli orizzonti pedogenetici.

Tipo di humus

Come nell'UTS 7a.

Uso del suolo

Tipo di suolo frequente in ambienti simili a quelli del tipo UTS 7a, ma la sua frequenza aumenta nelle zone terrazzate. Infatti, questi suoli vengono utilizzati per la coltivazione dei vigneti, alle quote più basse, nelle esposizioni più favorevoli

Servizi ecosistemici e vulnerabilità

I servizi forniti da questi suoli sono pressochè i medesimi di quelli forniti dai suoli UTS 7a (grafico 11), tuttavia, essendo più diffusi in aree terrazzate, possono contribuire maggiormente alla produzione agricola. Nelle zone più fresche l'accumulo di carbonio può essere leggermente superiore.

Come per l'UTS 7a, sono suoli piuttosto vulnerabili in presenza di copertura vegetale discontinua o depauperata, a causa del ridotto contenuto di sostanza organica e dell'attività biologica limitata che non favorisce una buona struttura.

Caratteristiche chimico-fisiche (principali):

	pH	Corg %	C/N	CaCO ₃ %	S %	L %	A %	SK %
A	8.1	1.47	15.6	7.5	69.1	25.7	3.6	20
BCk	8.5	0.59	16.9	13.6	79.6	23.3	3.7	30



Fig. 4.7.2.1,2: Skeletic Calcisol (Hypocalcic) in an eroded slope nera Pont d'Aël, Valle di Cogne (vda18 P10).



Fig. 4.7.2.3,4: Cambic Calcisol (Hypocalcic) presso Pontey (PONTEY P3): sotto un sottile orizzonte A vi è un orizzonte bruno Bw parzialmente decarbonatato, seguito da un Bk parzialmente arricchito in carbonati secondari, dal colore biancastro. A destra, un Haplic Calcisol (Hypocalcic) allo sbocco del Vallone dell'Orgères, La Thuile (vda18 O21).

4.7.3: UTS 7c: Skeletic Petric Calcisol

Descrizione generale e processo pedogenetico prevalente

Questi suoli, caratterizzati da orizzonti cementati Bkm o BCkm a piccola profondità, rappresentano la versione più evoluta dei suoli UTS 7a. Sono piuttosto comuni sui versanti esposti a sud tra Saint-Nicolas ed Aosta, ma sono frequenti, in zone poco soggette ad erosione, anche sulla restante parte dell'Adret fino a Châtillon.

Tra Ville-sur-Sarre e Vétan (nei comuni di Sarre e Daint-Pierre, probabilmente sopra il livello raggiunto dai ghiacciai durante l'ultima era glaciale), alcuni orizzonti petrocalcici sono estremamente ben sviluppati.

Tipo di humus

Analogo ai tipi di suolo UTS 7a e UTS 7b (sez. 4.7.1).

Uso del suolo

L'uso di questo tipo di suoli è limitato fortemente dalle condizioni climatiche; lo spessore disponibile per le radici è inoltre ridotto fortemente dalla presenza dell'orizzonte cementato. In particolare, sulla Côte de Gargantua e in alcuni siti a monte di Sarre è facile trovare l'orizzonte petrocalcico esposto in superficie, che limita notevolmente la crescita vegetale.

Servizi ecosistemici e vulnerabilità

La prossimità dell'orizzonte petrocalcico alla superficie influenza negativamente i servizi ecosistemici, in particolare quelli legati alla produzione delle biomasse, ma anche i servizi legati alla ritenzione idrica, al controllo dell'erosione e alla filtrazione e purificazione dell'acqua risentono della presenza dell'orizzonte cementato superficiale (grafico 12).

Caratteristiche chimico-fisiche (principali):

	pH	Corg %	C/N	CacO3%	S %	L %	A %	SK %
A	8.0	2.27	14.6	13.4	73.7	26.6	4.4	20
Bk/Bkm	8.6	0.45	10.8	21.7	59.6	26.9	11.4	50



Fig. 4.7.3.1,2: Hyperskeletal Petric Calcisol nel suo ambiente sull'arida Côte de Gargantua (profilo non catalogato).



Fig. 4.7.3.3,4: Skeletic Petric Calcisol e Petric Calcisol rispettivamente a Ville sur Sarre (estremamente sviluppato) e nei pressi di Sarre (RISK O131 e RISK P39).

4.8 UC 8

4.8.1: UTS 8: Skeletic Calcaric Regosol

Descrizione generale e processo pedogenetico prevalente

Suolo poco evoluto sviluppato su materiali ricchi in carbonato di calcio (soprattutto morenico e calcescisti); rappresenta la versione iniziale dei tipi di suolo UC 6 (Kastanozems) e UC 7 (Calcisols), in cui l'accumulo di carbonati nell'orizzonte sottosuperficiale è insufficiente (orizzonte C, talvolta Ck ma con poche forme di accumulo di CaCO₃). Sono suoli molto comuni in ambiente di conoide, o comunque in siti dove i processi di ringiovanimento della superficie sono attivi (erosione e deposizione di materiale), impedendo l'evoluzione verso altri tipi di suolo.

Tipo di humus

Analogo ai tipi di suolo UC 7 (Calcisols, sez. 4.7).

Uso del suolo

L'UTS 8 non supporta coperture vegetali od usi agricoli particolari.

Suoli associati

Nell'UC 8, oltre all'UTS8 è facile trovare suoli più spiccatamente di origine fluviale, soprattutto alla base dei conoidi (Fluvisols, UTS 15b), o la UTS 19 (Anthrosols), in ambiti sottoposti ad intense lavorazioni antropiche.

Servizi ecosistemici e vulnerabilità

Il basso grado di sviluppo, dovuto a processi di erosione e deposizione di materiale, rende questi suoli non particolarmente idonei a sostenere una vegetazione erbacea o arborea stabile, nonostante le caratteristiche chimico-fisiche non siano particolarmente limitanti. I servizi ecosistemici forniti da questi suoli sono quindi piuttosto limitati (grafico 13).

La struttura debole e poco espressa, dovuta al basso grado di evoluzione rende questi suoli particolarmente vulnerabili, inoltre la limitata copertura del suolo non è sufficiente a proteggerli dai fenomeni erosivi.

Caratteristiche chimico-fisiche (principali):

	pH	Corg %	C/N	CaCO ₃ %	S %	L %	A %	SK %
A	7.3	2.5	16.5	1.9	63.8	27.9	5.6	5
C(k)	7.9	1.1	11.8	5.6	70.0	22.8	5.3	40



Fig. 4.8.1.1,2: Skeletic Calcaric Regosols su conoidi nei pressi di Pontey (PONTEY P9 e P16).

4.9 UC 9

4.9.1: UTS9: Haplic/Skeletal Umbrisol

Descrizione generale e processo pedogenetico prevalente

Gli Umbrisols sono caratterizzati da un accumulo di sostanza organica, localizzata in orizzonti A di notevole spessore, associati a pH acidi e tassi di saturazione basica bassi. A livello globale, questi suoli sono generalmente diffusi negli ambienti montani umidi e nelle praterie di alta quota. In Valle d'Aosta sono diffusi su materiali parentali acidi, mafici e, nei climi più umidi del settore sud-orientale, ultramafici, soprattutto in ambiente di prateria alpina o di pascolo, dal piano altitudinale subalpino o alpino. Talvolta sono stati osservati anche in faggeta e castagneto, sempre nei climi umidi del settore sud-orientale della regione.

La caratteristica morfologica principale è lo spesso e scuro orizzonte A (di tipo *umbrico*), la cui formazione è associata prevalentemente alla decomposizione degli apparati radicali delle specie erbacee. Sono caratterizzati da consistenza soffice ed una struttura grumosa molto fine o assente (sale e pepe), prodotta dall'attività degli artropodi del suolo.

Al di sotto, ci può essere un orizzonte di alterazione Bw, che potrebbe associare questi suoli geneticamente ai Dystric Cambisols (UTS 12); in questo caso i suoli sono classificati come Cambic Umbrisols; se è presente un orizzonte Bs o Bhs spodico, il suolo appartiene al UTS 3 (Umbric Podzol).

Tipo di humus

La debole strutturazione degli orizzonti A, molto fine e con scarsa presenza di artropodi e vermi, associata alla presenza di sottili orizzonti organici OL, OF e, talvolta, OH determina comunemente l'attribuzione al tipo di humus MODER (soprattutto HEMIMODER e DYSMODER). Talvolta, soprattutto in presenza di concimazioni in prati o pascoli pingui, nonostante l'acidità, la presenza di lombrichi crea una struttura grumosa più grossolana e con maggiore integrazione tra sostanza organica e frazione minerale (humus DYSMULL o MESOMULL).

Uso del suolo

Suolo diffuso soprattutto in ambienti di prateria alpina e prato/pascolo al piano subalpino.

Suoli associati

Nell'UC 9, oltre al UTS9 è possibile trovare suoli meno evoluti come UTS 13 (Dystric o Eutric Regosol) soprattutto in zone erose quali gli impluvi; talvolta, specialmente dove la prateria è invasa da arbusti, vi sono suoli con un orizzonte spodico Bhs o Bs (UTS 3, Umbric Podzol); alle quote più basse, nel settore sud-orientale della regione, un altro suolo associato nell'unità cartografica 9 è il Dystric Cambisol (UTS 12).

Servizi ecosistemici e vulnerabilità

Sono suoli moderatamente acidi e non particolarmente fertili, in grado di sostenere la vegetazione naturale dei pascoli. La loro importanza è legata soprattutto all'elevata dotazione di carbonio, dovuta all'accumulo di sostanza organica per effetto della degradazione degli apparati radicali delle specie erbacee, abbinata a condizioni pedoclimatiche tali da favorirne il mantenimento nel suolo. Tutto ciò rende questi suoli degli eccellenti accumulatori di carbonio, pertanto tra i servizi ecosistemici più rilevanti, si segnalano il controllo del ciclo del carbonio, la ritenzione idrica e la filtrazione e purificazione dell'acqua (grafico 14).

La copertura del suolo può essere localmente discontinua, tuttavia in generale la presenza degli orizzonti organici e la buona dotazione di carbonio limitano la vulnerabilità di questi suoli. Una pressione eccessiva di pascolo o altre attività che potenzialmente danneggiano la superficie e la copertura erbacea possono determinare un forte aumento del rischio di erosione.

Caratteristiche chimico-fisiche (principali):

	pH	Corg %	C/N	S %	L %	A %	SK %
A	5.2	3.01	11.6	66.0	15.5	1.5	20
Bw/C	5.4	0.99	11.2	80.0	17.6	1.9	40



Fig. 4.9.1,2: Haplic Umbrisol sui versanti meridionali del Mont Mary, a circa 2500 m di quota (RISK P48).



Fig. 4.9.3,4: Skeletic Umbrisol nella Valle di Cogne, lungo il sentiero tra il Rifugio Sella e Herbetet (RISK P98).

4.10 UC 10

4.10.1: UTS 10: Eutric Cambisol

Descrizione generale e processo pedogenetico prevalente

I Cambisols sono suoli con un medio grado di sviluppo, in cui i processi di alterazione hanno consentito la formazione di un orizzonte sottosuperficiale Bw (*cambico*), generalmente caratterizzato da un colore bruno e una struttura poliedrica subangolare media. Il colore bruno e la struttura subangolare derivano entrambi dalla moderata liberazione di idrossidi di ferro (goethite) da parte del materiale parentale minerale in via di alterazione. Gli Eutric Cambisols sono suoli non fortemente acidificati (pH medi superiori al 6), non desaturati, in cui i nutrienti sono stati poco lisciviati in profondità. Sono quindi frequenti su materiali ricchi in basi (quali la serpentinite) e soprattutto in zone con clima poco piovoso come i versanti esposti a nord nella zona di Châtillon, dove la lisciviazione è ridotta. A livello globale, sono suoli caratterizzati da un grado di pedogenesi giovanile e sono piuttosto comuni in tutti gli ambienti, rappresentando un tipo di suolo fertile idoneo per sostenere foreste e coltivazioni. In Valle d'Aosta sono molto meno frequenti rispetto ad altre regioni, a causa del clima endalpico di gran parte della regione, che limita l'alterazione del materiale minerale.

Su serpentinite, l'orizzonte Bw ottiene una colorazione bruna più intensa a causa del maggior contenuto in ferro nel materiale parentale.

Tipo di humus

La buona aggregazione strutturale grumosa grossolana degli orizzonti A, prodotta da lombrichi associati ad artropodi, e la presenza di orizzonti OL poco alterati e OF, sono caratteri tipici degli humus di tipo MULL (soprattutto DYSMULL, talvolta MESOMULL, Zanella et al., 2011). Le tipologie di humus MULL sono le più attive biologicamente, in cui la decomposizione e il rilascio di nutrienti al suolo sono particolarmente efficienti. Gli orizzonti OH humificati sono localmente presenti, dando luogo a humus di tipo AMPHI (simili ai MULL ma con presenza di orizzonte OH, che evidenzia una rallentata degradazione della lettiera). Nelle zone a pino silvestre o abete rosso, dove è facile che l'attività dei lombrichi sia inibita dal tipo di lettiera, e l'humus diventa quindi HEMIMODER, in cui l'orizzonte A presenta una struttura grumosa fine creata soprattutto dagli artropodi.

Uso del suolo

Gli Eutric Cambisols sono frequenti soprattutto sotto pecceta montana o, localmente su serpentinite, foresta montana di Pino uncinato o Pino silvestre, senza ericacee nel sottobosco. Dove il bosco viene tagliato per dar spazio a prati e pascoli, questo suolo si trasforma rapidamente in Cambic o Haplic Phaeozem.

Suoli associati

Nell'UC 10, oltre all'UTS10 è facile trovare suoli meno evoluti come UTS 13 (Regosols), soprattutto in zone erose quali gli impluvi, o UTS 5 (Phaeozem), nelle zone a prato.

Servizi ecosistemici e vulnerabilità

Le discrete condizioni edafiche, quali il pH debolmente acido, la dotazione di nutrienti e il contenuto di sostanza organica, rendono questi suoli idonei a sostenere popolamenti forestali stabili, utili sia dal punto di vista produttivo, sia da quello relativo alla difesa del suolo. I servizi ecosistemici forniti da questi suoli sono quindi molteplici e in generale piuttosto ben espressi, tra cui in particolare spiccano: produzione di biomassa forestale, controllo del ciclo del carbonio e controllo del ciclo dei nutrienti (grafico 15).

