



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI MILANO
FACOLTÀ DI SCIENZE AGRARIE E ALIMENTARI

Corso di laurea in
Valorizzazione e Tutela dell'ambiente e del Territorio Montano

**Caratterizzazione di alcuni suoli caratteristici
dell'Alta Valle Camonica in vista della
valutazione del fondo geochimico di Arsenico**

Relatore:

Prof. D'AMICO MICHELE E.

Correlatore:

Dott. Gilberto zaina

Elaborato finale di
Bellicini Riccardo
Matricola n. 972306

Anno Accademico 2023-2024

INDICE

RIASSUNTO	3
1 INTRODUZIONE	4
1.1 PROGETTO SUOLI	6
1.2 LA PEDOLOGIA A SUPPORTO DELL'INDAGINE.....	7
1.3 INQUADRAMENTO TERRITORIALE.....	8
1.4 INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO.....	11
1.5 INQUADRAMENTO PEDOLOGICO.....	11
2 ATTIVITA' SUL CAMPO, MATERIALI E METODI	16
2.1 MODALITA' DI ESECUZIONE DELL'INDAGINE	16
2.2 ATTIVITA' DI CAMPO	17
2.3 ANALISI PEDOLOGICHE.....	21
3 RISULTATI	25
3.1 DESCRIZIONE DEI SITI ANALIZZATI.....	25
3.1.1 ANALISI PEDOLOGICA L2 T07.....	25
3.1.2 ANALISI PEDOLOGICA L2T11.....	29
3.1.3 ANALISI PEDOLOGICA L2T14.....	31
3.1.4 ANALISI PEDOLOGICA L2T16.....	33
3.1.5 ANALISI PEDOLOGICA L2T17.....	36
3.1.6 ANALISI PEDOLOGICA L2T20.....	39
3.1.7 ANALISI PEDOLOGICA L2T24.....	42
3.1.8 ANALISI PEDOLOGICA L2T28.....	45
3.1.9 ANALISI PEDOLOGICA L2T29.....	48
3.1.10 ANALISI PEDOLOGICA L2T30.....	50
4 RISULTATI ANALITICI E DISCUSSIONE	53
4.1 VALIDAZIONE DEI RISULTATI ANALITICI.....	54
4.2 PARAMETRI ANALIZZATI IN OGNI COMUNE.....	54

4.3 ELABORAZIONE DATI.....	58
4.4 DISTRIBUZIONE DEL PARAMETRO ARSENICO IN FUNZIONE DELL'ANALISI PEDOLOGICA.....	59
4.4 DEFINIZIONE DEL VALORE DI FONDO NATURALE.....	62
5 CONCLUSIONI.....	63
REFERENZE BIBLIOGRAFICHE	64
RINGRAZIAMENTI.....	65

Riassunto

L'Arsenico è un metalloide la cui presenza è ampiamente rilevabile in tutte le matrici ambientali. A causa della sua tossicità, risulta fondamentale conoscerne la concentrazione nel suolo, soprattutto in quelle zone dove esso si trova in quantità abbondanti, al fine di gestire in modo ottimale i materiali da scavo e gli interventi di bonifica.

Nel corso del 2022, l'Arpa Lombardia ha svolto un approfondimento degli studi pregressi e dei dati disponibili agli atti relativamente alla presenza di metalli nei suoli in concentrazioni superiori ai limiti normativi. Si è quindi ritenuto opportuno esaminare in primo luogo l'ambito territoriale dell'Alta Valtellina e Alta Valle Camonica poiché, oltre a presentare valori fuori legge di arsenico, è interessato dalla realizzazione di alcune opere infrastrutturali di rilevanza comunitaria anche in vista delle olimpiadi Milano-Cortina 2026.

Arpa e Comunità Montana di Valle Camonica nell'agosto del 2022 hanno stipulato, al fine di integrare le relative conoscenze e professionalità e suddividere gli oneri economici, un protocollo di intesa con lo scopo di indagare alcuni comuni dell'alta valle e definire il Valore di fondo naturale per l'arsenico. Lo studio è stato sviluppato in conformità alle linee guida SNPA n. 8/2018, in modo che i dati raccolti e i risultati ottenuti siano confrontabili con i dati disponibili nelle altre aree studiate in Lombardia ed eventualmente in altre regioni limitrofe.

Il territorio oggetto di studio è stato suddiviso in due differenti lotti:

- Lotto n. 1: ubicato a sud della Linea del Tonale relativo ai comuni di Corteno Golgi, Edolo, Malonno e Sonico;
- Lotto n. 2: ubicato a nord della Linea del Tonale relativo ai comuni di Incudine, Monno, Ponte di Legno, Temù, Vezza D'Oglio e Vione.

Nell'elaborato sono illustrate le attività inerenti al lotto 2, eseguite in estate e autunno 2023.

Sono stati individuati 30 siti, localizzati nelle zone di fondovalle e in quelle a piede dei versanti. In ogni sito è stata aperta una trincea e prelevati due campioni a diversa profondità rispetto al piano di campagna. Oltre alle operazioni di campionamento è stata eseguita l'analisi pedologica in modo da individuare le caratteristiche del suolo e comprenderne l'evoluzione derivante dall'interazione degli elementi biotici e abiotici che coesistono all'interno di esso.

Per le analisi di laboratorio è stato incaricato da Comunità Montana il laboratorio Apave Italia CPM che ha esaminato ognuno dei campioni prelevati. L'Agenzia ha svolto solo analisi di contraddittorio per validare i dati di Apave, ed ha elaborato i risultati ottenuti per identificare le eventuali correlazioni con le caratteristiche geologiche, geomorfologiche, pedologiche del territorio indagato e per determinare i nuovi valori di fondo naturale per gli areali di riferimento.

In sintesi, sono state identificate due popolazioni di dati distinte: una relativa ai campioni raccolti sulla sponda destra (Zona 0), tutti inferiori ai limiti di legge, e l'altra ai campioni prelevati lungo il fondovalle alluvionale e sul versante sinistro della valle (Zona 4), che mostra una concentrazione di arsenico molto variabile, con valori elevati distribuiti in modo irregolare.

L'analisi pedologica ha evidenziato che i suoli appartenenti alla classe dei Fluvisol, percentualmente molto diffusi nell'area indagata, presentano un relativo incremento del contenuto di arsenico con la profondità.

In conclusione, per la Zona 0 si sono mantenute le CSC di riferimento. Mentre, date le caratteristiche geologiche e litologiche affini tra la Zona 4 del lotto 2 e la Zona 1 del lotto 1, si è ritenuto opportuno determinare per entrambe uno stesso nuovo valore di fondo naturale: 69mg/kg.

1 Introduzione

Lo studio della qualità del suolo non può prescindere dalla conoscenza del contenuto naturale di alcuni metalli e metalloidi come cromo, nichel, arsenico, zinco e cobalto, che in determinate aree della Lombardia, e in modo particolare in quelle alpine e prealpine, presentano concentrazioni oltre i limiti di legge. Risulta fondamentale approfondire lo studio in questi ambiti territoriali, mappandoli e definendo i valori del fondo naturale per favorire una gestione sostenibile dei materiali da scavo e degli interventi di bonifica, e per riconoscere eventuali contaminazioni di origine antropica. In termini generali, le fonti di contaminazione antropica da metalli possono derivare da attività industriali, agricole e civili, e in loro presenza è necessario provvedere alla bonifica dei siti e dei materiali contaminati.

L'arsenico, l'elemento protagonista di questa indagine, giunge negli ambienti terrestri ed acquatici a causa della concomitante azione di fattori naturali ed antropici che possono portare una contaminazione localizzata o diffusa in funzione della sua distribuzione spaziale. La maggior parte dei problemi ambientali legati alla presenza di questo inquinante derivano dalla sua naturale mobilizzazione.

Le acque, i suoli ed i rifiuti contaminati devono essere trattati per eliminare ed immobilizzare l'arsenico. La sua presenza nel terreno e nei corsi d'acqua fa sì che tale elemento si rinvenga nei tessuti di diverse specie vegetali. L'alimentazione è quindi la principale via di esposizione per l'uomo.

I composti inorganici dell'arsenico sono altamente tossici e la loro assunzione o il contatto prolungato con l'organismo causano disturbi al sistema cardiocircolatorio e nervoso che possono anche risultare mortali. Siccome l'esposizione costante all'arsenico è fortemente correlata anche ad un rischio accresciuto di cancro, oggi l'uso di questa sostanza è soggetto a severe restrizioni.

Raramente in natura l'As si trova allo stato puro, in quanto è associato ad elementi come argento (Ag), cobalto (Co), nichel (Ni), ferro (Fe), antimonio (Sb) o zolfo (S).

La normativa italiana relativa alla gestione delle terre e rocce da scavo (articolo 11 del DPR 120/2017) e alla bonifica dei siti contaminati (articolo 242, comma 13-ter e articolo 242 ter, comma 4 bis del d.lgs. 152/06) specifica che in un sito in cui, per cause naturali, le concentrazioni rilevate di un contaminante superino le concentrazioni soglia di contaminazione (CSC), è possibile assumere tali valori di concentrazione pari al valore di fondo naturale esistente. Quindi, il soggetto che durante la gestione dei materiali da scavo nell'ambito della realizzazione di un'opera o di un intervento di bonifica segnala il superamento del CSC, presenta all'Agenzia di protezione ambientale territorialmente competente un piano di indagine per la definizione dei valori di fondo naturale da assumere sulla base dei risultati ottenuti. Una volta definito il valore di fondo naturale per una determinata area questo potrà costituire il nuovo valore di concentrazione da utilizzare nella gestione delle matrici ambientali ponendolo come riferimento in sostituzione degli standard generali previsti dalla normativa.

Per quanto concerne le linee guida e i protocolli per la determinazione dei valori di fondo nei suoli, ma anche nelle acque sotterranee, in Italia sono disponibili diversi documenti. Ad oggi, le "Linee guida per la determinazione dei valori di fondo per i suoli e per le acque sotterranee" (linee guida n. 8 del 2018) del Sistema Nazionale per la Protezione dell'Ambiente (SNPA) costituiscono il documento più aggiornato e dettagliato al quale fare riferimento. E' stato redatto a partire dalle esperienze di campo delle singole Agenzie con l'obiettivo di coniugare, a livello nazionale, le procedure finalizzate all'acquisizione, all'elaborazione e alla gestione dei dati orientate alla determinazione dei valori di fondo.

In breve, la procedura per la determinazione e gestione dei valori di fondo nei suoli, indicata nelle linee guida SNPA n. 8/2018 e applicata anche per la realizzazione della presente indagine, prevede le seguenti fasi:

- definizione degli obiettivi del progetto in termini di contaminanti di interesse, estensione dell'area di studio e approfondimento al fine di elaborare il modello concettuale dell'area oggetto di indagine. Tutti i dati raccolti devono essere organizzati in un database (DB) sul quale saranno determinati i valori di fondo;
- analisi dei dati finalizzata ad eliminare eventuali osservazioni considerate non rappresentative del fenomeno indagato e a valutare se raggruppare i dati in sottogruppi. L'analisi deve essere svolta mediante l'applicazione di test statistici e tenendo conto del modello concettuale dell'area di studio;

- determinazione dei valori di fondo per il parametro di interesse, che significa attribuire ad esso un valore o, più in generale, associare ad esso un descrittore statistico che ne esprima la variabilità massima nel suolo per l'area oggetto di studio. I valori di fondo sono espressi come concentrazione mg/kg;
- gestione dei risultati che descrive come sfruttare i valori di fondo determinati, che possono essere utilizzati in sostituzione delle CSC oppure per un confronto con la distribuzione delle concentrazioni riscontrate nelle terre e rocce da scavo in corrispondenza della realizzazione di opere o interventi di bonifica.

1.1 Progetto suoli

A partire dal 2021 l'ARPA della Lombardia ha attuato il "Progetto Suoli" con lo scopo di esaminare la qualità dei suoli e definire i valori di fondo naturale per diversi metalli e semimetalli. Il Progetto Suoli ad oggi è riuscito a definire una determinata metodologia amministrativa ed operativa applicabile a scala comunale e sovracomunale per la definizione dei valori di fondo.

Vengono chiamati in causa Enti territoriali come Comuni, Province e Comunità Montane ed organizzazioni private come associazioni, imprese e professionisti.