La copertura del suolo, tipicamente forestale, è abbastanza continua e limita la vulnerabilità di questi suoli all'erosione. Tuttavia una gestione forestale non corretta potrebbe portare ad un rapido depauperamento della sostanza organica, con un forte aumento dei rischi idrogeologici.

Caratteristiche chimico-fisiche (principali):

	pH	Corg %	C/N	S %	L %	A %	SK %
A	6.0	2.56	14.7	63.7	28.8	3.9	10.0
Bw	6.3	0.77	9.6	62.2	29.5	4.3	22.5



Fig. 4.10.1.1,2: Eutric Cambisol e Chromic Eutric Cambisol, rispettivamente su materiale morenico in Val Ferret, lungo il sentiero per il Rifugio Bonatti (vda18 P34), e a Champdepraz (RISK P33), su serpentinite (che fornisce il ferro necessario per il colore rossastro).

4.11 UC 11

4.11.1: UTS 11: Eutric Rhodic Cambisol (Hypocalcic)

Descrizione generale e processo pedogenetico prevalente

Suolo che occupa un areale ben definito nella Valle Centrale sulla destra orografica (Enver) ad est di Fénis. Dal punto di vista morfologico, è immediatamente riconoscibile per il colore rosso vivo, inusuale in ambiente alpino, probabilmente dovuto all'alterazione della serpentinite con calcescisti che affiorano nella zona. Da un punto di vista chimico e fisico, questo suolo presenta un orizzonte A molto sottile e con struttura grumosa derivante dall'attività dei lombrichi, seguito da un orizzonte Bw rossastro, ma scarsamente strutturato. Il pH di questi orizzonti è poco inferiore al 6. Al di sotto, compare un orizzonte BC giallastro, anch'esso scarsamente strutturato, seguito da un orizzonte B_{ck} con accumulo di carbonati pedogenetici, ben visibili soprattutto nei pori radicali, ma anche come efflorescenze ben diffuse nella matrice e coperture sui clasti dello scheletro. Alcune porzioni possono essere debolmente cementate.

Rispetto ai Calcisols ben sviluppati su serpentinite con sottili coltri moreniche sul versante opposto (Verrayes e Saint Denis, UC 7, fig. 4.7.1.3,4), l'effetto di un clima meno arido associato all'Enver è evidente per la formazione dell'orizzonte di alterazione Bw, decarbonatato e debolmente lisciviato.

Tipo di humus

Il sottile orizzonte A presenta una struttura grumosa ben espressa, formata dall'attività dei lombrichi. Al di sopra, vi sono un orizzonte OL e solo tracce dell'orizzonte OF (frammentato), sottili e discontinui. Il tipo di humus è, quindi, HemiMULL, uno tra le tipologie di humus più biologicamente attive e caratterizzate da una rapida decomposizione della sostanza organica.

Uso del suolo

Suolo che occupa versanti molto acclivi coperti da bosco xerofilo di roverella con pino silvestre e castagni. Non è auspicabile modificare l'uso del suolo, a causa della morfologia dei versanti e dell'elevata vulnerabilità all'erosione. Questo suolo, infatti, presenta i valori di erodibilità superficiale più alti insieme ai Calcisols e agli Albic Podzols, ed è stato quello più affetto da scivolamenti e dissesti durante l'alluvione del 2000, a causa della scarsa strutturazione a tutte le profondità.

Suoli associati

Nell'UC 11, è possibile trovare Calcisols (tipi di suolo 7a, 7b e 7c) in zone dove l'orizzonte Bw è stato eroso, o Regosols (tipi di suolo 8 o 13) negli impluvi.

Servizi ecosistemici e vulnerabilità

La collocazione su versanti ripidi, unitamente agli orizzonti O e A sottili e alla struttura poco sviluppata degli orizzonti minerali, rende questi suoli molto suscettibili all'erosione, ed anche poco produttivi. Tali aspetti inficiano negativamente sui servizi ecosistemici, i quali risultano essere complessivamente piuttosto bassi (grafico 16).

Questi suoli sono fra i più vulnerabili, pertanto è indispensabile mantenere il più possibile una copertura vegetale continua e stabile.

Caratteristiche chimico-fisiche (principali):

	pH	Corg %	C/N	CaCO3 %	S %	L %	A %	SK %
A	5.8	1.24	12.2	0	61.8	29.9	5.8	15
Bw	6.5	0.94	12.9	0.2	64.8	19.4	8.9	30
BCK	8.1	0.56		12.3				60



Fig. 4.11.1,2: Eutric Rhodic Cambisol (Hypocalcic) e particolare dell'orizzonte BCK profondo, con concrezioni carbonatiche nei pori radicali.

4.12 UC 12

4.12.1: UTS 12: Dystric Cambisol

Descrizione generale e processo pedogenetico prevalente

I Dystric Cambisols sono suoli con un medio grado di sviluppo, in cui i processi di alterazione hanno consentito la formazione di un orizzonte sottosuperficiale Bw (*cambico*), generalmente caratterizzato da un colore bruno e una struttura poliedrica subangolare media. Il colore bruno e la struttura subangolare derivano entrambi dalla moderata liberazione di idrossidi di ferro (goethite) provenienti dal materiale parentale minerale in via di alterazione. I Dystric Cambisols sono suoli fortemente acidificati (pH medi tra 5 e 5.5), desaturati, in cui i nutrienti sono stati però poco lisciviati in profondità. In Valle d'Aosta, questi suoli sono diffusi soprattutto nel settore sud-orientale, dove rappresentano il suolo dominante sui versanti tra le quote del fondovalle e il piano subalpino inferiore, e sui versanti settentrionali del Mont Emilius al piano subalpino inferiore e alto montano (sotto lariceto).

La loro formazione necessita di abbondanti precipitazioni, o comunque di un rapporto tra precipitazioni ed evapotraspirazione a favore delle prime, o di substrati molto acidi; nel settore sud-orientale della regione, comunque, sono diffusi su tutti i substrati, grazie al clima umido che favorisce una intensa acidificazione ed un'alterazione profonda del materiale minerale.

Tipo di humus

L'acidità di questi suoli rende l'ambiente difficile per la proliferazione dei lombrichi: l'alterazione della sostanza organica avviene prevalentemente per opera degli artropodi, che creano una struttura grumosa fine, o orizzonti A dall'aspetto "sale e pepe", soprattutto sotto foresta di conifere subalpina. Gli orizzonti OL e OF sono quasi sempre presenti, mentre gli OH sono più rari. Gli humus più biologicamente attivi, di tipo MULL o AMPHI, sono piuttosto rari e sviluppati soprattutto sotto pecceta montana.

Uso del suolo

I Dystric Cambisols sono caratteristici di castagneto e faggeta, ma sono molto comuni anche sotto pecceta alto-montana e, stranamente nel settore sud-orientale tra Fontainemore e Pontboset, anche sotto lariceto subalpino con sottobosco ad ericacee. A quote basse, inoltre, nelle esposizioni più favorevoli, questi suoli vengono utilizzati per la coltivazione dei vigneti.

Suoli associati

Nelle zone cartografate come UC 12, oltre all'UTS12 è facile trovare suoli meno evoluti come il 13 (Regosols), soprattutto in zone erose quali gli impluvi o nei punti più ripidi. Talvolta è possibile trovare suoli rimaneggiati per migliorare i prati (Athrosols, UTS 19). Avvicinandosi al piano subalpino, compaiono i Podzols (UC1 e UC2).

Servizi ecosistemici e vulnerabilità

Sebbene moderatamente acidi, questi suoli non risultano essere particolarmente poveri di nutrienti, inoltre l'accumulo di carbonio organico risulta essere consistente. Tra i servizi ecosistemici più importanti 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 (grafico 17).

La presenza di copertura forestale piuttosto continua, abbinata agli orizzonti organici, rende questi suoli non 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.

Caratteristiche chimico-fisiche (principali):

	pH	Corg %	C/N	S %	L %	A %	SK %
A	5.0	3.30	13.7	63.5	26.9	4.9	10
Bw	5.5	0.86	13.6	64.6	25.5	4.6	40

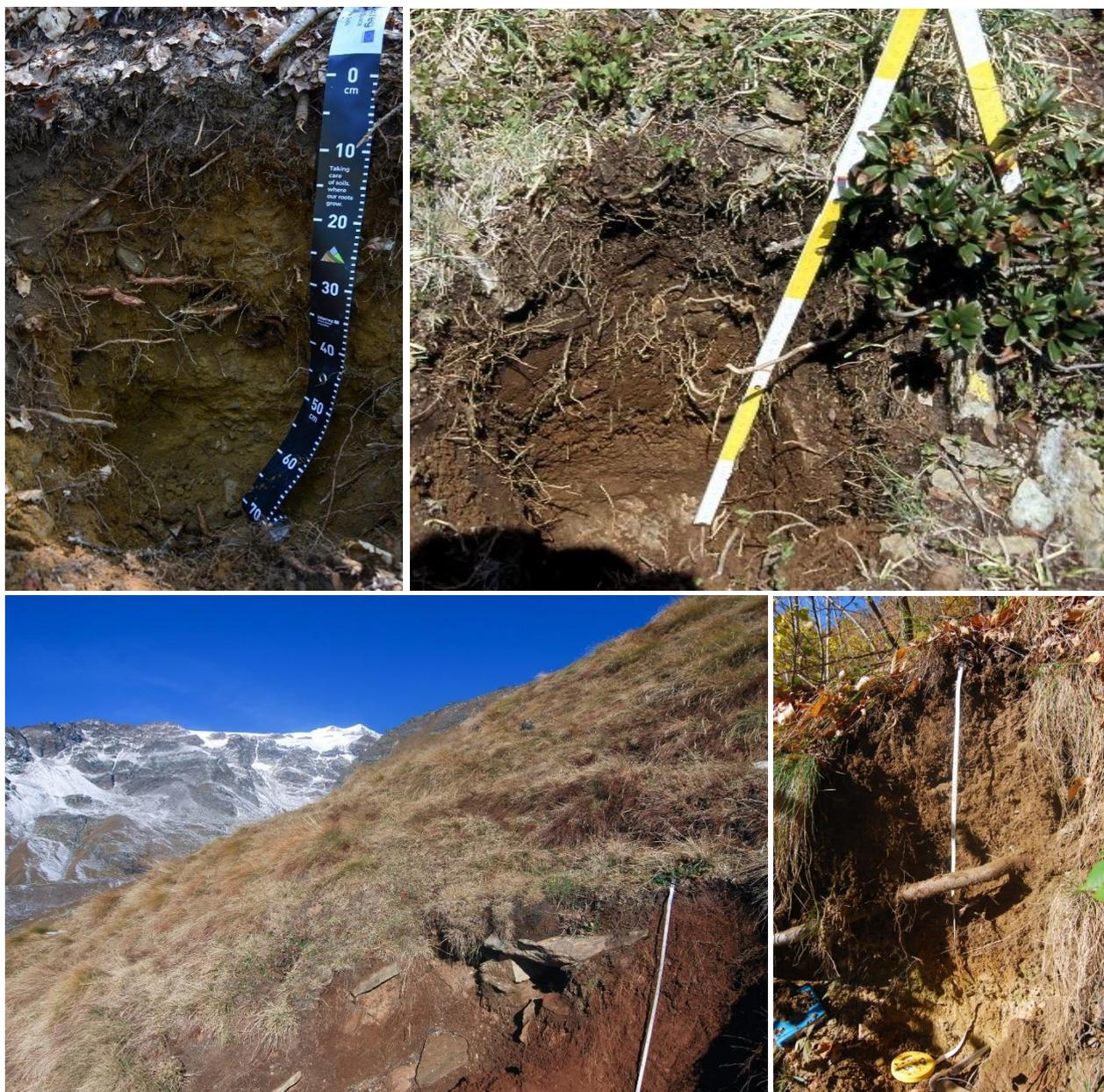


Fig. 4.12.1,2,3,4: Vary esempi di Dystric Cambisols in Valle d'Aosta: sotto faggeta presso Pian Coumarial (Fontainemore, profilo non catalogato), su un rock glacier fossile composto da serpentinite a circa 2400 m di quota nella Valle di Champorcher, Parco Naturale del Mont Avic (MTA P10), sotto prateria alpina su gneiss nei pressi delle sorgenti del Lys (Valle di Gressoney, RISK P21) e sotto castagneto su morenico misto presso Pontboset (RISK P27).

4.13 UC 13

4.13.1: UTS 13: Dystric/Eutric Skeletic Regosol

Descrizione generale e processo pedogenetico prevalente

I Regosols sono suoli poco evoluti, in cui non è possibile osservare orizzonti caratteristici oltre a un orizzonte A sottile o povero in sostanza organica, e orizzonti C. Sono tipici di ambienti disturbati da erosione e deposizione di materiale, tipici delle falde detritiche, degli impluvi e delle pendenze più elevate su materiali sciolti. Sono quindi caratteristici dei siti dove i processi di ringiovanimento della superficie sono attivi (erosione e deposizione di materiale), impedendo l'evoluzione verso altri tipi di suolo. In Valle d'Aosta, sono anche diffusi su rocce acide in ambienti stabili, soprattutto nel settore centrale della regione, dove le condizioni climatiche non permettono un'alterazione sufficiente del materiale parentale; nei corrispondenti suoli su calcescisto o materiale morenico misto, nella medesima zona sono diffusi i suoli con accumulo di carbonati (tipi di suolo UC 6 e UC 7, Kastanozems e Calcisols).

Normalmente sono suoli grigiastri, con un alto contenuto in scheletro poco alterato, con pH compresi tra 5 e 7 e un basso contenuto in sostanza organica e nutrienti.

Tipo di humus

Vista la grande variabilità di uso del suolo che caratterizza questa UC, questi suoli non hanno una tipologia di humus ben definita. Sono rarissimi i MOR (humus poco attivi biologicamente, con spessi orizzonti OL, OF e OH), che richiedono la presenza di un orizzonte E, estremamente raro in questi suoli poco evoluti.

Uso del suolo

Sono suoli diffusi sotto ogni tipologia di vegetazione ed uso del suolo.

Suoli associati

Nell'UC 13 è possibile trovare, nei siti più stabili, suoli più sviluppati come Podzols (UTS 1, 2 3) sotto vegetazione subalpina superiore, Cambisols (UTS 10 e 12) o Umbrisols (UTS 9), Phaeozems sotto prato e pascolo (UTS 5).

Servizi ecosistemici e vulnerabilità

Essendo poco evoluti, i servizi ecosistemici non sono particolarmente espressi (grafico 18), tuttavia si segnala che data la loro diffusione in molteplici ambienti, nonché i diversi usi del suolo, essi forniscono un discreto supporto agli habitat e alla biodiversità. Tuttavia risultano essere tra i suoli che accumulano meno carbonio, complice la scarsa evoluzione dovuta ai fenomeni di erosione e apporto di materiale.

La copertura del suolo è molto variabile in funzione dell'ambiente e dell'uso. Il ridotto contenuto di carbonio e la struttura debole e poco espressa, rendono questi suoli abbastanza vulnerabili all'erosione, pertanto è opportuno gestirli correttamente, cercando di preservare il più possibile la copertura vegetale e gli orizzonti organici, ove presenti.

Caratteristiche chimico-fisiche (principali):

	pH	Corg %	C/N	S %	L %	A %	SK %
A	5.8	2.07	15.0	62.0	24.2	6.7	30
C	6.3	0.64	12.8	66.4	23.8	5.2	50



Fig. 4.13.1.1,2.3.4.5: Vari esempi di Eutric Regosols in Valle d'Aosta: presso Valpelline, su gneiss sotto vegetazione steppica (vda18 P47), in Valtournenche su versanti acclivi su rocce ofiolitiche miste sotto pecceta e lariceto (rispettivamente vda18 P54 e P58), ambiente tipico su serpentinite a bassa quota presso Châtillon (RISK P45) e su una falda detritica al piano alpino su gneiss (metaconglomerato) nel Vallone di Arpy (RISK P78).

4.14 UC 14

4.14.1: UTS 14a: Eutric Skeletic Regosol (Turbic), patterned ground

Descrizione generale e processo pedogenetico prevalente

I suoli UTS 14a sono suoli poco evoluti, caratterizzati da un basso grado di alterazione minerale, formati ad alta quota in condizioni di crioturbazione intensa. La crioturbazione consiste in movimenti all'interno del suolo causati dalle variazioni di volume dell'acqua contenuta nel suolo per effetto dell'alternanza dei processi di gelo/disgelo. Si formano così orizzonti convoluti, non lineari, con dislocazioni all'interno del profilo a profondità diversa (fig. 4.14.1c). In pianura o a bassa pendenza, i processi di crioturbazione possono formare forme superficiali molto particolari, come il "patterned ground" ("suoli strutturati" in italiano), come i "sorted circles" o "polygons" (fig. 4.14.1d), in cui delle isole di terra fine, dalla forma circolare o poligonale, sono circondate da concentrazioni di pietre più o meno vegetate. Le porzioni centrali delle "isole" di terra fine sono soprattutto orizzonti C@, in cui il materiale, poco alterato, è spinto in superficie dai moti convettivi associati al gelo e al disgelo del suolo; avvicinandosi ai bordi pietrosi, compaiono sottili e discontinui orizzonti A, che raggiungono il massimo spessore e il massimo grado di acidificazione ed alterazione in prossimità delle pietre del bordo (fig. 4.14.1b). All'aumentare della pendenza, cerchi e poligoni si allungano lungo la massima pendenza diventando "sorted stripes".

In molti casi, su materiali alterabili come il calcescisto, i cerchi di pietre sono assenti, e si può arrivare ad ottenere "unsorted circles", in cui le isole di terra nuda sono circondate da porzioni ben vegetate (fig. 4.14.1a).

Generalmente, a causa dei continui movimenti e ringiovanimenti, l'acidificazione è rallentata e attiva solo in prossimità dei bordi, che presentano una maggior stabilità superficiale. Il pH rimane quindi di solito prossimo alla neutralità o poco al di sopra (Eutric).

Tipo di humus

In genere, gli orizzonti superficiali sono troppo poco sviluppati per poter osservare chiaramente una strutturazione biogenica, e la tipologia di humus non è determinabile.

Uso del suolo

Suoli caratteristici di zone con scarsa vegetazione (deserto di alta quota o tundra alpina) o prateria alpina discontinua. In genere, sono ambienti utilizzati solo dalla fauna selvatica per il pascolo in quanto scarsamente produttivi.

Suoli associati

Associati all'UTS 14a si possono avere suoli non crioturbati, come l'UTS 13 (Eutric o Dystric Regosols), ma, in condizioni microclimaticamente favorevoli, si possono osservare anche suoli molto più sviluppati come gli Umbrisols sotto Festuca varia (UTS 9), i Cambisols (UTS 10 e 12), e, su calcescisto, i Protospodic Cambisols (UTS 4).

Servizi ecosistemici e vulnerabilità

Essendo tipici delle quote più elevate, la produttività di questi suoli è molto limitata. Inoltre i processi di crioturbazione, dovuti alle basse temperature, determinano un continuo ringiovanimento delle superfici, che impedisce alla vegetazione di crescere indisturbata. Di fatto l'accumulo di carbonio è da imputare alle basse temperature, che inibendo l'attività microbica, rallentano fortemente la mineralizzazione della sostanza

organica prodotta dalla poca vegetazione presente. Sebbene l'accumulo di carbonio sia tra i più bassi dei suoli della Valle, il valore ambientale/naturalistico e paesaggistico di questi suoli (spesso ricadenti in zone protette o con specifiche limitazioni d'uso) è notevole. Essendo diffusi a quote piuttosto elevate, in aree talvolta difficilmente accessibili, sovente questi suoli vengono poco considerati, tuttavia essi rappresentano una delle più importanti riserve di carbonio degli ecosistemi d'alta quota (piano alpino e nivale). In alcuni casi essi forniscono, inoltre, importanti informazioni sul clima del passato, essendo talvolta presenti su superfici relitte, antiche, non interessate dal passaggio dei ghiacciai durante l'ultima glaciazione. Sebbene non siano produttivi, questi suoli forniscono diversi servizi ecosistemici, tra cui il controllo del ciclo del carbonio, l'archivio culturale e naturale, la ritenzione idrica, ecc... (grafico 19).

Sebbene la copertura del suolo sia scarsa e discontinua, questi suoli non sono particolarmente vulnerabili all'erosione. Tuttavia essi, essendo legati alle basse temperature e talvolta alla presenza di permafrost sporadico, risultano essere particolarmente suscettibili ai cambiamenti climatici.

Caratteristiche chimico-fisiche (principali):

	pH	Corg %	C/N	S %	L %	A %	SK %
A	7.6	1.59	10.5	79.8	19.5	1.2	35
C@	7.7	0.53	11.1	81.3	17.5	1.7	55

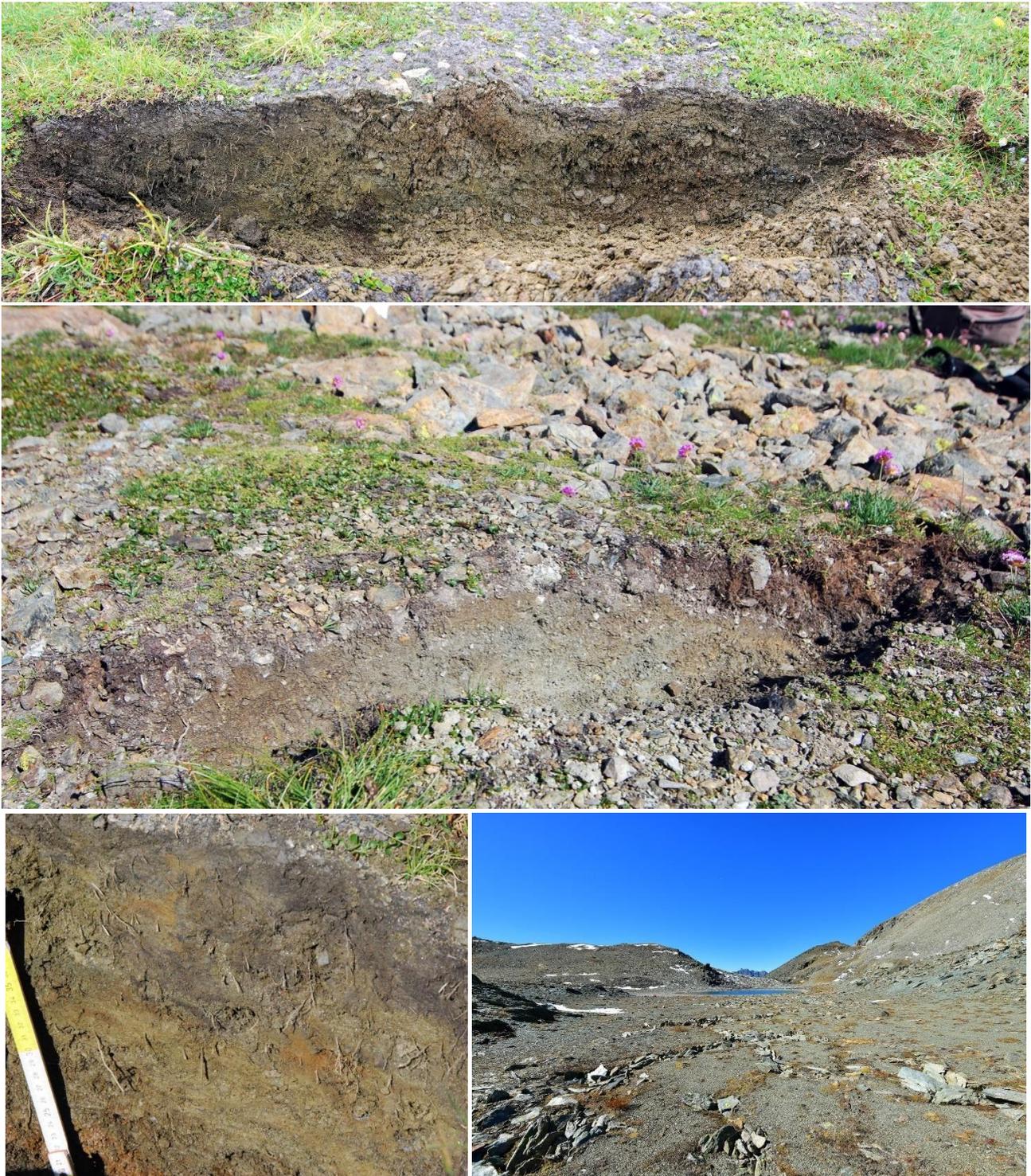


Fig. 4.14.1.1, 2, 3, 4: Skeletic Eutric Regosol (Turbic) in un "unsorted circle" nella Valle di Champorcher (Parco Naturale del Mont Avic, MTA P21) interessato da patterned ground; un suolo in "sorted stripes" su serpentinite, Parco Naturale del Mont Avic (MTA P41); in basso a sinistra) si possono osservare le porzioni di materiale scuro, ricco in sostanza organica, trasportati in basso nel profilo dall'crioturbazione; a destra, "sorted circles" su serpentinite nel Parco del Mont Avic (suolo non catalogato).

4.14.2: UTS 14b: Eutric Skeletic Regosol (Turbic), soliflusso

Descrizione generale e processo pedogenetico prevalente

I suoli 14b sono poco evoluti e caratterizzati da un basso grado di alterazione minerale. Si sono formati in condizioni di crioturbazione intensa, su versanti talvolta anche acclivi, ma coperti di vegetazione erbacea o basso-arbustiva. Su queste pendenze elevate, il suolo umido, congelandosi, si solleva parallelamente al versante grazie all'aumento di volume dell'acqua contenuta nei pori. Al disgelo, le particelle tenderanno a scendere, non più perpendicolarmente alla superficie, ma verticalmente, seguendo la forza di gravità. In ogni ciclo di gelo e disgelo, quindi, la superficie del suolo tenderà ad avanzare lungo il pendio, coprendo i suoli esistenti, con forme superficiali chiamate "lobi di soliflusso" (fig. 4.14.2a). Dal punto di vista morfologico è possibile osservare una successione ripetitiva di orizzonti A, scuri e ricchi di sostanza organica e orizzonti poco strutturati e poco alterati C o CB per tutta la profondità del profilo.

Generalmente, a causa dei continui movimenti e ringiovanimenti, l'acidificazione del suolo è rallentata e il pH rimane quindi di solito prossimo alla neutralità (qualificativo Eutric).

Tipo di humus

In genere, gli orizzonti superficiali sono troppo poco sviluppati per poter osservare chiaramente una strutturazione biogenica e la tipologia di humus non è determinabile.

Uso del suolo

Suoli caratteristici di prateria alpina o, in minor misura, di arbusteto ad arbusti nani (*Vaccinium* ssp., *Empetrum nigrum*, *Loiseleuria procumbens*) del piano altitudinale subalpino superiore. La vegetazione è più produttiva rispetto alla tipologia UTS 14a ed è possibile utilizzare queste superfici per pascoli a bassa intensità.

Suoli associati

Associati all'UTS 14b si possono avere suoli non crioturbati, come l'UTS 13 (Eutric o Dystric Regosols, non crioturbati), ma, in condizioni microclimaticamente favorevoli, si possono osservare anche suoli molto più sviluppati come gli Umbrisols sotto *Festuca varia* (UTS 9), i Cambisols (UTS 10 e 12), gli Entic Podzols /UTS 2) o gli Umbric Podzols (UTS 3) e, su calcescisto, i Protospodic Cambisols (UTS 4).

Servizi ecosistemici e vulnerabilità

Sebbene più produttivi rispetto alla tipologia precedente, questi suoli rivestono un ruolo naturalistico/paesaggistico, a causa dell'acclività delle superfici, anche se, nelle situazioni più favorevoli, il loro utilizzo come pascoli d'alta quota non è trascurabile. Sebbene il contenuto di sostanza organica non sia elevato, questi suoli interessati da soliflusso rappresentano una buona riserva di carbonio grazie alla presenza di orizzonti superficiali sepolti. La presenza di una copertura vegetale arbustiva o erbacea (su pendenze elevate) li rende anche molto utili nel fornire servizi ecosistemici legati alla difesa del suolo, tra cui la ritenzione idrica, il controllo dall'erosione superficiale, la filtrazione e la purificazione dell'acqua (grafico 20).

Grazie alla copertura del suolo continua, questi suoli, nonostante l'acclività, non sono particolarmente vulnerabili all'erosione.