L'approccio di studio adottato dal punto di vista tecnico è conforme alle Linee guida SNPA n. 8 del 2018, mentre dal punto di vista amministrativo si basa sulla stipula di un Protocollo d'intesa tra le parti interessate.

Sono diversi i risultati ottenuti dal "Progetto suoli" nel corso di questi pochi anni:

- identificazione di una metodologia di studio conforme alle linee guida SNPA n 8/2018;
- delimitazione degli ambiti territoriali;
- definizione del valore di fondo per l'arsenico in diversi comuni dell'Alta Valle Camonica e Alta Valtellina.

Si è ritenuto opportuno indagare in particolar modo le aree ove le concentrazioni di elementi come Nichel, Cromo, Arsenico risultano essere superiori naturalmente alle concentrazioni soglia di contaminazione, a causa di particolari formazioni geologiche affioranti.

Uno degli ambiti territoriali su cui è prioritario procedere alla definizione dei valori di fondo naturale è quello relativo alla macroarea dell'Alta Valtellina – Alta Valle Camonica, in cui l'arsenico è presente nei suoli in concentrazioni superiori ai limiti di legge con frequenza elevata. In questa zona è prevista inoltre la realizzazione di numerosi interventi infrastrutturali di interesse comunitario in previsione delle olimpiadi invernali Milano – Cortina del 2026, tra cui:

- SS 42 del "Tonale e della Mendola". Variante est di Edolo;
- SS 42 del "Tonale e della Mendola". Allargamento SS 42;
- Ponte di Legno. SS 42 del "Tonale e della Mendola", località Cida. Realizzazione svincolo e ridefinizione accessi al demanio stradale;

- Ponte di Legno. Località Passo del Tonale. Realizzazione del sovrappasso alla SS 42 per attraversamenti pedonali in prossimità dell'impianto a fune del ghiacciaio Presena.

Il "Progetto Suoli" include un protocollo d'intesa tra ARPA Lombardia e Comunità Montana di Valle Camonica. Per protocollo d'intesa si intende un atto che ha valore di indirizzo ed è finalizzato ad orientare le azioni strategiche su obiettivi condivisi dalle parti. In questo caso, il protocollo è stato sottoscritto ad agosto 2022 su richiesta di alcuni comuni dell'alta Valle Camonica. Le Parti hanno definito le modalità di realizzazione dell'indagine e hanno illustrato il ruolo di ciascun soggetto coinvolto.

Più in dettaglio, la Comunità Montana si è impegnata, previa acquisizione del consenso da parte di coloro che ne hanno la disponibilità, a garantire all'Agenzia l'accesso alle aree in cui effettuare i campionamenti. Inoltre essa si è occupata di effettuare l'apertura delle trincee esplorative e di incaricare un tecnico ed un laboratorio per l'esecuzione rispettivamente del campionamento e delle analisi chimico-fisiche sui campioni prelevati.

A sua volta l'Agenzia si è impegnata a supervisionare le attività di campo attenendosi alle modalità da lei stabilite nel piano di campionamento concordate con la Comunità Montana.

ARPA acquisisce inoltre un'aliquota (circa il 20%) dei campioni totali da far analizzare presso il proprio laboratorio per la validazione dei dati ottenuti dal laboratorio privato APAVE Italia CPM incaricato dalla Comunità Montana.

1.2 La pedologia a supporto dell'indagine

Il suolo, inteso come la porzione più superficiale della crosta terrestre, è il risultato della continua alterazione del substrato roccioso per successive azioni fisiche, chimiche, biologiche da parte di agenti esogeni e degli organismi che vi si insediano nel tempo. Un processo pedogenetico è una successione temporale di eventi consistenti sia in reazioni chimiche, sia in ridistribuzioni fisiche e/o biologiche di sostanze che modificano profondamente un suolo, allontanandolo, nel tempo, dalla composizione e dalle proprietà della roccia madre.

Il suolo può essere pertanto considerato una risorsa fondamentale e non rinnovabile (o almeno rinnovabile in tempi molto lunghi) per le attività dell'uomo. L'utilizzo sostenibile di questa risorsa richiede quindi particolare attenzione ed una sua conoscenza approfondita.

Lo studio di un suolo, al fine di comprendere la qualità ambientale dello stesso, richiede non solo la quantificazione dei parametri analitici ma anche l'analisi dei processi evolutivi passati e presenti che comportano lo sviluppo delle caratteristiche rilevate.

Lo studio pedologico, eseguito con l'analisi in campo del profilo pedologico e la lettura di specifiche analisi di laboratorio, permette di individuare le caratteristiche del suolo e comprenderne l'evoluzione derivante proprio dall'interazione degli elementi biotici e abiotici che coesistono all'interno del terreno nel corso dei decenni e dei secoli. L'analisi pedologica risulta perciò utile per contestualizzare i valori ottenuti dalle analisi chimiche di laboratorio ed è quindi lo strumento più idoneo per capire se sussistono processi evolutivi del sedimento o del substrato roccioso, tali da

poter divenire un fattore in grado di incidere sulla mobilità verticale e la distribuzione verticale delle concentrazioni di determinati elementi.

1.3 Inquadramento territoriale

Nell'ambito del "Progetto Suoli", si inserisce l'indagine svolta dall'ARPA Lombardia e dalla Comunità Montana di Valle Camonica per la definizione dei valori di fondo naturale per l'arsenico nei suoli dei comuni di Corteno Golgi, Edolo, Incudine, Malonno, Monno, Ponte di Legno, Sonico, Temù, Vezza D'Oglio e Vione. L'area di studio individuata dalla Comunità Montana di Valle Camonica, data la sua notevole estensione (circa 133 Km²) e la variabilità degli aspetti geologici ed idrografici, è stata suddivisa in due differenti lotti di indagine:

Lotto n. 1: ubicato a sud della Linea del Tonale nel dominio strutturale delle Alpi Meridionali e ricadente nel bacino idrografico del fiume Oglio comprendente i Comuni di Corteno Golgi, Edolo, Malonno e Sonico;

Lotto n. 2: ubicato a nord della Linea del Tonale e comprendente i Comuni di Incudine, Monno, Ponte di Legno, Temù, Vezza D'Oglio e Vione.

Le attività di indagine relative al lotto 1 sono state eseguite tra l'autunno 2022 e la primavera 2023.

Nella presente relazione vengono descritte le attività relative al lotto 2 svoltesi nell'estate del 2023, dal 13 al 21 giugno 2023.

Il territorio del lotto 2 si estende per circa 50 km² e comprende le aree di fondovalle e la porzione a piede dei versanti della valle del fiume Oglio da Edolo a Ponte di Legno, dove si sono sviluppati i principali centri abitati, in cui si concentrano anche la maggior parte delle attività antropiche. I siti oggetto di studio quindi si trovano ad altitudini differenti, da una quota minima di 860 m s.l.m. nel comune di Monno (L2T01) ad una quota massima di 1876 m s.l.m. al Passo del Tonale (L2T029).

L'area di studio presenta un tipico clima alpino, caratterizzato in generale da inverni lunghi, rigidi e nevosi e da estati brevi e temperate. La temperatura è variabile e dipende nello specifico dalla quota e dall'esposizione al sole, nonché dalla presenza di venti dominanti.

Di seguito sono raffigurate la temperatura media giornaliera e la precipitazione media giornaliera a Monno (comune di fondovalle) negli ultimi cinque anni (dal 2018 al 2023).

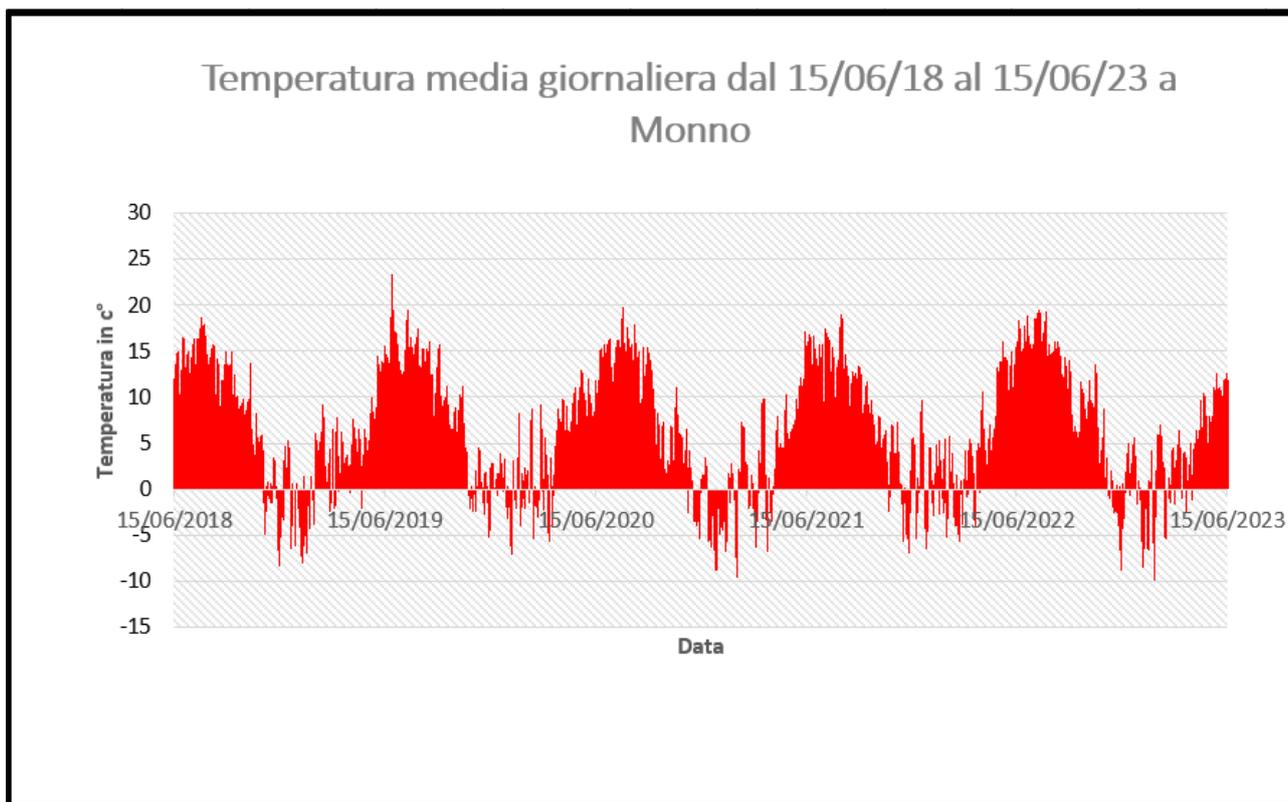


Grafico 1: temperatura media giornaliera a Monno (2018-2023)

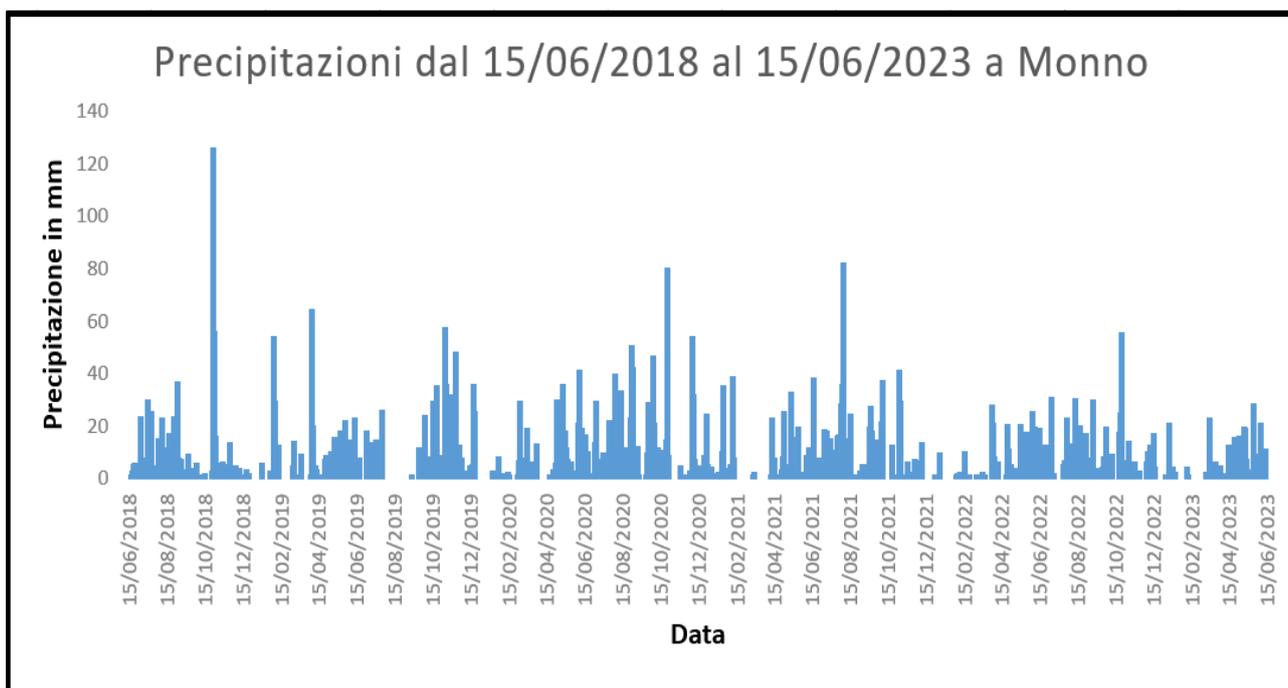


Grafico 2: precipitazioni espresse in mm a Monno (2018-2023)

Nelle due tabelle sottostanti sono riportati i valori medi annuali delle precipitazioni e delle temperature negli ultimi undici anni nel comune di Monno.