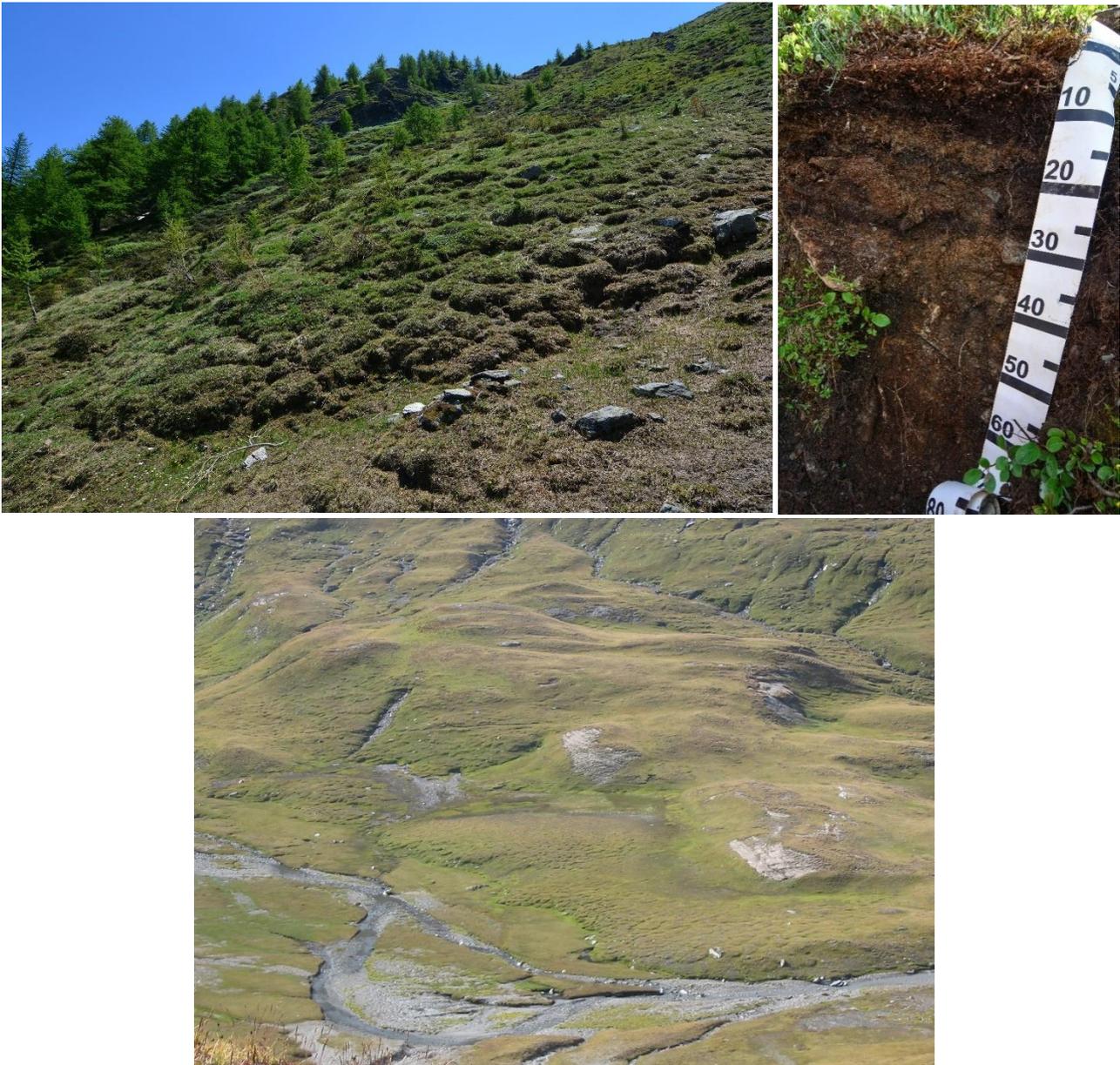


Fig. 4.11.2.1,2,3:a) Skeletic Eutric Regosol (Turbic) in un lobo di soliflusso presso Saint-Marcel (vda18 P2); 2) si possono osservare gli orizzonti A e CB che si ripetono su profondità elevate; 3) un ambiente con soliflusso sui versanti e patterned ground (hummocks o dossetti crionivali) nelle zone di pianura nella Valle di Champorcher (Parco Naturale del Mont Avic, MTA P21)

4.15 UC 15

4.15.1: UTS 15a: Eutric Fluvisol (Histic), ad alta quota

Descrizione generale e processo pedogenetico prevalente

I Fluvisols sono suoli derivati dall'accumulo ricorrente di materiali alluvionali, su superfici a bassa pendenza nei pressi di un corso d'acqua. Il materiale può essere più o meno grossolano, più o meno ricco in sostanza organica. In particolare, ad alta quota (piano subalpino ed alpino), i Fluvisols sono caratterizzati da abbondanza d'acqua, che limita l'ossigenazione del suolo e favorisce l'accumulo di sostanza organica. In genere, l'apporto di materiali alluvionali è evidenziato da orizzonti minerali grigio-bluastrati, talvolta con screziature rossastre, che separano sottili orizzonti organici. Anche in questo caso, gli apporti frequenti di materiali poco alterati impediscono l'acidificazione del suolo, che mantiene pH intorno alla neutralità, soprattutto in relazione alla litologia del materiale parentale.

Tipo di humus

In genere, gli orizzonti superficiali sono troppo poco sviluppati per poter osservare chiaramente una strutturazione biogenica, e la tipologia di humus non è determinabile.

Uso del suolo

Suolo caratteristico di pascoli più o meno umidi, talvolta vere e proprie zone umide.

Suoli associati

L'UC 15 include sia i Fluvisols di alta quota (umidi e ricchi in sostanza organica), che quelli di bassa quota (UTS 15b), normalmente più asciutti e sabbiosi, ma accomunati dagli apporti frequenti di materiali alluvionali. Localmente, questi suoli possono essere molto pietrosi, in prossimità di corsi d'acqua ad alta energia (non cartografabili in scala 1:100.000).

Servizi ecosistemici e vulnerabilità

La vicinanza ai corsi d'acqua, rende questi suoli piuttosto idonei a sostenere pascoli pingui e dall'alto valore pastorale. Inoltre le specifiche condizioni pedoclimatiche li rendono degli eccezionali accumulatori di carbonio, fra i maggiori in assoluto della Valle d'Aosta. Tra i servizi ecosistemici principali forniti da questi suoli si segnalano il controllo del ciclo del carbonio, la produzione di biomassa agricola (pascolo pingue) e la ritenzione idrica (grafico 21).

Suoli piuttosto ricchi di sostanza organica e in morfologie pianeggianti, quindi poco vulnerabili nei confronti dei processi erosivi. Il pascolo eccessivo o mal gestito potrebbe causare un depauperamento del cotico con una drastica riduzione della sostanza organica.

Caratteristiche chimico-fisiche (principali):

	pH	Corg %	C/N	S %	L %	A %	SK %
AO	6.4	11.52	18.9	70.6	25.7	5.0	5
Cg	6.6	4.21	15.9	79.4	15.1	4.3	20



Fig. 4.15.1.1,2: Due esempi di Fluvisols del piano alpino ricchi in sostanza organica, rispettivamente in Valle di Saint-Barthelemy (vda18 O60) e presso la Finestra di Champorcher, Parco Naturale del Mont Avic (MTA P40). Si può osservare la ripetizione di orizzonti più scuri e più chiari con screziature rossastre, rispettivamente orizzonti A e Cg, dovuti a successivi episodi alluvionali che hanno coperto la superficie in tempi diversi.



Fig. 4.15.1.3: Altra tipologia di Fluvisol di alta quota, formato in ambienti a più alta energia fluviale (non campionato). Questo suolo è stato osservato in Val Ferret (vda18 O17).

4.15.2: UTS 15b: Eutric Fluvisol (bassa quota)

Descrizione generale e processo pedogenetico prevalente

I Fluvisols sono suoli derivati dall'accumulo ricorrente di materiali alluvionali, su superfici a bassa pendenza nei pressi di un corso d'acqua. Il materiale può essere più o meno grossolano, più o meno ricco in sostanza organica. In particolare, a bassa quota, come nelle ampie superfici del fondovalle della Dora e delle valli laterali, questi suoli sono sabbiosi, mediamente ricchi in sostanza organica anche in profondità grazie alla presenza di orizzonti superficiali sepolti, piuttosto ricchi in carbonati e in nutrienti.

Tipo di humus

In genere, gli orizzonti superficiali sono troppo poco sviluppati per poter osservare chiaramente una strutturazione biogenica e la tipologia di humus non è determinabile.

Uso del suolo

Suolo caratteristico di prati da sfalcio e pascoli di bassa quota, spesso fertilizzati e irrigati. Sul fondovalle della Dora Baltea vi sono anche coltivi, mais soprattutto, ed erba medica.

Servizi ecosistemici e vulnerabilità

Il pH neutro e la buona disponibilità di nutrienti e di acqua rendono questi suoli piuttosto produttivi. Essi, grazie alle specifiche condizioni di formazione, che causano un progressivo seppellimento di orizzonti superficiali sotto materiali alluvionali più recenti, risultano essere degli ottimi accumulatori di carbonio. In generale tra i servizi ecosistemici più importanti forniti da questi suoli si segnalano il controllo del ciclo del carbonio, la produzione di biomassa agricola, il controllo del ciclo dei nutrienti e la ritenzione idrica (grafico 22).

La buona dotazione di carbonio e la copertura vegetale continua, dovrebbe rendere questi suoli non particolarmente vulnerabili, tuttavia la tessitura marcatamente sabbiosa e la posizione prossima agli alvei dei fiumi li rende soggetti al rischio di erosione e, soprattutto, di accumulo di materiali poco fertili di origine alluvionale.

Caratteristiche chimico-fisiche (principali):

	pH	Corg %	C/N	CaCO ₃ %	S %	L %	A %	SK %
A	7.3	3.75	8.5	1.0	65.0	38.2	0.5	15
C	7.2	1.1	6.9	1.4	60.2	36.9	2.75	50



Fig. 4.15.2.1: Eutric Fluvisol (Arenic) nei pressi di Pontey, sul fondovalle della Dora Baltea (PONTEY P17).

4.16 UC 16

3.16.1: UTS 16a, 16b e 16c: Dystric Leptosols, Eutric Leptosols, Rendzic Leptosols

Descrizione generale e processo pedogenetico prevalente

Suoli caratteristici degli affioramenti rocciosi e delle pendenze più elevate, il cui tratto caratteristico è lo spessore ridotto a meno di 25 cm. I loro caratteri chimici e fisici dipendono quindi dalla litologia del materiale parentale, a causa della prossimità con il substrato, e dai disturbi associati allo spessore limitato e dai processi erosivi e colluviali sulle pendenze più elevate. In genere, però, questi suoli hanno un contenuto in sostanza organica piuttosto elevato e presentano colori scuri.

La sequenza di orizzonti è A-R.

I Dystric Leptosols si trovano soprattutto su gneiss o metabasite, su serpentinite solo sui versanti più freschi ed umidi; gli Eutric Leptosols su calcescisto e metabasite nei climi aridi endalpici della valle centrale tra Montjovet e Pré-Saint-Didier; i Rendzic Leptosols sono estremamente inusuali in Valle d'Aosta, osservati solo in pochi casi nei pressi di La Thuile, dove il calcescisto è particolarmente povero in miche. Sono anche presenti sui limitati affioramenti di carnirole.

Tipo di humus

In genere, gli orizzonti superficiali sono troppo poco sviluppati per poter osservare chiaramente una strutturazione biogenica e la tipologia di humus non è determinabile.

Suoli associati

Dove le pendenze diminuiscono, o in zone di accumulo, suoli più spessi di ogni tipo possono essere trovati, in relazione alla fascia altitudinale e alla litologia del materiale parentale.

Servizi ecosistemici e vulnerabilità

Suoli caratterizzati da forti relazioni con il substrato roccioso, sono importanti per la conservazione della biodiversità vegetale. Sebbene non particolarmente espressi, tra i servizi ecosistemici più rilevanti si segnalano il supporto agli habitat e alla biodiversità, la ritenzione idrica, il controllo dall'erosione e il controllo del ciclo del carbonio (grafico 23).

La vulnerabilità di questi suoli varia in funzione della copertura più o meno discontinua e della litologia.

Caratteristiche chimico-fisiche (principali):

	pH	Corg %	C/N	S %	L %	A %	SK %
A	6.7	4.5	12.4	74.3	19.0	2.0	15



Fig. 4.16.1.1,2: Dystric humic Leptosol su gneiss sotto prateria alpina in Valpelline, nei pressi del Lac Mort (vda18 P7) ed Eutric Leptosol su serpentinite sotto prateria steppica presso Châtillon (RISK P41).



Fig. 4.16.1.3: Uno dei pochi Rendzic Leptosols della Valle d'Aosta (suoli sottili su roccia calcarea), in un sito in cui il calcescisto è particolarmente povero in mica (vda18 P28); il suolo dominante su quel versante è il Kastanozem (UTS 6a e 6b).

4.17 Suoli non cartografabili in scala 1:100.000

4.17.1: UTS 17a: Dystric Fibric Histosol

Descrizione generale e processo pedogenetico prevalente

Le torbiere nella regione alpina occupano una piccola area in confronto ad altre zone boreali, ma sono ecologicamente importantissime grazie alla presenza di specie vegetali pregiate, rare, spesso al limite meridionale del loro areale di distribuzione, come la piccola carnivora *Drosera rotundifolia*. Questi ambienti sono considerati prioritari dalla direttiva Habitat (1994) dell'Unione Europea.

Il principale processo che le caratterizza è l'accumulo della sostanza organica morta fino a raggiungere degli spessori di numerosi metri, a causa della presenza dell'acqua che satura il terreno creando l'anaerobiosi che scoraggia l'attività microbica di degradazione, e delle basse temperature che inibiscono l'attività microbica e l'evaporazione dell'acqua. La quantità percentuale in fibre indecomposte è uno dei parametri principali per la loro classificazione. Il contenuto in fibre, inoltre, evidenzia livelli diversi di degradazione della sostanza organica, e, quindi, livelli diversi di fertilità.

La lentezza della decomposizione e della mineralizzazione fa sì che scarseggino le sostanze nutritive azotate: per ovviare a tale problema alcune piante hanno sviluppato strategie alternative. Ad esempio, in numerose torbiere della valle del Chalamy, sono diffuse piante insettivore quali la *Pinguicola leptoceras* e la *Drosera rotundifolia*. Queste piante hanno le foglie coperte di sostanze viscoso-acide, che intrappolano e digeriscono lentamente gli insetti che vi si depositano.

Le torbiere in Valle d'Aosta sono prevalentemente alimentate da acque di sorgente o da ruscelli e torrenti (torbiere basse) e le loro proprietà chimiche variano con il chimismo dell'acqua di falda. Vi sono falde idriche molto acide e povere di soluti, e altre più ricche in ioni provenienti dall'alterazione del substrato roccioso (comunemente calcio, magnesio ed altri nutrienti), quindi generalmente più favorevoli; talvolta, su serpentinite, queste acque sono ricche in metalli pesanti e le torbiere presentano quindi una contaminazione naturale (sez. 4.18).

Servizi ecosistemici e vulnerabilità

Gli Histosols presentano stock di carbonio estremamente elevati. Sono anche supporto a comunità vegetali ed animali rare e di grande valore ecologico. Gli Histosols sono anche degli ottimi archivi utilizzabili per ricostruzioni paleo-ambientali. Ad esempio, la torbiera di Pessey, nel Parco Naturale del Mont Avic, è stata recentemente studiata per ottenere informazioni circa l'evoluzione delle comunità vegetali e, quindi, del clima dalla fine dell'ultimo periodo glaciale fino ad oggi (Celi et al., 2016). Altri studi sono stati effettuati nelle torbiere nel Vallone di San Grato (Issime, Brugiapaglia, 2014), presso il ghiacciaio del Rutor (La Thuile, Burga, 1995) e presso il Colle di Joux (Saint-Vincent, Menozzi e Montanari, 2002).

Il pascolo è in grado di alterare profondamente il chimismo di questi suoli organici, arricchendoli in azoto e riducendo quindi le possibilità competitive di specie adattate a scarsi nutrienti come le piccole piante insettivore (*Drosera rotundifolia* e *Pinguicola* spp.). Le opere di drenaggio per favorire il pascolo sono anch'esse devastanti per l'ecosistema-torbiera, causando l'ossidazione e la mineralizzazione della sostanza organica, con il conseguente rilascio di grandi quantità di anidride carbonica in atmosfera.

Caratteristiche chimico-fisiche (principali):

	pH	Corg %	Fibre %
H1	4.1	26.2	74
H2	4.6	28.3	32



Fig. 17.1.1,2: Dystric Fibric Histosol presso la Torbiera di Leser, Parco Naturale del Mont Avic (MTA P77).

4.17.2: UTS 17b: Eutric Sapric Histosol

Descrizione generale e processo pedogenetico prevalente

Questi suoli di zona umida sono più ricchi in basi e in nutrienti, grazie al substrato più basico su cui si formano ed alle esposizioni meridionali. Sono comunque caratterizzati da accumulo di sostanza organica causato dalla scarsità di ossigeno in condizioni di sommersione; il maggior contenuto in nutrienti e una parziale ossigenazione durante certi periodi particolarmente asciutti fanno sì che questi suoli organici abbiano un maggior grado di decomposizione rispetto alla UTS 17a (Dystric Fibric Histosol).

Servizi ecosistemici e vulnerabilità

I Servizi ecosistemici e la vulnerabilità di questi suoli organici umidi sono analoghi all'UTS 17a. In particolare, accumulano grandi quantità di carbonio e supportano comunità vegetali ed animali rari e di pregio. La rarità di questi ecosistemi fa sì che questi ecosistemi siano da proteggere, come già accade in alcuni siti (ad esempio, la Riserva Naturale Stagno di Loson, presso Verrayes).



Fig. 4.17.2.1: Lo stagno di Loson nella omonima riserva naturale, uno dei pochi esempi di Eutric Sapric Histosol in Valle d'Aosta (Verrayes).

4.17.3: UTS 18: Luvisols sepolti

Descrizione generale e processo pedogenetico prevalente

Lungo i versanti dell'Adret lungo la valle centrale (suoli osservati nei comuni di Saint Pierre, Sarre, Saint-Christophe, Verrayes and Saint-Denis), in rari casi, è possibile osservare, nelle scarpate al bordo delle strade o in alcuni vigneti, dei suoli molto particolari, caratterizzati da orizzonti superficiali poco evoluti e con accumulo di carbonati (UTS 6, Kastanozems, e UTS 7, Calcisols), che coprono orizzonti molto più evoluti. Questi orizzonti profondi sono rossastri e ricchi in argilla (Bt), evidenziando un grado di evoluzione pedogenetica molto superiore a tutti gli altri suoli della Valle d'Aosta. Vi sono anche evidenze di movimenti di argilla, diventando così Luvisols, la cui formazione necessita di tempi molto lunghi e climi umidi, molto diversi dall'attuale. L'età e la storia evolutiva di questi suoli sono da studiare e potenzialmente possono dare importantissime informazioni circa le condizioni paleoambientali nella Valle d'Aosta centrale.

Servizi ecosistemici e vulnerabilità

Il valore come archivio di informazioni paleo-ambientali è il principale servizio ecosistemico di questi suoli. La loro rarità rende necessaria la loro conservazione, in un ambiente potenzialmente interessato da riordini fondiari e terrazzamenti.



Fig. 4.17.3.1,2: Luvisol rossastro e molto compatto sotto a un profilo più recente classificabile come Skeletic Calcic Kastanozem nei pressi di Saint-Christophe (RISK M145) e un altro sotto Kastanozem, nei pressi di Verrayes (profilo non catalogato).

4.17.4: UTS 19: Anthrosol (riordini fondiari)

Descrizione generale e processo pedogenetico prevalente

Ampi settori delle zone agricole della Valle d'Aosta hanno recentemente subito lavori di riordino fondiario, durante i quali i suoli originari, spesso terrazzati e pietrosi, sono stati spianati per favorire le lavorazioni e le pietre sono state macinate e rimesse nel suolo. Spesso sono anche stati costruiti impianti di irrigazione, che hanno cambiato drasticamente l'idrologia originaria di questi suoli. La sequenza di orizzonti originaria, quindi, è stata cancellata e semplificata. Uno degli aspetti principali di questi suoli è l'elevato grado di compattazione degli orizzonti sotto la superficie, che talvolta impedisce l'approfondimento delle radici. Con il passare del tempo, però, l'attività biologica, soprattutto dei lombrichi, tende a migliorare la struttura e a rendere il suolo meno compatto e più permeabile.

Dal punto di vista chimico, il pH tende ad essere elevato grazie al rimescolamento tra orizzonti superficiali e profondi.

Tipo di humus

Questi suoli di prato, a quote non elevate, normalmente hanno humus biologicamente attivi di tipo MULL, con sottili orizzonti organici OL e orizzonti A con struttura grumosa grossolana creata dall'attività dei lombrichi.

Uso del suolo

Suolo caratteristico di prati da sfalcio e pascoli di bassa quota, spesso fertilizzati e irrigati.

Servizi ecosistemici e vulnerabilità

Questi Anthrosols sono suoli importanti per la produzione di biomassa agricola, dopo alcuni anni di compattazione eccessiva; l'applicazione di fertilizzanti e l'irrigazione accelerano i processi biologici per il recupero della fertilità originaria dopo le lavorazioni. I servizi ecosistemici di conservazione della biodiversità, di archivio e di ricreazione sono invece piuttosto bassi.

Caratteristiche chimico-fisiche (principali):

	pH	Corg %	C/N	CaCO ₃ %	SK %
Ap1	7.4	2.4	10.8	2.0	15
C	7.7	1.7	10.7	1.4	50



Fig. 4.17.4.1,2: Tipico ambiente di Anthrosols irrigati presso Verrayes, con una copertura vegetale molto superiore rispetto alla vegetazione sub-steppica naturale (2).



Fig. 4.17.4.3,4: attività di rimodellamento dei suoli e suolo ottenuto presso Gaby (UNITO P18).

4.17.5: UTS20: Anthrosol (Piste da sci)

Descrizione generale e processo pedogenetico prevalente

I comprensori sciistici rappresentano un'importante attrazione turistica, fondamentale per l'economia della Valle d'Aosta. Tuttavia, come la maggior parte delle attività di origine antropica, la costruzione e la gestione delle piste da sci e delle infrastrutture connesse (es. skilift, seggiovie, funivie, cabinovie ecc..) genera un impatto rilevante sugli ecosistemi (Freppaz et al., 2013), specialmente alle quote più elevate. Spesso le operazioni legate a queste attività possono portare l'ecosistema all'inizio della successione ecologica primaria (Pintaldi et al. 2017). Infatti, la copertura vegetale originaria e gli orizzonti superficiali di suolo vengono rimossi, lasciando materiali meno alterati sulla superficie priva di vegetazione, che poco per volta viene ricolonizzata dalle specie pioniere, creando quindi comunità vegetali diverse rispetto a quelle originarie. Talvolta, la ricolonizzazione vegetale è aiutata dalla semina di specie di prato, non caratteristiche dei siti di alta montagna ma comunque in grado di ridurre l'erosione superficiale. Tuttavia, l'applicazione di buone pratiche di gestione del suolo nelle varie fasi costruttive e durante la manutenzione estiva, consente di mitigare gli impatti delle opere, favorendo il recupero delle funzionalità del suolo e degli ecosistemi (Hudek et al. submitted), anche se dopo molti anni. I suoli interessati dal passaggio delle piste sono quindi molto poco evoluti e tendenzialmente poveri di carbonio organico. Sebbene siano in grado di sostenere una copertura vegetale soddisfacente e relativamente ricca di specie nell'arco di pochi anni, le caratteristiche chimico-fisiche di questi suoli rimangono piuttosto distanti dai corrispettivi naturali anche dopo decenni (Hudek et al. submitted), sottolineando quindi la grande vulnerabilità di questi ecosistemi d'alta quota. In generale questi suoli presentano profili molto semplici, con orizzonti A molto sottili o più frequentemente AC, con elevato contenuto di scheletro e pH generalmente più elevato rispetto ai corrispettivi naturali, a causa del continuo disturbo dovuto al loro utilizzo. Le differenze con i suoli naturali, sia in termini di specie, sia di caratteristiche chimico-fisiche, rendono questi suoli degli ecosistemi a sé stanti. Benché siano suoli "artificiali", contribuiscono, se correttamente gestiti, ad arricchire il mosaico di paesaggi che caratterizza l'ambiente alpino e a mitigare gli impatti di un'attività fondamentale per il benessere economico e sociale della Valle D'Aosta.

Uso del suolo

Quando non coperti di neve o eccessivamente depauperati, questi suoli sostengono praterie che possono essere utilizzate come pascoli estensivi di media ed alta quota.

Tipo di humus

Il basso grado evolutivo e la presenza di orizzonti superficiali molto poco sviluppati non consentono di osservare chiaramente una strutturazione biogenica, pertanto la tipologia di humus non è determinabile.

Servizi ecosistemici e vulnerabilità

Questi suoli sono gestiti in modo tale da mantenere caratteristiche tecniche idonee alla pratica degli sport invernali, pertanto, dal punto di vista dei servizi ecosistemici, essi espletano al meglio le attività ricreative, sebbene per le loro peculiarità possano fornire supporto agli habitat e alla biodiversità e, in modo marginale, biomassa per i pascoli.

Il ridotto contenuto di carbonio organico, la struttura debole o assente e le pendenze elevate, rendono questi suoli piuttosto vulnerabili e suscettibili all'erosione. Il mantenimento del cotico erboso risulta quindi fondamentale per limitare i processi erosivi.



Fig. 4.17.5.1, 2: Pista da sci nel pressi di Champoluc nel Comune di Ayas e suolo al suo interno; i podzols (UC 1, 2) dominano nel versante circostante.

4.17.6: UTS 21: Spolic Technosol (depositi di miniera)

Descrizione generale e processo pedogenetico prevalente

Gli Spolich Technosols sono suoli presenti (fortunatamente) in poche località della Valle d'Aosta, in siti storicamente utilizzati per lavorazioni minerarie (Lorenzini, 1995). I principali esempi sono nel Vallone del torrente Chalamy, nel comune di Champdepraz, nei pressi dell'Alpe Servaz, nei pressi di Fussy e Hérin; altri esempi si ritrovano nei pressi di La Thuile (piombo e argento), Brusson, Cogne e Saint-Marcel. In quest'ultima località raggiungono probabilmente la massima frequenza a livello regionale.

Sono suoli generalmente contaminati da elevati contenuti in metalli pesanti, diversi a seconda del principale metallo estratto. In particolare, le miniere di magnetite (usate per l'estrazione del ferro), localizzate in zone serpentinitiche, producono scorie in cui altri metalli pesanti, come nichel e cromo, sono estremamente concentrati. In particolare, nichel e cromo possono raggiungere concentrazioni prossime allo 0.1% nei suoli dove questo materiale era scartato, come nei pressi dell'Alpe Servaz (Parco Naturale del Mont Avic); dove veniva estratto il rame (come nelle miniere di Hérin o presso Saint-Marcel), i suoli sono normalmente contaminati da contenuti estremamente elevati di rame.

Studi condotti sulle comunità di microartropodi del suolo hanno evidenziato come solo le tipologie di microartropodi meno sensibili alla contaminazione riescono a vivere in questi suoli. Anche le comunità microbiche sono in condizioni di stress molto elevato e presentano biomasse basse (D'Amico et al. 2009).

Tipo di humus

Sono suoli caratterizzati da un accumulo molto importante di lettiera, che rimane prevalentemente indecomposta (OL ed OF) a causa dello stress provocato dai metalli pesanti.

Uso del suolo

Al momento questi suoli sono coperti da vegetazione spontanea, spesso foresta di conifere.



Fig. 4.17.6.1,2: Spolic Technosol presso l'Alpe Servaz, nel Parco del Mont Avic (suolo non catalogato su base regionale), formato a partire dagli scarti delle lavorazioni per l'estrazione del ferro proveniente dalla Miniera del Lac Gelé.



Fig. 4.17.6.3,4: Versante a Spolic Technosol nella zona mineraria di Saint-Marcel, utilizzata in passato per l'estrazione del rame. A destra, l'Eva Verde, il ruscello contaminato da rame (da cui il colore) che passa attraverso i materiali minerari.