ANNO	PRECIPITAZIONI MEDIE (in mm)
2013	3,62
2014	4,25
2015	2,55
2016	3,10
2017	3,14
2018	3,13
2019	2,95
2020	3,63
2021	2,92
2022	2,27
2023	3,66

Tabella 1: precipitazioni medie annuali (2013/2023)

ANNO	TEMPERATURE MEDIE (in °C)
2013	5,03
2014	5,71
2015	6,63
2016	5,49
2017	5,82
2018	5,95
2019	6,05
2020	6,06
2021	5,29
2022	6,81
2023	6,58

Tabella 2: Temperature medie annuali (2013/2023)

Il territorio è caratterizzato dalla presenza di estese aree boschive, in parte di conifere (alle quote maggiori) e in parte di latifoglie mesofile (alle quote minori). Nei pressi dei centri abitati sono presenti aree destinate a prato permanente o a seminativi semplici (terreni utilizzati per coltivazioni erbacee soggetti all'avvicendamento o alla monocoltura, nonché terreni a riposo). Queste ultime sono le aree che hanno subito minor influenza antropica e quindi risultano essere le più idonee al campionamento dei terreni finalizzato alla definizione dei valori di fondo naturale.

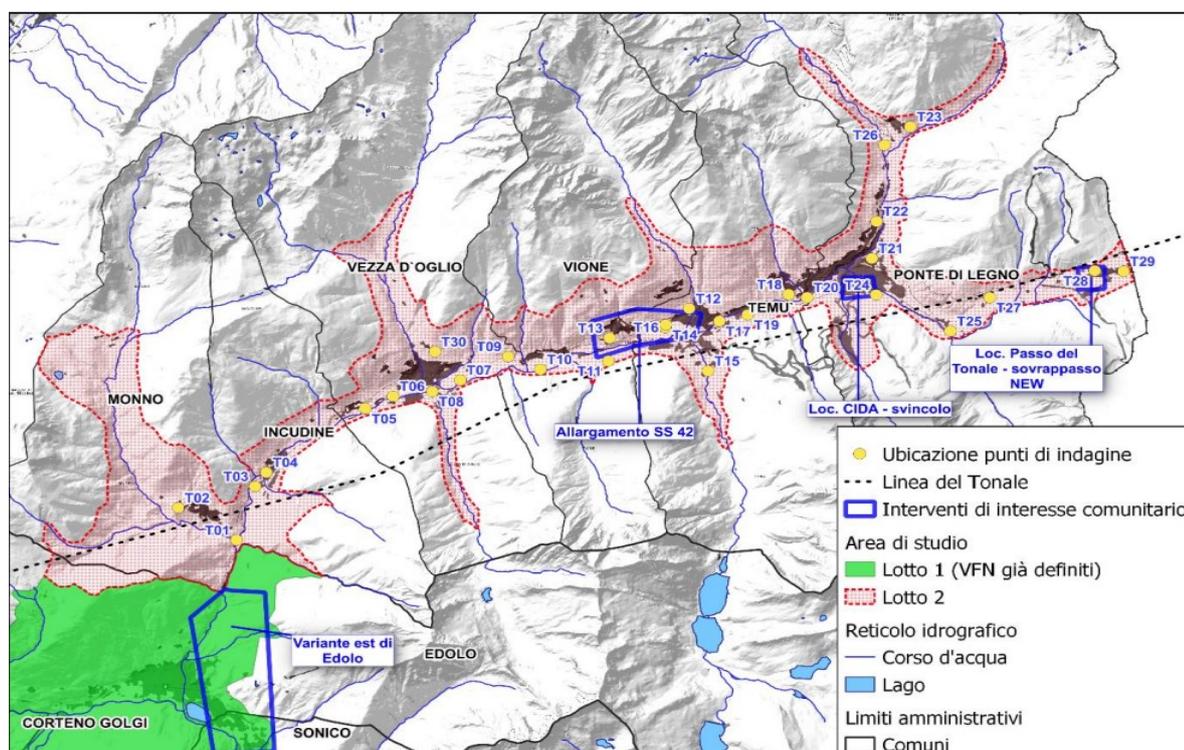


Figura 1: Distribuzione dei 30 siti di campionamento nel lotto 2 (racchiuso all'interno della linea tratteggiata rossa). In evidenza anche gli interventi di interesse comunitario in programma. ([Valcamonica-Lotto2 relazione VFN As 20231114.pdf](#))

1.4 Inquadramento geologico e geomorfologico

L'area di indagine del lotto 2 si sviluppa a livello della Linea Insubrica – Tonale ed è quindi ubicata a nord nel dominio strutturale Austroalpino (rocce appartenenti alla paleozolla africana) e delimitata a sud del batolite dell'Adamello incassato entro il basamento cristallino delle Alpi Meridionali. Il dominio tettonico Austroalpino comprende la Falda del Tonale e l'Unità di Pejo; la prima è formata principalmente da paragneiss.

Nelle aree di fondovalle, le rocce del basamento sono ricoperte dai depositi quaternari di origine glaciale e da quelli più recenti di origine fluviale e dovuti all'azione della gravità. I depositi alluvionali legati all'azione delle acque superficiali sono distinti tra depositi di piana alluvionale, che si osservano principalmente lungo il corso del fiume Oglio e sono formati da ciottoli e blocchi arrotondati in matrice ghiaiosa e sabbiosa, e depositi di conoide che si sono formati allo sbocco delle valli secondarie sulla valle primaria.

Nel territorio di Ponte di Legno, e in particolar modo nei pressi del Passo del Tonale, vi è inoltre la presenza di ampi depositi torbosi che si sono formati in corrispondenza delle aree depresse in concomitanza dei corsi d'acqua, dove le acque stagnanti hanno determinato nel tempo la deposizione di limi e torbe; tra queste, hanno particolare valenza naturalistica le aree paludose del Tonale, ubicate a fianco della S.S. 42.

1.5 Inquadramento pedologico

Come in qualsiasi contesto territoriale, in ambito alpino il suolo risulta fortemente condizionato dai fattori pedogenetici di base come roccia madre, clima, topografia, organismi.

L'ambiente alpino presenta una notevole ricchezza in diversità pedologica dovuta alla forte variabilità litologica, sedimentaria e morfologica e all'elevata eterogeneità ecosistemica dettata da quota, esposizione, precipitazioni e biocenosi. Inoltre si alternano aree continuamente ringiovanite dai processi morfologici e aree invece particolarmente stabili.

Negli ambiti morfologicamente attivi, il suolo risulta essere assente a causa di un tempo di pedogenesi troppo ristretto. La sua formazione richiede infatti un tempo di stabilità morfologica piuttosto prolungato, nell'ordine dei decenni o, per avere un suolo strutturato, dei secoli. In ambito alpino il tempo necessario per la formazione del suolo risulta ancora più lungo in quanto la stagione invernale rigida rallenta notevolmente i processi pedologici. Ove il fattore tempo non risulta invece un limite sono determinanti gli altri fattori pedogenetici, che danno origine a diverse tipologie di suoli.

Di seguito si riporta una descrizione delle tipologie pedologiche individuate per il territorio dell'alta Valle Camonica dalle cartografie ufficiali (<https://www.geoportale.regione.lombardia.it/> carta pedologica regionale)

Carta pedologica Regione Lombardia-Geoportale Lombardia) , definite secondo la tassonomia WRB (World Reference Base for Soil Resources, IUSS Working Group WRB, 2022):

- Regosol: suoli giovani e poco strutturati sviluppati in contesti che mostrano una instabilità dei fenomeni morfologici tale da permettere la colonizzazione ad opera di organismi che, associata alla degradazione della roccia madre e all'apporto di sedimenti, instaura l'avvio di processi pedogenetici ma non permette un ulteriore sviluppo a causa di frequenti fenomeni di ringiovanimento. Questi suoli non presentano orizzonti maturi e molte volte si individua solo un orizzonte A di superficie poco sviluppato al di sopra di uno o più orizzonti profondi non evoluti.
- Leptosol: suoli poco profondi formati su substrato roccioso o su un corpo detritico, caratterizzati quindi da un limitato sviluppo in termini di profondità (solitamente limitati in profondità da roccia dura continua entro 25 cm dalla superficie del suolo)
- Cambisol: suoli poco sviluppati dove la differenziazione degli orizzonti è poco marcata. Al di sotto di un primo orizzonte superficiale si sviluppa un orizzonte Bw cambico derivante da processi di alterazione fisica e/o chimiche che hanno instaurato una pedogenesi, almeno iniziale. I segni di alterazione pedogenetica possono essere la perdita della struttura originaria della roccia madre, l'incremento di argilla e ossidi e la rimozione di carbonati. Tipicamente, l'orizzonte Bw presenta una colorazione bruno-giallastra e una struttura poliedrica subangolare, derivanti dalla presenza di idrossidi di ferro rilasciati dall'alterazione del materiale parentale.



Figura 2: Cambisol nel comune di Vezza d'Oglio. Si nota la mancanza di una netta distinzione degli orizzonti pedologici

- Podzol: suoli derivanti dal processo di podzolizzazione. In particolari condizioni chimico-fisiche acide viene avviata la traslocazione in profondità di sostanza organica, nutrienti, ossidi di ferro e di alluminio. Si origina così un orizzonte sottosuperficiale sbiancato ed uno di profondità arrossato. Tale processo si verifica quasi esclusivamente al di sopra di substrati acidi, quali gneiss e rocce granitoidi, e al di sotto di vegetazioni acidofile come le foreste di conifere (ampiamente diffuse nel territorio dell'alta valle Camonica). Le foreste di conifere producono una lettiera composta prevalentemente da aghi, i quali sono ricchi di acidi e di sostanze fenoliche. L'acidità di questa

sostanza organica viene trasmessa anche al suolo che è soggetto quindi a un graduale abbassamento del pH. Talvolta, però, i podzol si possono trovare anche a quote maggiori, al di sopra del limite della vegetazione forestale, in qualità di paleosuoli (suoli molto antichi) sviluppatasi a seguito della presenza in quota di tali vegetazioni nei secoli passati.



Figura 3: Podzol nel comune di Ponte di Legno, nei pressi del Passo del Tonale.

- Umbrisol: suoli caratterizzati da un approfondimento dell'orizzonte A superficiale, arricchito in humus dalla rallentata mineralizzazione della sostanza organica. Tale processo è tipico dei suoli situati in climi umidi e freschi in assenza di periodi siccitosi (tipico clima alpino e prealpino). Si sviluppano prevalentemente su substrati rocciosi acidi. Si possono trovare con frequenza al di sopra del limite naturale dei boschi, in corrispondenza della prateria alpina. L'attività biologica di degradazione della sostanza organica avviene soprattutto ad opera di artropodi, molto meno efficienti dei lombrichi, che sarebbero presenti in condizioni di acidità meno spinta.