4.18 Suoli su serpentinite

Caratteri generali

Le serpentiniti, rocce metamorfiche derivate dalle peridotiti del mantello oceanico, sono rocce ultramafiche, composte prevalentemente dalle varie forme del minerale serpentino (antigorite, crisotilo e lizardite), associato a minerali accessori ricchi di ferro quali magnetite, cromite, clorite e, in minor quantità, anfiboli. In Valle d'Aosta, gli affioramenti di serpentinite sono molto frequenti nel settore centro-orientale, soprattutto tra la Valle di Champorcher, il Parco del Mont Avic, la Valle di Clavalité e il settore di Saint-Vincent e Châtillon, dove costituiscono uno dei principali tipi di substrato. Sono anche diffusi nella Valtournenche e in Valle d'Ayas. Vi sono grandi affioramenti anche presso Gressoney-la-Trinité e nella valle di Cogne. Si rinvencono affioramenti minori presso Verrayes, Saint-Denis, in alta Valsavarenche, nella Valle di Rhêmes, a La Thuile, Ollomont e Gressan. In tutti questi siti, predominano le serpentiniti composte da antigorite prevalente, con solo limitati affioramenti ricchi in crisotilo, minerale amiantifero, il principale presso Emarèse) (fig. 4.18.1).

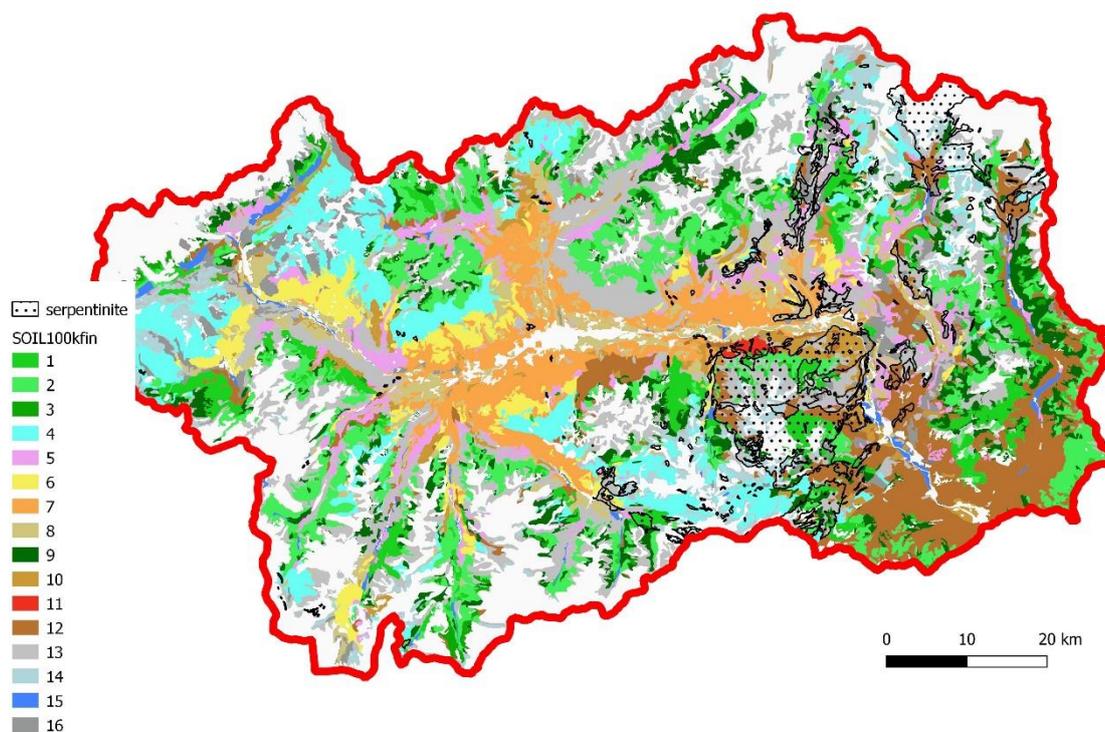


Fig. 4.18.1: carta dei suoli della Regione Valle d'Aosta, con evidenziate le zone con substrato serpentinitico.

Le rocce ultramafiche sono generalmente povere di elementi nutritivi per le piante, come calcio, fosforo e potassio.

Tabella 2.1. Confronto tra la concentrazione di alcuni ossidi ed elementi in cinque rocce comuni in Valle d'Aosta, dal diverso chimismo (Verger et al., 1993; Brooks, 1987; Porder and Ramachandran, 2012).

	Granito / gneiss (acido - sialico)	Gabbro (basico - mafico)	Prasinite / metabasite (basica - mafica)*	Serpentinite (Ultrabasico – ultramafico)	Calcescisto (misto)
SiO ₂ (%)	70.2	48.2	49.0	40.5	31.5
Al ₂ O ₃ (%)	14.5	17.9	16.3	0.3	15.4
Fe ₂ O ₃ (%)	3.4	4.4	10.6	10.9	6.5
MgO (%)	0.9	7.5	7.1	37.4	12.2
CaO (%)	2.0	11.0	8.4	0.7	32.1
K ₂ O (%)	4.1	0.9	0.3	0.1	2.2
P (ppm)	750	550	1000	130	700
Cr (ppm)	tracce	1000	1200	1700	40
Ni (ppm)	tracce	400	600	1300	30

I processi ed i tipi di suolo formati su serpentiniti non sono particolarmente diversi rispetto a quelli sviluppati su rocce mafiche come meta-gabbri e pietre verdi o su rocce acide, in Valle d'Aosta (D'Amico et al. 2008). Nonostante ciò, alcuni parametri chimici e fisici sono fortemente influenzati dal particolare tipo di substrato. In particolare, questi suoli rimangono poveri in nutrienti quali fosforo e calcio, anche se questo deficit tende a ridursi nei suoli più sviluppati, mentre il contenuto in metalli pesanti, nichel e cromo, rimane alto, anche se si riduce nei suoli più evoluti.

La produttività vegetale rimane quindi bassa, molto inferiore che in suoli su altri substrati; questo ha un effetto sulla pedogenesi, in genere rallentata. Un esempio di come tutti i processi pedogenetici siano rallentati è mostrato nell'area proglaciale del ghiacciaio della Verra Grande (Valle d'Ayas, fig. 4.18.2), dove in 150 anni circa i suoli sono ancora privi di orizzonti B e con sottili orizzonti A (Regosols, UTS 13, fig. 4.18.4), mentre sulle morene del Lys (Valle di Gressoney, con substrato a gneiss dominante, fig. 4.18.3), nello stesso lasso di tempo, si sono formati suoli podzolici poco sviluppati (tendenti alla UTS 1, fig. 4.18.5). I suoli sulle superfici più vecchie sono Podzols più o meno sviluppati in ambedue gli ambienti (UTS 1a e 1b, rispettivamente), al piano subalpino (D'Amico et al, 2014; 2015; 2017, 2019).

Anche l'attività della comunità microbica e dei microartropodi del suolo sono estremamente ridotte, soprattutto a causa dell'elevato contenuto di metalli pesanti che danno effetti di tossicità (D'Amico et al., 2009).



Fig. 4.18.2: morene del ghiacciaio della Verra depositate tra il 1821 e il 1945, scarsamente vegetate.



Fig. 4.18.3: morene del ghiacciaio della Lys depositate tra il 1821 e il 1945, colonizzate da una foresta subalpina di larice ben sviluppata e prossima allo stadio climax, con substrato a gneiss prevalente.



Fig. 4.18.4,5: suoli su morene depositate intorno al 1860, nell'area proglaciale della Verra Grande (serpentine, con suoli grigi poco evoluti, UTS 13) e del Lys (gneiss, con suoli che tendono all'UTS 1).

Le rocce ultramafiche sono descritte come substrato per associazioni vegetali particolari rispetto ad altre formazioni litologiche, le cui caratteristiche generali sono, a livello globale:

- povertà di specie ed individui rispetto alle zone circostanti con substrato meno selettivo;
- alcune specie sono rappresentate da razze specializzate differenziate morfologicamente;
- coesistenza di specie acidofile e basifile;
- aspetto e composizione specifica tendenzialmente xerofila;
- frequenza di alcune determinate famiglie o generi nelle varie aree, come le Cariofillacee nell'Europa nord-occidentale e le brassicacee nel bacino del Mediterraneo.

In Valle d'Aosta, in particolare, la vegetazione presenta specie spesso diverse rispetto ai substrati adiacenti, coperture inferiori e minor produttività (Fig. 4.18.6). Il fattore del suolo che influisce maggiormente sulla presenza di specie endemiche è il nichel, sia al piano collinare e montano (D'Amico et al., 2014), che al piano subalpino e alpino (D'Amico e Previtali, 2012, D'Amico et al., 2017).



Fig. 4.18.6: Limite netto tra suolo su serpentinite e gneiss, colonizzati da comunità vegetali completamente diverse: dominata da specie endemiche (*Carex fimbriata*, *Thlaspi sylvium*), e con basse coperture a sinistra su serpentinite, dominata da *Carex curvula* e specie associate a destra, su gneiss (sulla vetta della Becca Raty, Parco Naturale del Mont Avic, Champorcher, presso i profili MTA P138, UTS 10, e P177, UTS 12).

Alcune delle specie endemiche che crescono solo su suoli serpentinitici nelle Alpi Occidentali sono iperaccumulatrici di nichel, cioè accumulano al loro interno quantitativi di nichel estremamente elevato, pari talvolta allo 0.5-1% in peso. Al piano collinare e montano, in ambienti xerici, ad esempio, cresce l'*Alyssum argenteum* (fig. 4.18.7), mentre salendo di quota vi sono *Thlaspi sylvium* (endemica mostrata in fig. 4.18.8), *Thlaspi caerulescens* (non endemica, ma distribuita preferenzialmente su substrati ricchi in metalli pesanti), *Thlaspi rotundifolium* subsp. *corymbosum*.

Tra le non accumulatrici di nichel, sono endemiche *Cardamine plumieri* (soprattutto su rupi e pietraie, fig. 4.18.9), *Carex fimbriata* (diffusa al piano alpino e subalpino superiore al posto del *Carex curvula*), *Aethionema thomasianum* (solo in alcuni siti in valle di Cogne) ed alcune felci quali *Notholaena maranthae* ed *Asplenium adulterinum*.



Fig. 4.18.7, 8, 9: *Alyssum argenteum* (Vallone di Ponton, Fénis); *Thlaspi sylvium* (Vallone della Legna, Champorcher), *Cardamine plumieri* (morena del Ghiacciaio di Verra Grande, Ayas).

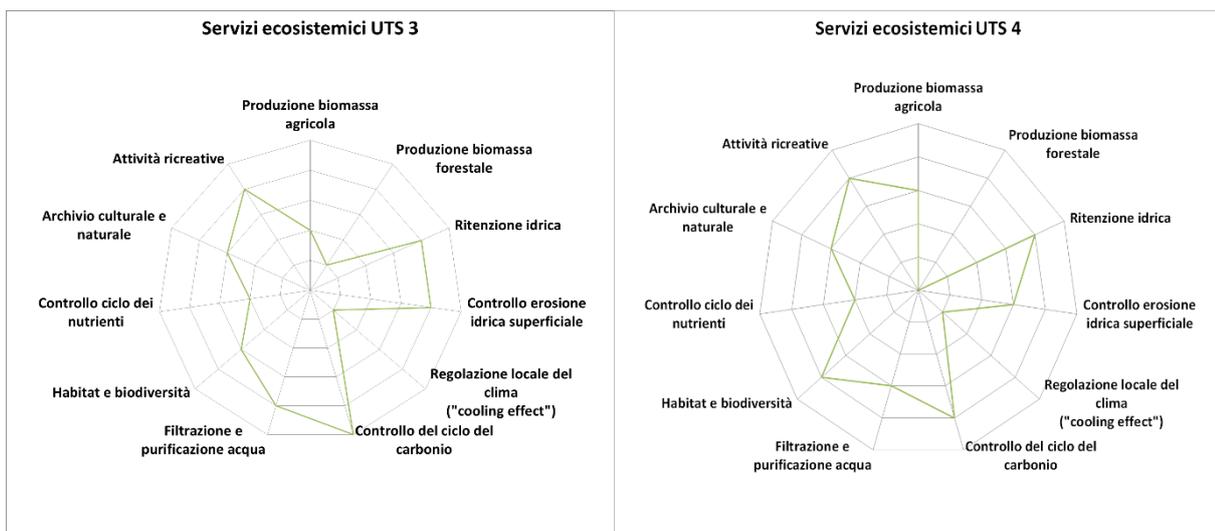
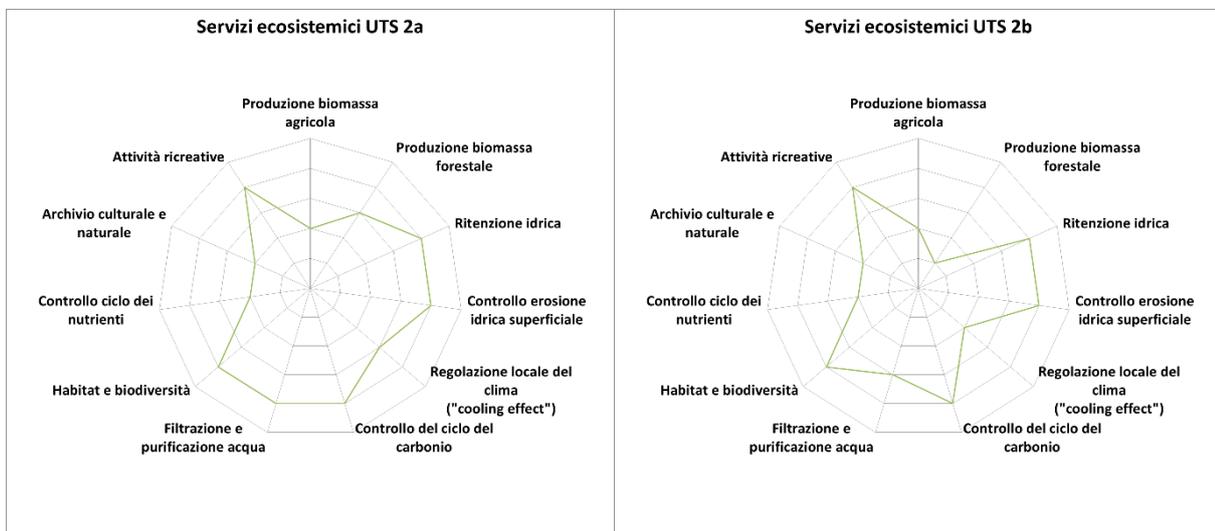
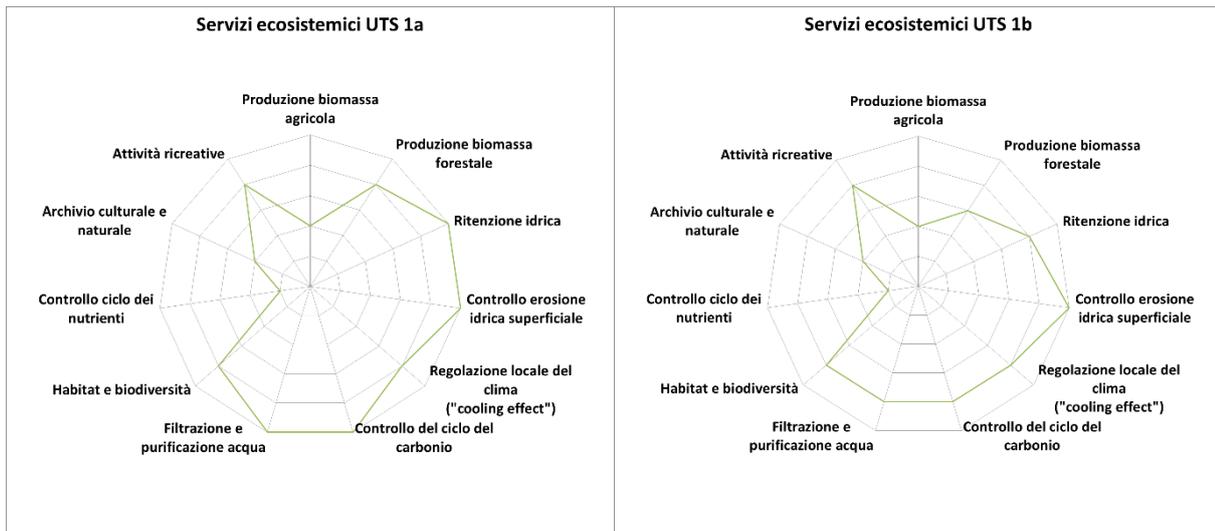
Tra le specie arboree, al piano montano e subalpino, *Picea abies*, *Abies alba* e *Pinus cembra* sono estremamente rari su serpentinite, mentre *Pinus uncinata* diventa l'albero dominante insieme a *Larix decidua*.

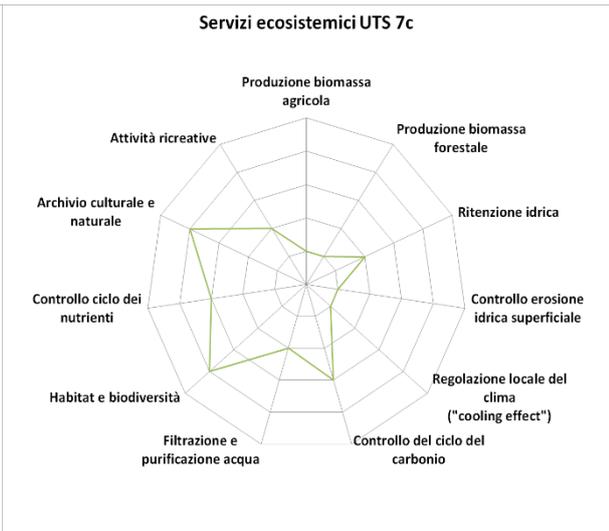
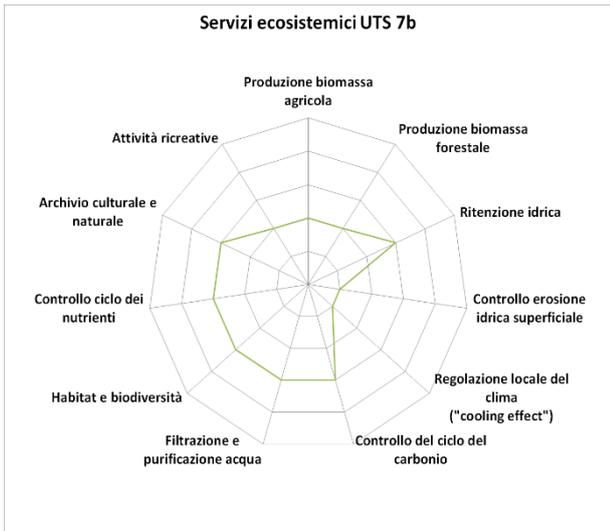
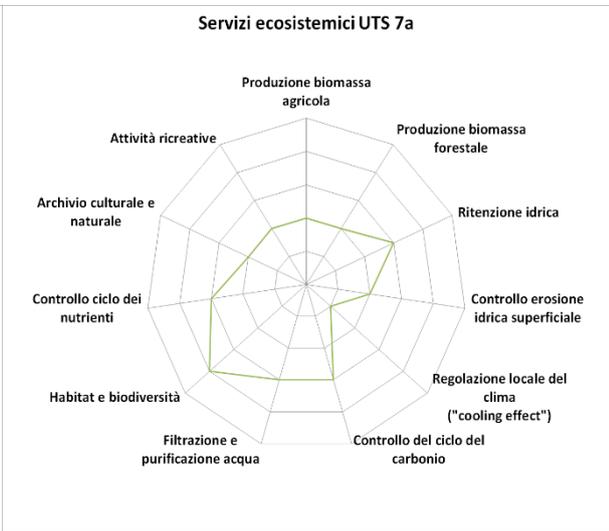
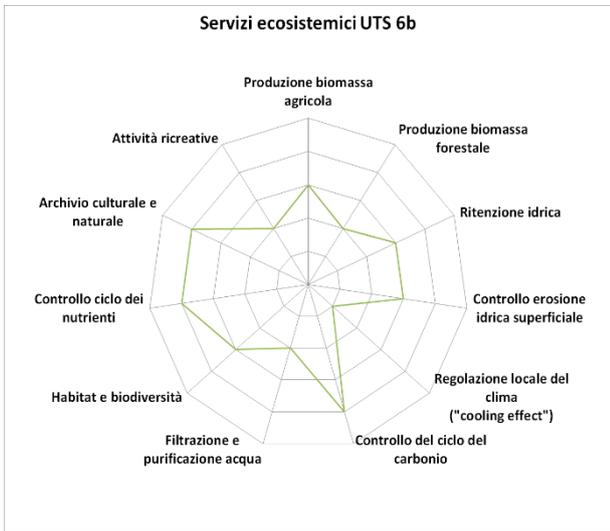
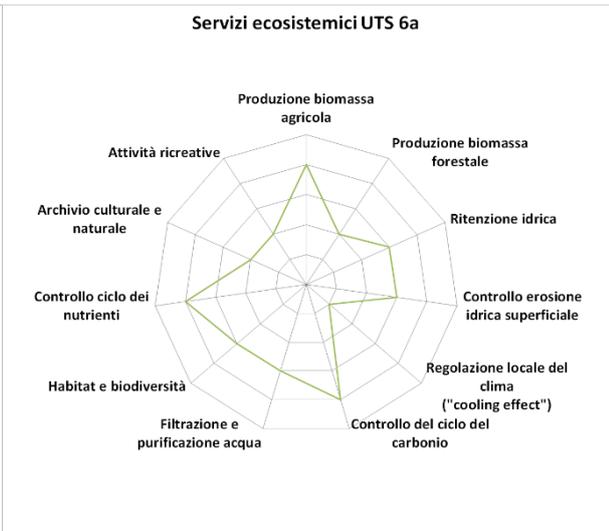
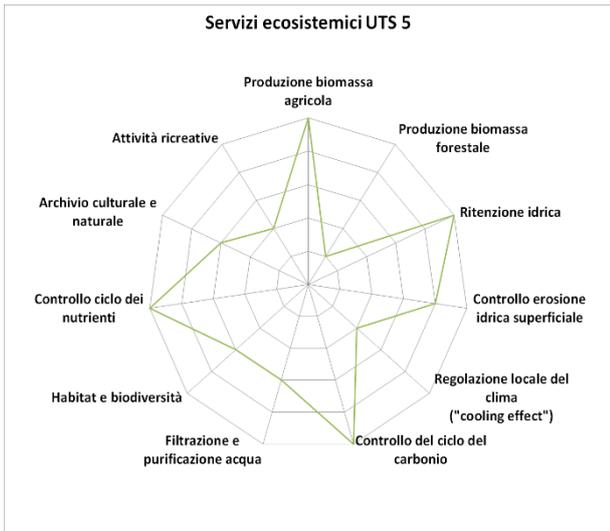
Servizi ecosistemici e vulnerabilità

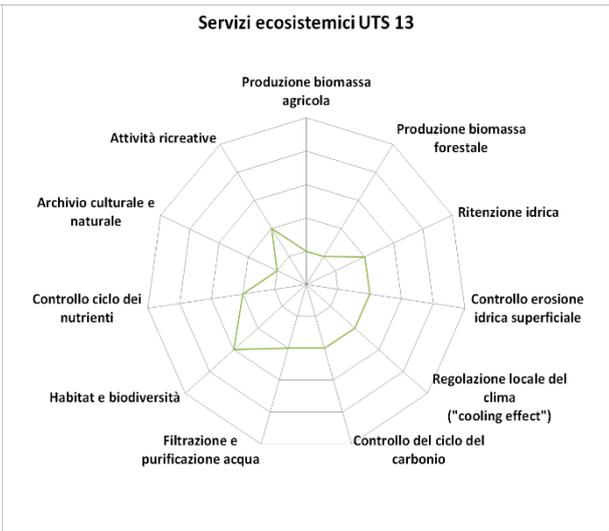
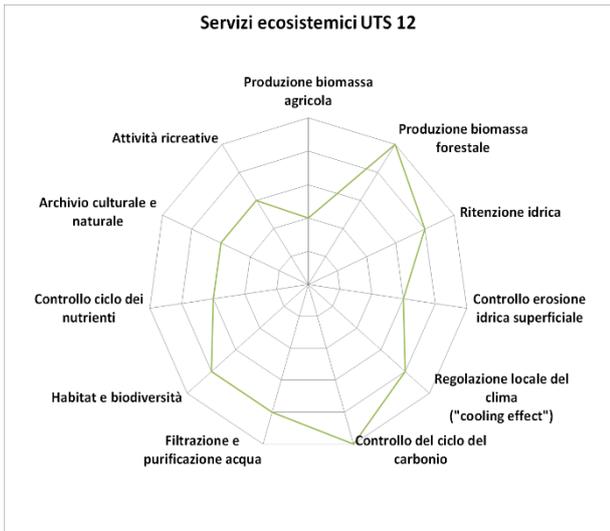
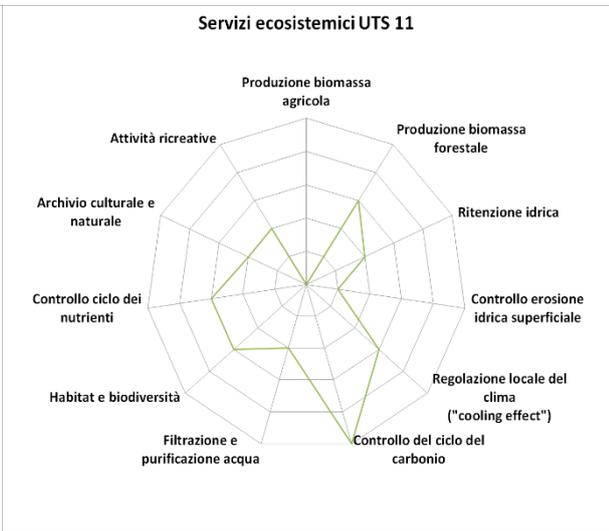
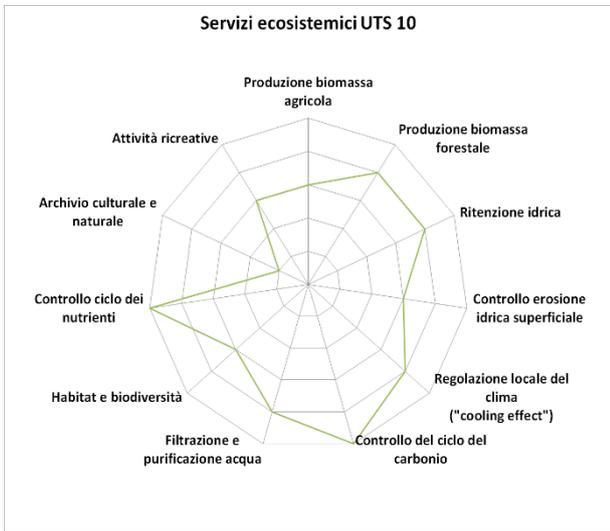
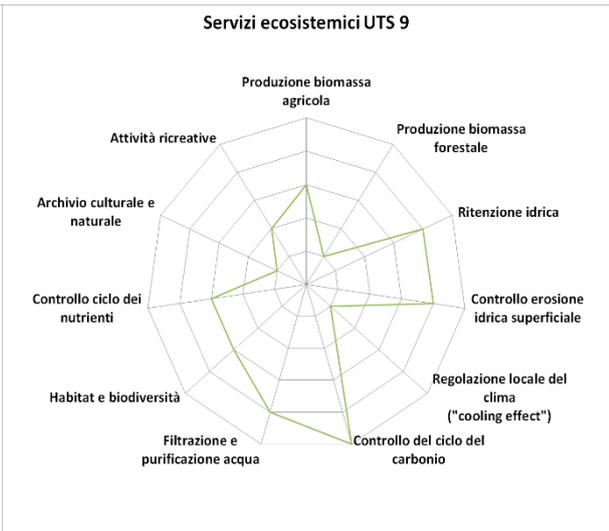
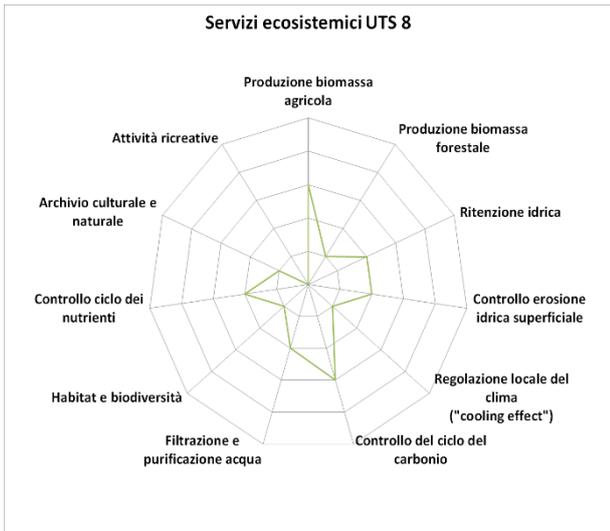
I tipi di suolo su serpentinite sono, quindi, piuttosto simili, dal punto di vista genetico, ai suoli su rocce sialiche. Dal punto di vista chimico, però, questi suoli sono problematici per la presenza di contenuti molto elevati di nichel e cromo (soprattutto) e per la scarsità di nutrienti. Le lavorazioni sono sconsigliate, in assenza di protocolli molto conservativi e studi specifici in ogni sito, in quanto gli orizzonti profondi meno alterati presentano i contenuti massimi di metalli pesanti che, portati in superficie, sarebbero rapidamente rilasciati con l'alterazione e mobilizzati. Le acque di sorgente possono anche presentare problemi di contaminazione naturale.