Figura 4: Umbrisol nel comune di Vione (orizzonte A da 0 a 35 cm di profondità)

- Fluvisol: suoli originatisi in un contesto morfologico fortemente influenzato dall'attività deposizionale di un corso d'acqua o di un bacino lacustre, entro pianure alluvionali, valli, aree di esondazione e superfici concave. I suoli, nonostante risultino essere poco sviluppati, possono presentare una spiccata stratificazione, dovuta all'alternarsi di periodi di sedimentazione a periodi di sviluppo pedogenetico superficiali. Quindi, si possono individuare in profondità orizzonti superficiali antichi, sommersi dalla sedimentazione fluviale avvenuta in tempi più recenti.



Figura 5: Fluvisol nel comune di Vezza D'oglio. Si nota la netta stratificazione degli orizzonti pedologici

In contesti pianeggianti si possono riscontrare:

- Gleysol: suoli caratterizzati da gravi problemi di drenaggio, tipici di aree depresse con strati a limitata permeabilità. Le condizioni riducenti portano a mobilizzazione degli ossidi di ferro, e di tutti gli elementi ad essi associati (fosforo, arsenico, etc.).
- Histosol: suoli con un quantitativo molto elevato di sostanza organica a differente grado di decomposizione, mal drenati e solitamente in condizioni di saturazione idrica (suoli di torbiera). La costante saturazione idrica limita la presenza di ossigeno, riducendo drasticamente l'attività degli organismi decompositori. Ciò causa l'accumulo di spessori ingenti e crescenti nel tempo di sostanza organica pressoché priva di materiali minerali.



Figura 6: Histosol al Passo del Tonale

2. Attività sul campo, materiali e metodi

2.1 Modalità di esecuzione dell'indagine

Il piano di campionamento è stato predisposto dall'ARPA della Lombardia, in conformità alla Linea Guida SNPA n. 8/2018, e approvato con il geologo professionista Gilberto Zaina incaricato dalla Comunità Montana di Valle Camonica.

Così come per il lotto 1, anche per il lotto 2 sono stati individuati 30 punti di campionamento in modo da ottenere un numero di dati rappresentativo per la trattazione statistica dei risultati e in grado di raggruppare l'eterogeneità di tutti i fattori (come litologia, geomorfologia e pedologia) che concorrono alla diversa distribuzione di arsenico sul territorio.

Le analisi condotte hanno permesso di determinare:

- arsenico e altri metalli ad esso correlati come ferro, magnesio, manganese, cromo VI, rame e nichel;
- pH e contenuto di carbonio organico (indicatori che influiscono sulla concentrazione di arsenico nel terreno e che permettono di comprendere le condizioni riducenti o ossidanti del campione di suolo). Per ogni campione inoltre è stato ricercato il parametro relativo allo scheletro.

La scelta dei trenta punti di indagine non è stata casuale.

Si è verificato innanzitutto che i siti scelti per il campionamento fossero accessibili con i mezzi meccanici utilizzati per l'apertura delle trincee. I punti di prelievo sono stati ubicati in

corrispondenza di terreni di origine naturale e non antropizzati, o almeno che abbiano subito un ridotto rimaneggiamento da parte dell'uomo.

In analogia a quanto già fatto per il lotto 1 il suolo/sottosuolo è stato indagato per una profondità massima di circa 2 m rispetto al piano campagna, in modo da riuscire a prelevare 2 campioni a diverse profondità per ogni trincea; uno che si riferisce al suolo pedogenizzato, situato più in superficie e l'altro che si riferisce allo strato di materiale parentale non consolidato sottostante. A volte, nel caso di suoli con particolari evidenze di campo che suggerissero la presenza di ulteriori orizzonti si è ritenuto opportuno operare più di due campionamenti.

Le metodiche analitiche utilizzate dal laboratorio dell'Agenzia e dal laboratorio esterno APAVE sono state discusse e condivise durante la definizione del piano di campionamento in modo tale da assicurarsi che tali metodiche fossero tra loro confrontabili e attenenti a quelle individuate dal decreto ministeriale del 13 settembre 1999 "Metodi ufficiali di analisi chimica sul suolo".

2.2 Attività di campo

L'attività di campionamento è stata effettuata dal 13 al 21 giugno 2023, per un totale di 6 giornate di lavoro ed è stata eseguita in presenza di più funzionari dell'ARPA, del dott. geol. Gilberto Zaina (in qualità di Consulente incaricato dalla Comunità Montana di Valle Camonica) e del dott. Marcello Vezzoli del Laboratorio APAVE (incaricato dalla Comunità Montana per l'esecuzione delle analisi di laboratorio). In particolare il dott. Monti di Arpa si è occupato in modo specifico delle analisi pedologiche.

L'attività di campo si è sviluppata per ogni punto prescelto seguendo una determinata procedura standardizzata:

- 1) verifica in campo, da parte dei funzionari di ARPA, dei luoghi scelti per il campionamento;



Figura 7: Supervisione previa apertura della trincea

2) apertura di una trincea esplorativa mediante l'uso di un escavatore meccanico manovrato da personale addetto. L'esecuzione dello scavo è stata supervisionata da un geologo dell'Agenzia. Lo strato più superficiale, ovvero la cotica erbosa, è stata immediatamente rimossa e accantonata per la successiva rimessa a dimora.

Il materiale è stato poi suddiviso, su indicazione del geologo esperto, in cumuli omogenei, in base alle caratteristiche pedogenetiche del materiale (tessitura, colore, stato di alterazione) ha deciso a quale profondità iniziare a separare i due cumuli. Il cumulo denominato "Superficiale" è stato composto con i materiali provenienti dagli strati superficiali, rappresentativi generalmente degli orizzonti pedogenetici A e B e relativo in genere ai primi 50/80 cm di profondità. Il cumulo "Profondo" è stato costituito con i materiali meno sviluppati dal punto di vista pedogenetico (prevalentemente orizzonte C) collocati a profondità tra gli 80 cm e 150/200 cm di profondità.

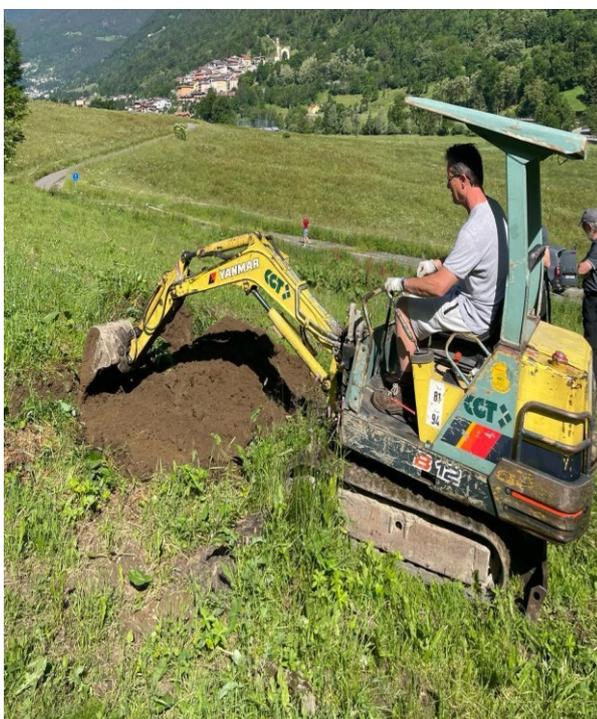


Figura 8 e 9: Apertura della trincea mediante escavatore meccanico e separazione dei due cumuli

3) descrizione stratigrafica della trincea: dopo l'apertura della trincea il geologo ha redatto una scheda descrittiva con le caratteristiche del punto di campionamento. Oltre alla descrizione generale della stazione pedologica si è posta particolare attenzione alla descrizione stratigrafica delle pareti dello scavo. Sono state documentate le caratteristiche strutturali e tessiturali dei materiali, il colore e lo stato di alterazione, e l'eventuale presenza d'acqua. La scheda è sempre corredata da ampia documentazione fotografica.



Figura 10 e 11: Osservazione del profilo pedologico aperto

4) prelievo dei campioni per le analisi chimiche: da ognuno dei due cumuli precedentemente separati (“Superficiale” e “Profondo”), è stato prelevato un campione di materiale da sottoporre ad analisi chimica di laboratorio. Il campionamento è stato effettuato previa setacciatura in campo con setaccio dotato di maglie di 2 centimetri. Ogni campione è stato suddiviso in due aliquote inserite successivamente in contenitori in vetro con tappo a tenuta, sigillati ed etichettati. L’etichettatura è risultata fondamentale per il riconoscimento del campione anche nelle fasi operative successive; un’aliquota di ogni campione è stata inviata al laboratorio esterno APAVE Italia CPM Srl per le analisi chimico-fisiche, mentre la seconda aliquota è stata messa a disposizione dell’Agenzia per la scelta di alcuni campioni da inviare al proprio laboratorio per la validazione e l’accertamento dei risultati ottenuti dal laboratorio esterno.

Il laboratorio dell’Agenzia ha analizzato 12 campioni per la valutazione dei dati di parte.



Figura 12 e 13: setacciatura manuale con setaccio a maglie di 2 cm e successiva introduzione del campione in contenitori etichettati

5) chiusura delle trincee: a conclusione delle attività di campo, le trincee sono state richiuse con l'escavatore meccanico avendo cura di ricostituire la stratigrafia originaria e riposizionare la copertura erbosa ripristinando per quanto possibile le condizioni originarie del sito di campionamento.



Figura 14 e 15: delimitazione per questione di sicurezza e chiusura della trincea mediante escavatore meccanico

Oltre alle attività sopra elencate, svolte per ognuno dei 30 siti di campionamento, in 10 punti di indagine è stata eseguita anche la descrizione pedologica dettagliata delle pareti e in 5 siti è stato prelevato un campione di materiale tal quale da sottoporre ad analisi granulometrica.

L'aliquota per l'analisi granulometrica è stata campionata prelevando circa 5 kg di materiale tal quale dallo stesso cumulo da cui è stato prelevato il campione da sottoporre ad analisi chimica. Il materiale è stato poi inserito in sacchetti di polietilene e stoccato per l'invio al laboratorio di analisi.

Attività	n.
Punti di indagine	30
Osservazioni pedologiche	10
Campioni per le analisi chimiche	58
Campioni per le analisi granulometriche di laboratorio	5

tabella 3: tabella riassuntiva delle attività

2.3 Analisi pedologiche

Le analisi pedologiche delle dieci trincee osservate sono state condotte insieme al dott. Monti di ARPA.

Prima di procedere con l'analisi stratigrafica vera e propria della trincea è stata descritta l'area circostante allo scavo. Si sono rilevate le caratteristiche topografiche come coordinate, quota (m s.l.m.), esposizione e pendenza, oltre ai caratteri visibili in superficie tipo pietrosità (%), rocciosità (%), geomorfologia, uso del suolo, vegetazione ed erosione. Conoscere queste informazioni risulta fondamentale poiché esse vanno ad incidere sulla formazione del suolo e quindi anche sulle peculiarità (e.g., mobilità e concentrazione degli elementi in traccia) che contraddistinguono una tipologia di suolo da un'altra.

Dopo la descrizione della stazione pedologica si è passati all'identificazione e alla descrizione dei vari orizzonti pedologici che compongono la trincea. Un orizzonte pedologico è uno strato grossolanamente parallelo alla superficie del terreno, costituito da materiali prodotti dalla pedogenesi e formatosi attraverso la disaggregazione fisica e l'alterazione chimica della roccia parentale, con incorporazione di sostanza organica alla frazione minerale. Di seguito sono riportati i principali orizzonti pedologici descritti (dalla superficie alla roccia madre).