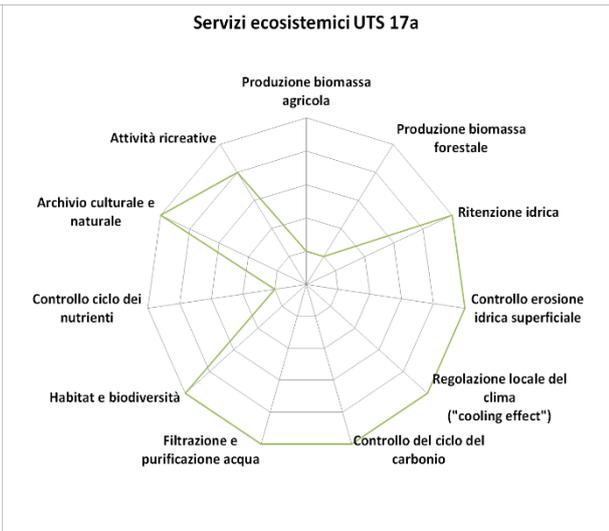
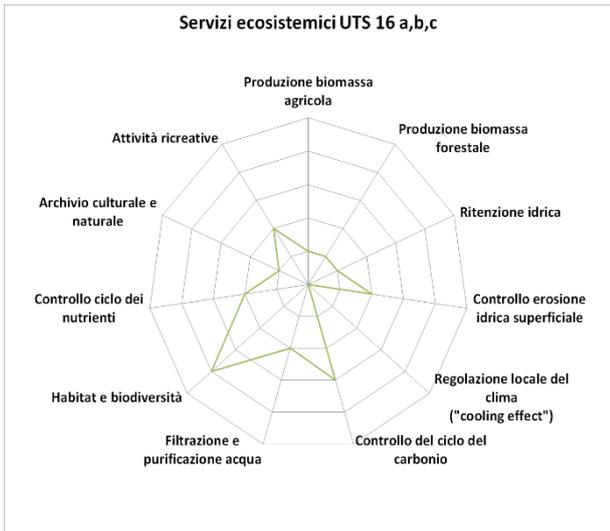
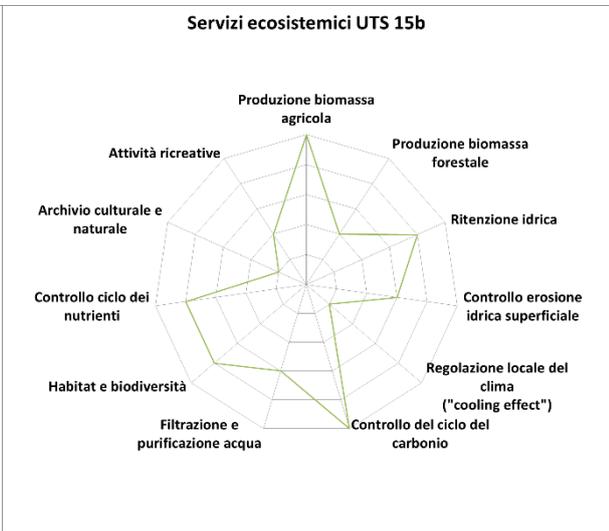
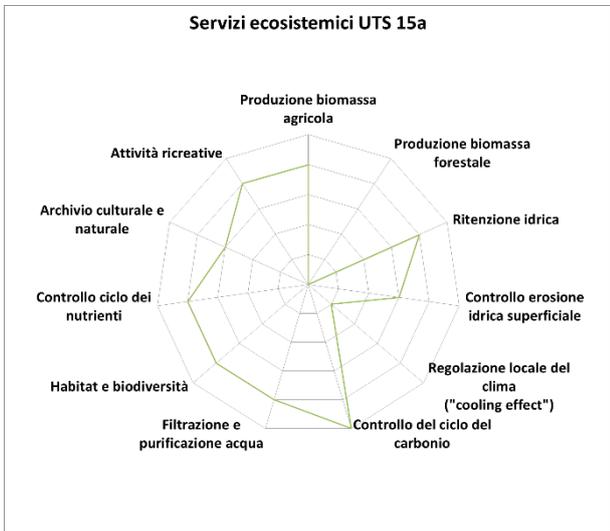
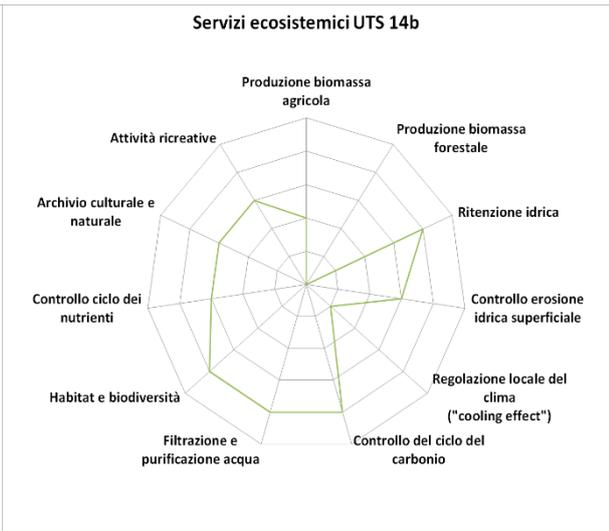
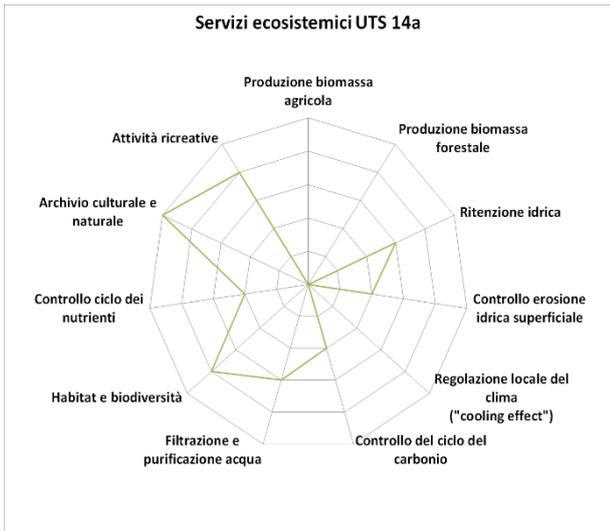
La produttività agricola dei suoli su serpentinite è fortemente limitata dalla scarsità di nutrienti e dalla presenza di metalli pesanti, ma questi suoli forniscono importanti servizi ecosistemici per la biodiversità vegetale, in relazione alla presenza di numerose specie endemiche o particolarmente ben adattate e per le attività ricreative, in relazione alla presenza di paesaggi molto particolari e selvaggi.

Appendice: Grafici dei servizi ecosistemici









5 Ringraziamenti

Si ringraziano tutti gli enti e le persone che hanno gentilmente fornito i dati pedologici pregressi utilizzati per le elaborazioni che hanno portato alla creazione della Carta dei Suoli. Si ringrazia il DISAFA - Università degli Studi di Torino, in particolare il Prof. Michele Freppaz e la Dott.ssa Silvia Stanchi, il DISAT - Università degli Studi di Milano Bicocca, in particolare i prof. Franco Previtali, Roberto Comolli, Emilio Padoa Schioppa e la Dott.ssa Claudia Canedoli, il Parco Nazionale del Gran Paradiso, il Parco Naturale del Mont Avic, l'Institut Agricole Régional – IAR, in particolare il sig. Odoardo Zecca, l'Istituto per le Piante da Legno e L'Ambiente (IPLA) e Arpa Valle D'Aosta.

6 Bibliografia

Amedei M., Angelini P., Cremonese E., Morra di Cella U., Pari E., Siniscalco C. (2009). Carta degli Habitat. Regione Valle d'Aosta. ISPRA, Dipartimento Difesa della Natura, Servizio Carta della Natura.

Bazzoffi P. (2007). Erosione del suolo e sviluppo rurale. Fondamenti e manualistica per la valutazione agroambientale. Edagricole, Bologna.

Brooks R.R. (1987). Serpentine and its vegetation. A multidisciplinary approach. Dioscorides Press, Portland.

Brugiapaglia E. (2014). La torbiera di Mongiovetta (Vallone di San Grato): un archivio per ricostruire la storia del territorio negli ultimi millenni. Augusta, 51-55.

Burga C.A. (1995). Végétation et paléoclimatologie de l'Holocène moyen d'une tourbière située au front du Glacier du Ruitor 2510m (Vallée d'Aoste, Italie). Revue de Géographie Alpine 83-1 : 9-16.

Celi L., D'Amico M.E., Freppaz M., Pavan C., Siniscalco C., Zaccone C. (2016). Relazioni tra specie vegetali e clima nella formazione di una torbiera alpina su serpentinite. Nimbus, 75.

Costantini E.A.C. (2006). La classificazione della capacità d'uso delle terre (Land Capability Classification). In: Costantini, E.A.C. (Ed.), Metodi di valutazione dei suoli e delle terre, Cantagalli, Siena, pp. 53 – 62.

D'Amico M.E., Julitta F., Previtali F., Cantelli D. (2008). Podzolization over ophiolitic materials in the Western Alps (Natural Park of Mont Avic, Aosta Valley, Italy). Geoderma 146:129–136.

D'Amico M.E., Calabrese F., Rossetti A., Previtali F. (2009). Heavy metals and biological properties of subalpine soils on Ophiolites in the Italian Western Alps. Northeastern Naturalist 16:193–214.

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

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

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

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

D'Amico M.E., Almeida J.P., Barbieri S., Castelli F., Sgura E., Sineo G., Martin M., Bonifacio E., Wallander H., Celi L. (2019). Ectomycorrhizal utilization of different phosphorus sources in a glacier forefront in the Italian Alps. *Plant and Soil*.

Egli M., Dahms D., Norton K. (2014). Soil formation rates on silicate parent material in alpine environments: Different approaches—different results? *Geoderma* 213:320-333.

FAO (2006). *Guidelines for Soil Description*, fourth ed. FAO, Roma.

Freppaz M., Filippa G., Corti G., Cocco S., Williams M.W., Zanini E. (2013). Soil Properties on Ski-Runs. In *The Impacts of Skiing and Related Winter Recreational Activities on Mountain Environments*; Rixen, C., Rolando, A., Eds.; Bentham Science Publisher: Bussum, The Netherlands, pp. 45–64.

Hudek C., Barni E., Stanchi S., D'Amico M., Pintaldi E., Freppaz M. (submitted). Mid and long-term ecological impacts of ski run construction on alpine ecosystems.

IPLA (2010). *Manuale operativo per la valutazione della capacità d'uso su scala aziendale*. http://www.regione.piemonte.it/governo/bollettino/abbonati/2010/07/attach/dgr_13271_040_08022010_a1.pdf.

IUSS Working Group WRB, 2015. *World Reference Base for Soil Resources 2014, Update 2015. International Soil Classification System for Naming Soils and Creating Legends for Soil Maps*. World Soil Resources Reports No. 106. FAO, Rome

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

Lorenzini C. (1995). *Le antiche miniere della Valle d'Aosta*. Ed. Musumeci, Quart (AO).

Menzio B.I., Montanari C. (2002). La storia in una torbiera. *Environnement* 20:32-35.

Meusburger K., Steel A., Panagos P., Montanarella L., Alewell C. (2012). Spatial and temporal variability of rainfall erosivity factor for Switzerland. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 16:167-177

Nearing M.A. (1997): A single, continuous function for slope steepness influence on soil loss. *Soil Science Society of America Journal* 61 (3), 917-919.

Pintaldi E., Hudek C., Stanchi S., Spiegelberger T., Rivella E., Freppaz M. (2017). Sustainable Soil Management in Ski Areas: Threats and Challenges. *Sustainability* 9(11): 2150

Regione Valle d'Aosta (2015). su Webgis:<http://geologiavda.partout.it/GeologiaVDA/default/GeoCartaGeo>.

Renard, K.G., Foster, G.R., Weesies, G.A., McCool, D.K., Yoder, D.C. (eds) (1997): *Predicting Soil Erosion by Water: A guide to conservation planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE)*. U.S. Department of Agriculture, *Agriculture Handbook* 703

Stanchi S., Freppaz M., Agnelli A., Reinsch T., Zanini E. (2012). Properties, best management practices and conservation of terraced soils in Southern Europe (from Mediterranean areas to the Alps): a review. *Quaternary International* 265:90-100.

Stanchi S., Godone D., Belmonte S., Freppaz M., Galliani C, Zanini E. (2013). Land suitability map for mountain viticulture: a case study in Aosta Valley (NW Italy). *Journal of Maps* 9(3): 367-372.

Verger J.P., Cadel G., Rouiller J., Souchier B. (1993). Végétations forestières et alpines du haut Val d'Aoste sur roches ophiolitiques et gneiss. *Rev Ecol Alp* 2:43–72.

Zanella A., Jabiol B., Ponge J.F., Sartori G., DeWaal R., Van Delft B., Graefe U., Cools N., Katzensteiner K., Hager H., Englisch M., Brethes A., Broll G., Gobat J.M., Brun J.J., Milbert G., Kolb E., Wolf U., Frizzera L., Galvan P., Kolli R., Baritz R., Kemmerse R., Vacca A., Serra G., Banas D., Garlato A., Chersich S., Klimo E., Langohr R. (2011). European Humus Forms Reference Base. <https://hal.archivesouvertes.fr/hal-00541496v2>.