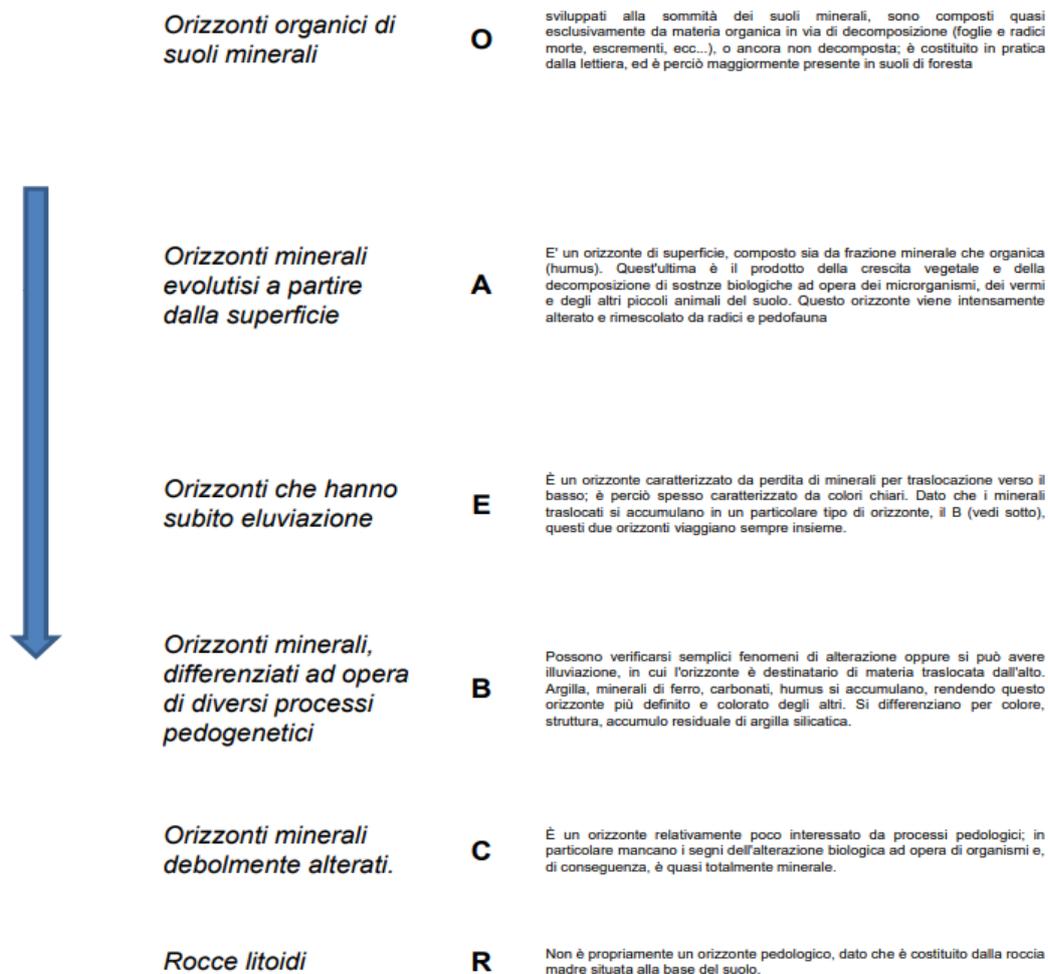


Figura 16: schema dei principali orizzonti pedologici (https://www.isprambiente.gov.it/files/biodiversita/Schema_orizzonti_pedologici.pdf)

Per la definizione di un determinato orizzonte vengono presi in considerazione durante l'analisi descrittiva una serie di parametri: scheletro (%) e sua forma e dimensione, aggregazione strutturale, tessitura, colore, presenza di carbonati, pH e quantità di radici.

I suoli possono essere classificati in base alla tessitura in tre grandi gruppi: sabbiosi, limosi e franchi. La terra fine è composta da tre frazioni granulometriche (Andrea Giordano et al. 1999):

- Sabbia: Queste particelle sono le più grosse all'interno del terreno e la loro dimensione varia tra 2,0 mm e 0,05 mm.
- Limo: Le particelle di limo hanno dimensioni che vanno da 0,05 mm a 0,002 mm.
- Argilla: sono le più piccole, con dimensioni inferiori a 0,002 mm ed hanno una grande importanza nella determinazione delle proprietà chimico-fisiche del suolo.

La tessitura di un terreno può essere stimata in campo, con una precisione che dipende molto dall'esperienza del rilevatore. L'analisi si basa sulla sensazione che si ha sfregando tra le dita un campione di suolo, opportunamente bagnato per meglio stimarne la plasticità. Dopo aver eliminato

i frammenti di scheletro si cerca di stabilire qual è la sensazione tattile prevalente seguendo uno schema predefinito come il sottostante, per giungere alla definizione finale della classe tessiturale.

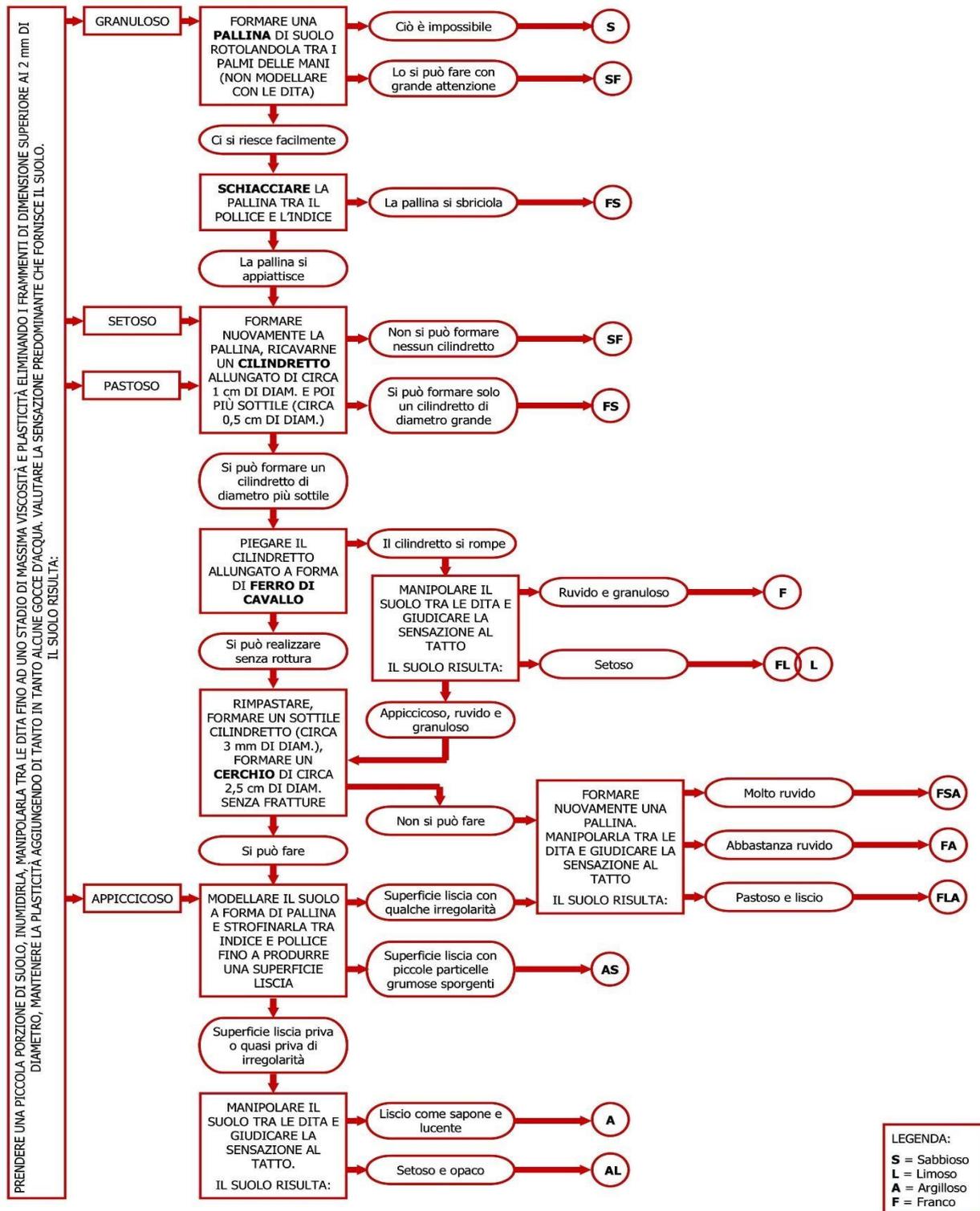


Figura 17: La tessitura del suolo: determinazione in campo con valutazione al tatto (<https://www.purpurea.it/strumenti/strumenti-tecnici/403-analisi-manuale-del-terreno.html>)



Figura 18: Valutazione al tatto di una porzione di campione

Per quanto riguarda invece la definizione del colore si sono utilizzate le tavole di Munsell. Queste tavole, usate come standard internazionale, permettono l'individuazione precisa dei colori del suolo basandosi sulla definizione di tre elementi: tinta, luminosità e croma. Accostando una piccola porzione di campione inumidito alle scale cromatiche delle tavole è possibile individuare la colorazione più opportuna. Il colore è un importante indicatore di contenuto in sostanza organica, ossidi di ferro, reazioni di ossidoriduzione.

3. Risultati

3.1 Descrizione dei siti analizzati

Di seguito sono riportate in dettaglio le analisi pedologiche svolte con il dott. Monti.

3.1.1 ANALISI PEDOLOGICA L2 T07 15/06/2023

Il sito è ubicato nel comune di Vezza D'Oglio all'interno della valle alluvionale a poca distanza dall'alveo del fiume Oglio.

Campionamenti effettuati
C1: (0 cm; 70 cm)
C2: (70 cm; 130 cm)

Stazione pedologica

QUOTA: 1024 m slm
ESPOSIZIONE: nessuna esposizione prevalente
PENDENZA: 0°
FORMA GEOMORFOLOGICA: fondovalle alluvionale, in prossimità del fiume (circa 30 metri di distanza dal fiume Oglio)
PIETROSITA': 0%
ROCCIOSITA': 0%
EROSIONE: assente
PROFONDITA' FALDA: >1,4 m
DESTINAZIONE D'USO: prato a sfalcio
VEGETAZIONE: limite tra prato a sfalcio e bosco
CONDIZIONI METEOROLOGICHE: Giornata soleggiata, temperature comprese tra 8 e 20°C(*), assenza di vento rilevante, assenza di precipitazioni



Figura 22 e 23: inquadramento del luogo del campionamento e profilo aperto

Descrizione profilo

Orizzonte	Profondità (cm)	Caratteristiche e Descrizione
A	0-11	-limite inferiore abrupto lineare -scheletro scarso (<5%) -dimensione da piccolo a grande -tessitura franco sabbiosa argillosa -presenza di molte radici (25-200 in 100 cm ²).
AB:	11-26	-limite inferiore chiaro lineare -scheletro frequente (20%) -dimensione da piccolo a grande -tessitura franca -presenza di radici scarsa (<10 in 100 cm ²).
C1:	26-65	-limite inferiore abrupto lineare -scheletro molto abbondante (>70%) -dimensione da piccolo a grande -tessitura sabbiosa -radici poche (<10 in 100 cm ²).
C2:	65-84	-limite inferiore chiaro ondulato -scheletro scarso (<5%) -dimensioni piccole -tessitura sabbiosa -radici assenti.
C3:	84-115	-limite inferiore abrupto lineare -scheletro scarso (<5%) -tessitura argilloso sabbiosa

		-radici comuni medie e grossolane (2-5 in 100 cm ²)
C4:	115-135	-limite inferiore sconosciuto -scheletro scarso (<5%) piccolo -tessitura argillosa -radici comuni medie e grossolane (2-5 in 100 cm ²) -presenza di screziature

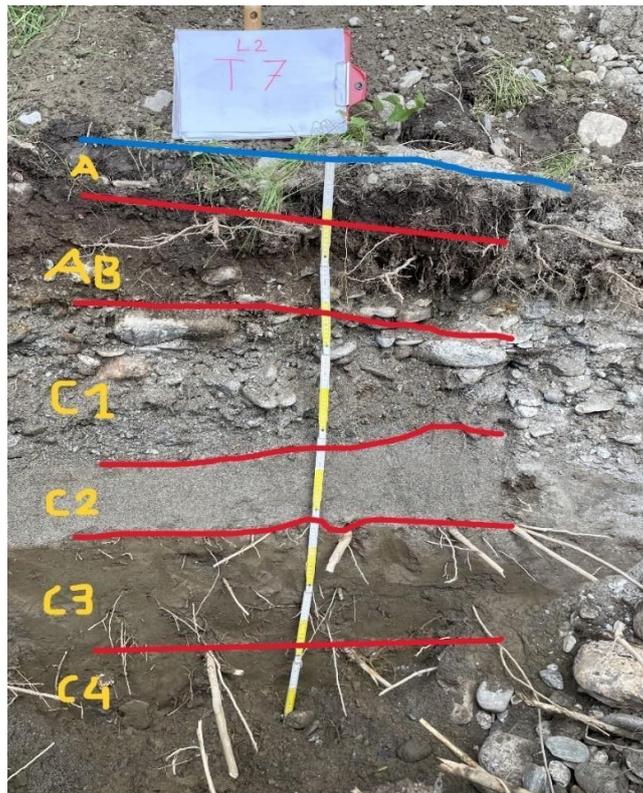


Figura 24: orizzonti pedologici individuati L2 T7

Il suolo osservato presenta un topsoil di circa 26 cm, costituito da una sequenza di 2 orizzonti differenti (A, AB). Successivamente è presente una sequenza di orizzonti C grossolani di origine fluviale (C1, C2) caratterizzati da differente quantitativo di scheletro, dettato da diverse energie di deposizione. In profondità si riscontra il passaggio netto ad orizzonti di colorazione bruna (C3, C4), caratterizzati da una tessitura con una rilevante frazione argillosa, derivante probabilmente da un deposito a energia molto bassa. L'intero profilo presenta un pH acido ed è privo di carbonati. La sequenza di orizzonti C in profondità testimonia la presenza di materiale di origine fluviale. Il seguente suolo analizzato si è evoluto al di sopra dei sedimenti fluviali della valle alluvionale del fiume Oglio.

WRB: Dystric Fluvisol

3.1.2 ANALISI PEDOLOGICA L2 T11 15/06/2023

Il sito si trova nel comune di Vione ed è posto in prossimità del piede di versante, in corrispondenza di una diminuzione dell'acclività.

Campionamenti effettuati
C1: (0 cm; 70 cm)
C2: (70 cm; 130 cm)

Stazione pedologica

QUOTA: 1100 m slm
ESPOSIZIONE: Nord Nord-Ovest
PENDENZA: 30°
FORMA GEOMORFOLOGICA: Piede di versante con cambio di pendenza
PIETROSITA': 5%
ROCCIOSITA': 0%
EROSIONE: assente
PROFONDITA' FALDA: >1,6 m
DESTINAZIONE D'USO: pascolo
VEGETAZIONE: prato
NOTE: Presenza di molte impronte bovine (pascolo)
CONDIZIONI METEOROLOGICHE: Giornata soleggiata, temperature comprese tra 8 e 20°C(*), assenza di vento rilevante, assenza di precipitazioni



Figura 25 e 26: inquadramento della stazione pedologica

Descrizione profilo

Orizzonte	Profondità (cm)	Caratteristiche e Descrizione
A	0-35	<ul style="list-style-type: none"> -limite inferiore abrupto lineare -colore: 10YR 3/3 -scheletro scarso (<5%) di piccole dimensioni -tessitura argilloso sabbiosa -struttura poliedrica angolare media - radici comuni (10-25 in 100 cm²) -presenza di pori -assenza di carbonati
AB	35-75/80	<ul style="list-style-type: none"> -limite inferiore abrupto lineare -colore: 10YR 4/4 -scheletro abbondante (50%) da piccolo a grande -tessitura franco sabbiosa -struttura primaria poliedrica angolare media e subordinata subangolare piccola - radici scarse (<10 in 100 cm²) -presenza di pori -assenza di carbonati.
Bw	75/80-150	<ul style="list-style-type: none"> - limite inferiore abrupto lineare -colore: 10 YR 4/3 -scheletro comune (10%) da piccolo a grande -tessitura franco limosa -struttura massiva -poche radici (<10 in 100 cm²) -assenza di pori -assenza di carbonati.
BC	150-160	<ul style="list-style-type: none"> -limite inferiore sconosciuto -colore: 10 YR 3/6 -scheletro frequente (30%) grande di natura granitoide -tessitura franca -struttura primaria poliedrica angolare media e secondaria subangolare piccola -poche radici (<10 in 100cm²) -assenza di pori -assenza di carboidrati.

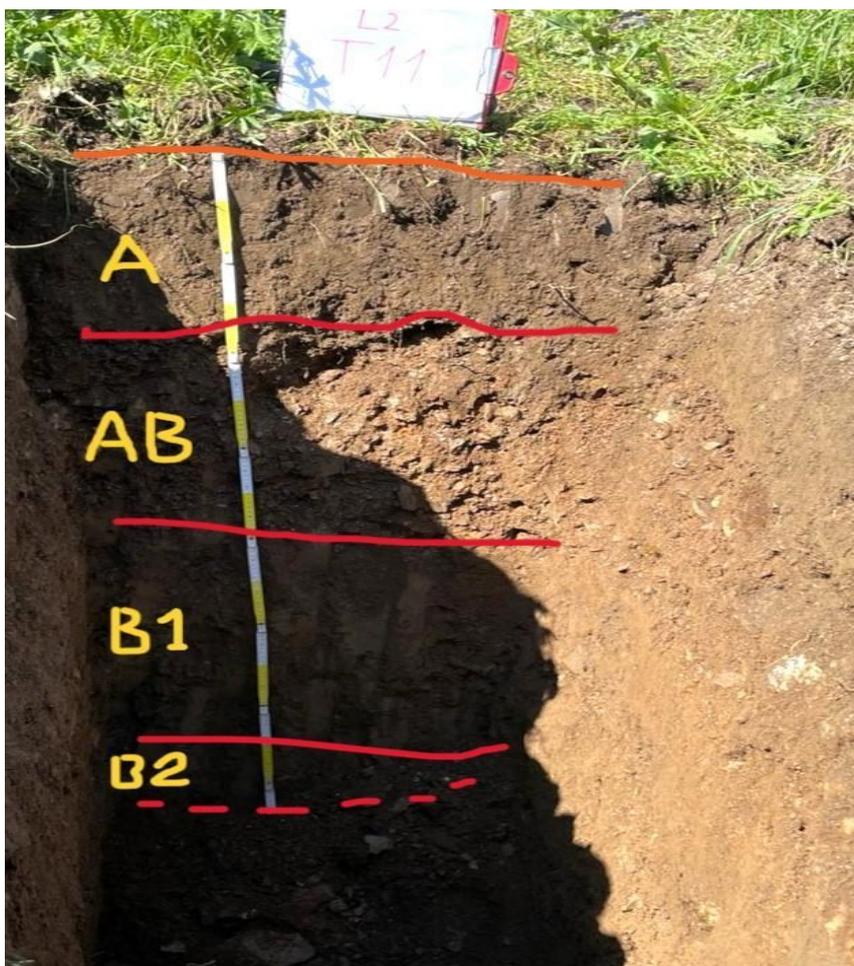


Figura 27: orizzonti pedologici individuati L2 T11

Il suolo osservato presenta un topsoil alquanto profondo, costituito da una sequenza di 2 orizzonti, A e AB, che complessivamente costituiscono un orizzonte superficiale privo di carbonati ed acido, presumibilmente a bassa saturazione in basi (Dystric). Al di sotto si ritrovano due orizzonti B caratterizzati da una tessitura più fine rispetto al materiale soprastante. L'orizzonte AB pare tendere al processo di brunificazione. L'intero profilo presenta un pH acido, privo di carbonati e, presumibilmente, con bassa saturazione in basi.

WRB: Cambic Umbrisol

3.1.3 ANALISI PEDOLOGICA L2 T14 15/06/2023

Il sito è ubicato a Temù, nella porzione distale di conoide e più precisamente in una porzione a pendenza ridotta.

Campionamenti effettuati:
C1: (10 cm; 120 cm)

Stazione pedologica

QUOTA: 1120 m slm
ESPOSIZIONE: Sud Ovest
PENDENZA: 5°
FORMA GEOMORFOLOGICA: porzione distale di conoide
PIETROSITA': 0%
ROCCIOSITA': 0%
EROSIONE: assente
PROFONDITA' FALDA: >1,8 m
DESTINAZIONE D'USO: prato a sfalcio
VEGETAZIONE: Prato stabile
CONDIZIONI METEOROLOGICHE: Giornata soleggiata, temperature comprese tra 8 e 20°C(*), assenza di vento rilevante, assenza di precipitazioni



Figura 28: vista verso Sud-Ovest L2 T14

Descrizione profilo

Orizzonte	Profondità (cm)	Caratteristiche e Descrizione
A1	10/30	-limite inferiore ondulato chiaro.
A2	30/60	-limite inferiore ondulato chiaro -maggior presenza di scheletro (dimensioni da medie a grandi, da angolari a subarrotondati)
Bt	60/120	-limite inferiore sconosciuto -maggiore contenuto di argilla.

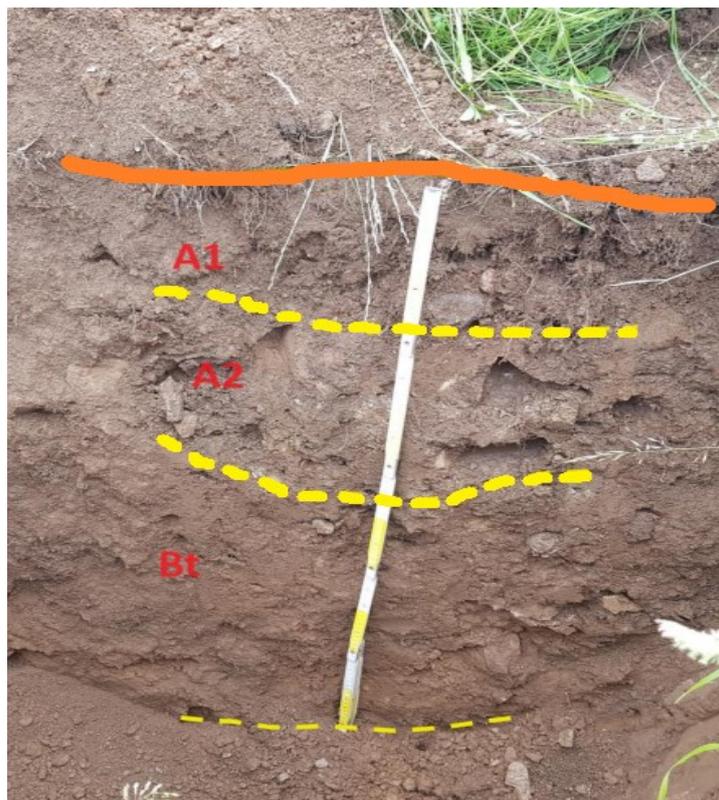


Figura 29: Orizzonti pedologici individuati L2 T14

Il suolo in esame è profondo, sviluppato su un deposito ad energia tendenzialmente bassa seppur con presenza di clasti di dimensioni medio grandi da angolari a subarrotondati.

Si può identificare un topsoil costituito da 2 orizzonti A ascrivibili ad un orizzonte umbrico. Al di sotto di essi si riscontra un orizzonte Bt con un maggior quantitativo di argilla. Il profilo presenta un pH acido e, presumibilmente, risulta privo di carbonati e con bassa saturazione in basi (Dystric).

WRB: Luvic Umbrisol

3.1.4 ANALISI PEDOLOGICA L2 T16 15/06/2023

Il sito si trova nel comune di Temù ed è ubicato all'interno della piana alluvionale del fiume Oglio.

Campionamenti effettuati
C1: (0 cm; 40 cm)
C2: (40 cm; 150 cm)

Stazione pedologica

QUOTA: 1113 m slm
ESPOSIZIONE: Sud Ovest
PENDENZA: <5%
FORMA GEOMORFOLOGICA: Piana alluvionale, non in prossimità dell'alveo torrentizio

PIETROSITA': 0%
ROCCIOSITA': 0%
EROSIONE: assente
PROFONDITA' FALDA: >1,5 m
DESTINAZIONE D'USO: prato a sfalcio
VEGETAZIONE: Prato stabile
CONDIZIONI METEOROLOGICHE: Giornata soleggiata, temperature comprese tra 8 e 20°C(*), assenza di vento rilevante, assenza di precipitazioni



Figura 30 e 31: Stazione pedologica L2 T16 e separazione dei due cumuli

Descrizione profilo

Orizzonte	Profondità (cm)	Caratteristiche e Descrizione
A1	0-18	-colore 10YR 3/2 -scheletro scarso (<5%) da piccolo a medio subangolari -tessitura franco sabbiosa argillosa -struttura poliedrica angolare piccola -radici abbondanti (200 in 100 cm ²) -presenza di carbonati stimati in circa lo 0,5% (reazione all'HCl molto debole)
A2	18-33	-colore 10YR 4/2

		<ul style="list-style-type: none"> -scheletro abbondante (50%) da piccolo a grande subangolare -tessitura franca -struttura poliedrica subangolare piccola -radici molte (25-200 in 100 cm²) -presenza di carbonati stimati in circa il 2% (reazione all'HCl debole).
A3b	33-43	<ul style="list-style-type: none"> -colore: GLEY 1 4/N -scheletro scarso (<5%) da piccolo a medio subarrotondato -tessitura argilloso limosa -struttura laminare -assenza di carbonati -radici rare e sporadiche. -orizzonte particolarmente compatto, con presenza di screziature (5YR 3/2).
C	43-138	<ul style="list-style-type: none"> -limite inferiore sconosciuto -colore: 10YR 4/4 -scheletro scarso (<5%) da piccolo a grande subarrotondato -tessitura franca -struttura poliedrica angolare piccola poco espressa -radici rare e sporadiche -assenza di carbonati.

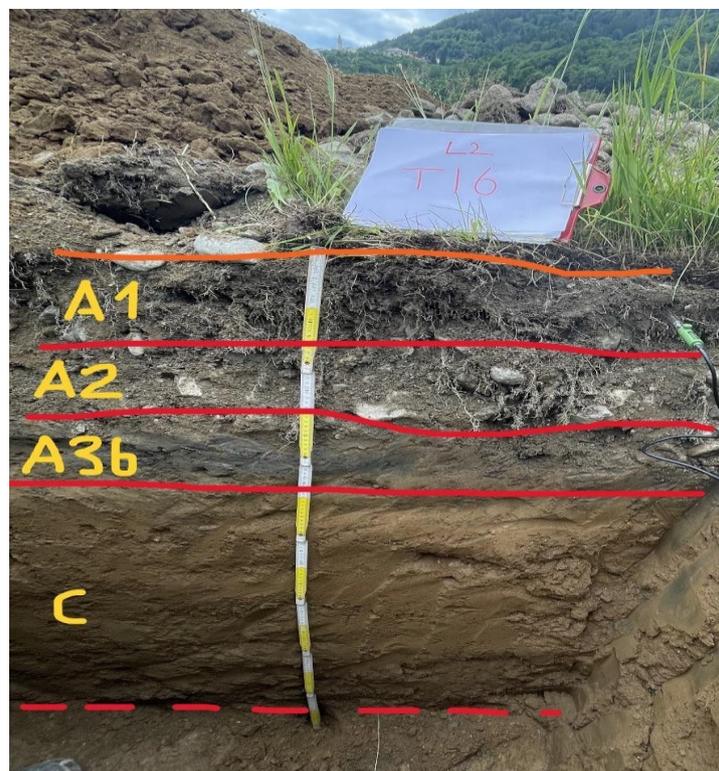


Figura 32: orizzonti pedologici individuati L2 T16

Il suolo osservato presenta un topsoil di oltre 30 cm, costituito da 2 orizzonti (A1 e A2) caratterizzato da abbondante scheletro principalmente di grandi dimensioni, reazione neutra e presenza di carbonati, che nel complesso costituiscono un orizzonte Mollico. Si segnala che la porzione di suolo qui analizzato risulta essere in tutta la campagna pedologica l'unico orizzonte con presenza di carbonati. Al di sotto è presente un orizzonte A3b profondamente diverso rispetto a quelli soprastanti (sono assenti i carbonati) che, oltre a possedere una tessitura fine ed un contenuto ridotto dello scheletro, evidenzia segni di compattazione e di idromorfia, proprietà riconducibili ad un potenziale passato orizzonte di superficie sottoposto a successivo apporto di materiale differente (contenente carbonati) e quindi a sepoltura dello stesso (materiale fluvico). Le proprietà dell'orizzonte di profondità C confermano l'origine fluviale del materiale.

WRB: Fluvic Gleyic Phaeozem

3.1.5 ANALISI PEDOLOGICA L2 T17 15/06/2023

Il sito ricade all'interno del comune di Temù ed è ubicato all'interno della valle alluvionale a poca distanza dall'alveo del fiume Oglio.

Campionamenti effettuati:
C1: (10 cm; 80 cm)

Stazione pedologica

QUOTA: 1025 m slm
ESPOSIZIONE: nessuna esposizione prevalente
PENDENZA: 0°
FORMA GEOMORFOLOGICA: fondovalle alluvionale, in prossimità del fiume (fiume Oglio a 20 m)
PIETROSITA': 0%
ROCCIOSITA': 0%
EROSIONE: assente
PROFONDITA' FALDA: >1,35 m
DESTINAZIONE D'USO: prato a sfalcio
VEGETAZIONE: Prato stabile
CONDIZIONI METEOROLOGICHE: Giornata soleggiata, temperature comprese tra 8 e 20°C(*), assenza di vento rilevante, assenza di precipitazioni
NOTE: Presenza di riporto antropico a 10 metri di distanza. Pista ciclabile a circa 20 metri



Figura 33 e 34: Stazione pedologica L2 T17

Descrizione profilo

Orizzonte	Profondità (cm)	Caratteristiche e Descrizione
A	0-12	-limite inferiore chiaro lineare -colore: 7,5YR 3/1 -scheletro abbondante (50%) da piccolo a medio -tessitura franco sabbiosa -struttura granulare fine -assenza di carbonati -radici abbondanti (>200 in 100 cm ²) piccole.
CB1	12-27	-limite inferiore abrupto lineare -colore: 10YR 4/2 -scheletro abbondante (50%) da piccolo a medio -tessitura sabbiosa, struttura granulare piccola -assenza di carbonati -radici comuni (10-25 in 100 cm ²) piccole.
CB2	27-36	-limite inferiore abrupto lineare -colore: 10YR 4/3 -scheletro abbondante (40%) da piccolo a grande -tessitura franco limoso argillosa -struttura lamellare media -assenza di carbonati -radici comuni (1025 in 100 cm ²) piccole -presenza di screziature
CB3	36>80	-limite inferiore sconosciuto -colore: 10YR 5/2

		<ul style="list-style-type: none"> -scheletro molto abbondante (>70%) da piccolo a grande -tessitura sabbiosa -struttura granulare fine debole -assenza di carbonati -radici poche e piccole (<100 in 100 cm²)
--	--	--

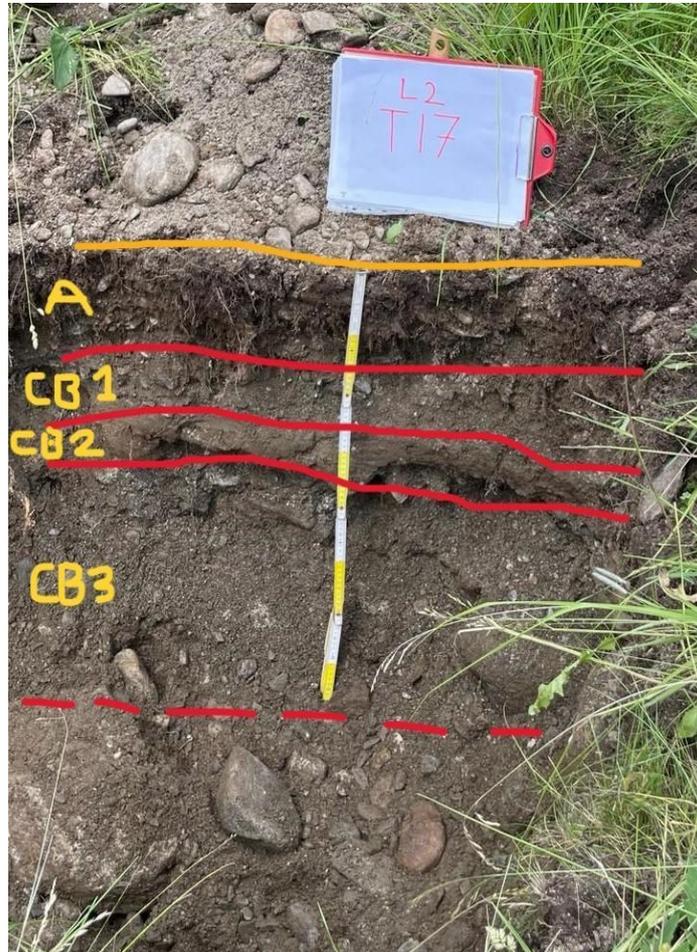


Figura 35: L2 T17 orizzonti pedologici individuati

Il suolo osservato presenta un topsoil di spessore ridotto. Successivamente è presente una sequenza di orizzonti C grossolani di origine fluviale (C1, C2) caratterizzati da differente quantitativo di scheletro, risultato di attività deposizionale a energia di diversa intensità. In profondità troviamo un passaggio drastico ad orizzonti di colorazione bruna (C3, C4), caratterizzata da una tessitura con una rilevante frazione argillosa, dettato da un deposito a energia molto bassa. L'intero profilo presenta un pH acido, assenza di carbonati e bassa saturazione in basi (Dystric). La sequenza di orizzonti C in profondità testimonia la presenza di materiale fluviale. Il suolo qui analizzato si è evoluto quindi al di sopra dei sedimenti fluviali della valle alluvionale dell'Oglio.

WRB: Dystric Fluvisol

3.1.6 ANALISI PEDOLOGICA L2 T21 20/06/2023

Il sito situato nel comune di Ponte Di Legno è ubicato all'interno di un deposito morenico.

Campionamenti effettuati:
C1: (10 cm; 70 cm)
C2: (70 cm; 120 cm)
C3: (120 cm; 170 cm)

Stazione pedologica

QUOTA: 1300 m slm
ESPOSIZIONE: Nord Ovest
PENDENZA:> 5°
FORMA GEOMORFOLOGICA: Area concava all'interno di deposito morenico
PIETROSITA': 0%
ROCCIOSITA': 0%
EROSIONE: assente
PROFONDITA' FALDA: >1,3m
DESTINAZIONE D'USO: prato a sfalcio
VEGETAZIONE: Prato stabile
CONDIZIONI METEOROLOGICHE: Giornata soleggiata, temperature comprese tra 13 e 25°C (*), assenza di precipitazioni, assenza di vento rilevante



Figura 36 e 37: stazione pedologica L2 T21 e trincea aperta

Descrizione profilo

Orizzonte	Profondità (cm)	Caratteristiche e Descrizione
A	0-18	<ul style="list-style-type: none"> -limite inferiore abrupto lineare -colore: 10YR 3/2 -scheletro comune (5-10%) da piccolo a medio subangolare -tessitura argilloso limosa -struttura granulare fine -radici abbondanti (>200 in 100 cm²) piccole -assenza di carbonati.
Bw	18-50	<ul style="list-style-type: none"> -limite inferiore chiaro lineare -colore: 10YR 4/3 -scheletro abbondante (50%) da piccolo a medio angolare -tessitura franco sabbioso argillosa -struttura poliedrica angolare piccola -molte radici (25-200 in 100 cm²) piccole -assenza di carbonati - presenza di clasti fortemente degradati.
CB	50-118	<ul style="list-style-type: none"> -limite inferiore abrupto lineare -colore: 10YR 3/4 -scheletro abbondante (50%) da piccolo a medio angolare -tessitura franco sabbiosa -struttura poliedrica subangolare piccola debole -poche radici (<10 in 100 cm²) -assenza di carbonati
C	118-130	<ul style="list-style-type: none"> -limite inferiore sconosciuto -colore: 7,5YR 4/6 -scheletro abbondante (50%) da piccolo a grande subarrotondato -tessitura sabbiosa -struttura poliedrica angolare piccola debole -assenza di radici -assenza di carbonati -orizzonte scarsamente o non pedogenizzato, che presenta differenze significative con gli orizzonti soprastanti.



Figura 38: orizzonti pedologici individuati L2 T21

Il suolo osservato presenta un topsoil piuttosto sottile (A: 18 cm), al di sotto del quale è presente un orizzonte B che presenta caratteristiche tali da risultare un orizzonte cambico (tessitura più fine di sabbiosa, tinte più vivaci rispetto al materiale parentale). L'intero profilo presenta un pH acido, privo di carbonati e quindi con bassa saturazione in basi (Dystric). Possibile sviluppo pedogenetico degli orizzonti A, B e CB su materiale originato da un evento deposizionale diverso rispetto a quello dell'orizzonte C.

WRB: Dystric Cambisol

3.1.7 ANALISI PEDOLOGICA L2 T24 20/06/2023

Il sito è ubicato a Ponte di Legno all'interno di una piana alluvionale relativamente distante dall'alveo fluviale.

Campionamenti effettuati
C1: (10 cm; 70 cm)
C2: (70 cm; 170 cm)

Stazione pedologica

QUOTA: 1280 m slm
ESPOSIZIONE: assenza di esposizione prevalente
PENDENZA: 0°
FORMA GEOMORFOLOGICA: piana alluvionale
PIETROSITA': 0%
ROCCIOSITA': 0%
EROSIONE: assente
PROFONDITA' FALDA: >1,6 m
DESTINAZIONE D'USO: prato a sfalcio
VEGETAZIONE: Prato stabile
CONDIZIONI METEOROLOGICHE: Settimana soleggiata, con 1 solo giorno con precipitazioni (5,6 mm), temperature comprese tra 7 e 25°C
NOTE: pista ciclabile a breve distanza, fiume a circa 130 metri di distanza



Figura 39 e 40: Stazione pedologica L2 T24

Descrizione profilo

Orizzonte	Profondità (cm)	Caratteristiche e Descrizione
A	0-10	-limite inferiore chiaro lineare -colore:10YR 4/3 -scheletro scarso (1-5%) piccolo angolare, -tessitura argilloso limosa -struttura poliedrica angolare media -radici molte abbondanti (>200 in 100 cm ²) -assenza di carbonati -presenza di numerosi macropori.
AB	10-70	-limite inferiore abrupto lineare -colore: 10YR 4/3 -scheletro scarso (1-5%) piccolo angolare, -tessitura argilloso limosa -struttura poliedrica angolare media -molte radici (25-200 in 100 cm ²) -assenza di carbonati -presenza di tasche con maggior quantitativo di sabbia
CB	70-97	-limite inferiore abrupto lineare -colore:10YR 4/4 -scheletro scarso (1-5%) piccolo angolare -tessitura argillosa -struttura poliedrica angolare piccola -poche radici (<10 in 100 cm ²) -assenza di carbonati.
C1	97-105	-limite inferiore abrupto lineare -colore: 10YR 5/4 -scheletro abbondante (40%) piccolo subarrotondato -tessitura sabbiosa -struttura incoerente -radici rare e sporadiche -assenza di carbonati.
C2	105-150	-limite inferiore abrupto lineare -colore; 10YR 5/6 -scheletro scarso (1-5%) piccolo - tessitura argillosa -struttura poliedrica angolare media -radici rare e sporadiche -assenza di carbonati -presenza di screziature (5YR 4/6).
C3	150>160	-limite inferiore sconosciuto -colore: 10YR 3/2 -scheletro frequente (20%) da piccolo a grande angolare -tessitura franca

		-struttura poliedrica angolare media -radici rare e sporadiche -assenza di carbonati.
--	--	---

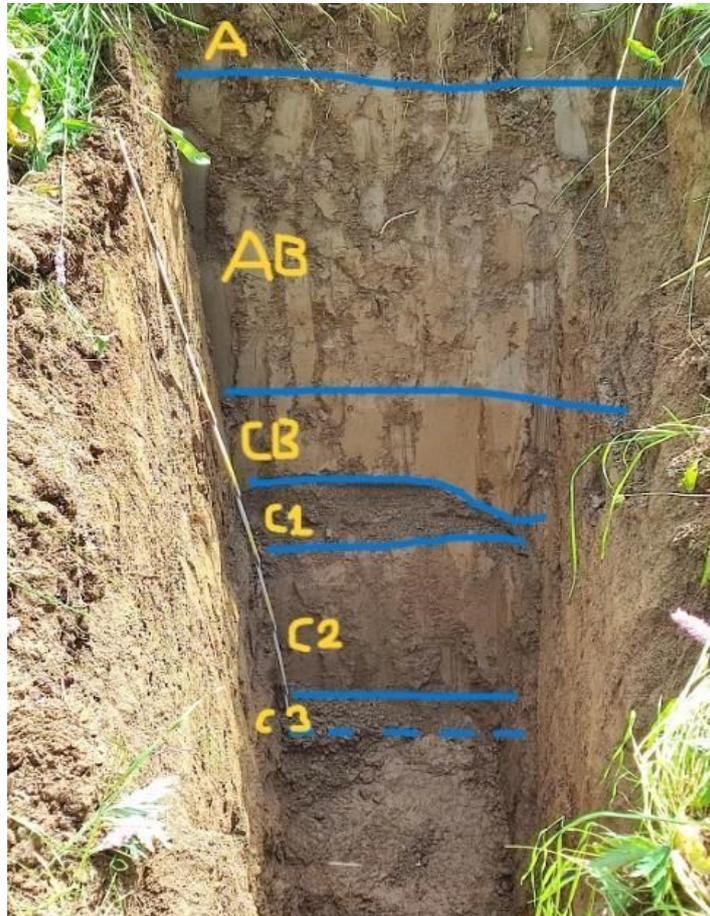


Figura 41: orizzonti pedologici individuati L2 T24

Suolo molto profondo, con notevole topsoil di 70 cm, costituito da una sequenza di 2 orizzonti (A e AB) che complessivamente costituiscono un orizzonte superficiale costituita da un materiale relativamente fine (tessitura argilloso limosa), acido e privo di carbonati, presumibilmente, a bassa saturazione in basi (Dystric). Questa prima porzione del suolo risulta alquanto in continuità con il primo orizzonte sottostante (CB) dal punto di vista della tessitura, dello scheletro e del colore. Al di sotto, invece, si osservano orizzonti meno evoluti (C1,C2,C3) differenziati per composizione tessiturale e abbondanza di scheletro. La differenza di tessitura riscontrata nei diversi orizzonti risulta dettata da eventi deposizionali fluviali a energie di diversa intensità.

WRB: Fluvic Umbrisol

3.1.8 ANALISI PEDOLOGICA L2 T28 20/06/2023

Il sito nel Comune di Ponte di Legno, nei pressi del Passo del Tonale, è ubicato in una porzione del versante occupato da detrito morenico, alquanto eterogeneo in termini di forme concave-convexe.

Campionamenti:
C1: (10cm; 60cm)

Stazione pedologica

QUOTA: 1840 m slm
ESPOSIZIONE: Sud Ovest
PENDENZA: 20°
FORMA GEOMORFOLOGICA: Deposito morenico
PIETROSITA': 5%
ROCCIOSITA': 0%
EROSIONE: assente
PROFONDITA' FALDA: >0,6 m
DESTINAZIONE D'USO: prato stabile
VEGETAZIONE: prateria alpina
CONDIZIONI METEOROLOGICHE: Settimana soleggiata, con 1 solo giorno con precipitazioni (5,6 mm), temperature comprese tra 7 e 25°C
NOTE: Presenza di piccola torba a 70 m a ovest. Torbiere del Tonale a 150 m a sud.



Figura 42: stazione pedologica L2 T28

Descrizione profilo

Orizzonte	Profondità (cm)	Caratteristiche e Descrizione
A	0-25	<ul style="list-style-type: none"> -limite inferiore abrupto ondulato -colore: 10YR 3/1 -scheletro comune (10%) da piccolo a grande angolare -tessitura franco sabbiosa -struttura granulare fine -radici abbondanti (>200 in 100 cm²) -assenza di carbonati -orizzonte inferiore ondulato per possibili crioturbazioni.
Bs	25-55	<ul style="list-style-type: none"> -limite inferiore abrupto lineare -colore: 7,5YR 3/4 -tessitura argilloso sabbiosa -struttura poliedrica angolare fine -radici comuni (10-25 in 100 cm²) -assenza di carbonati.
C	55>60	<ul style="list-style-type: none"> -limite inferiore sconosciuto -colore: 10YR 3/4 -scheletro molto abbondante (>75%) da piccolo a grande subangolare -tessitura sabbioso franca -struttura poliedrica angolare fine -poche radici (<10 in 100cm²) -assenza di carbonati.

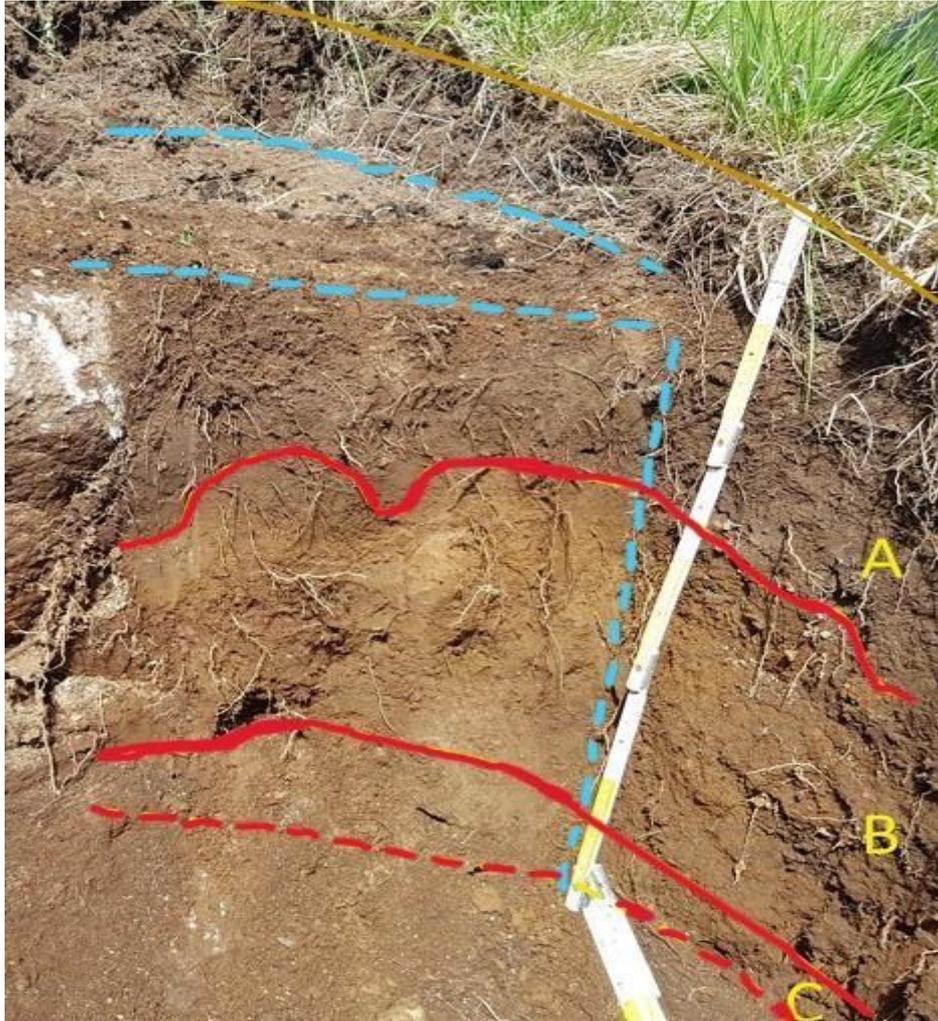


Figura 43: orizzonti pedologici individuata L2 T28

Suolo caratterizzato da elevata variabilità interna a seguito della morfologia del versante e della presenza di trovanti all'interno del suolo stesso. Il profilo qui descritto è posizionato a monte di un masso, visibile a sinistra nella fotografia sottostante.

Al di sotto di un orizzonte A, caratterizzato da un limite inferiore ondulato da possibili crioturbazioni (modificazione dell'assetto originario di un terreno per effetto dell'azione dilatante del gelo) si constata un suolo poco profondo ma relativamente sviluppato, con la presenza di un orizzonte B arrossato in maniera minima (eluviazione/illuviazione degli ossidi di Fe). Si ritiene di poter includere l'orizzonte B entro la categoria degli orizzonti spodici, sebbene si ritenga che il processo di podzolizzazione sia poco espresso. Come spesso accade in suoli podzolici sotto prato, l'orizzonte impoverito E è mascherato dall'accumulo di sostanza organica dovuto alle radici delle specie erbacee.

WRB: Entic Turbic Umbric Podzol

3.1.9 ANALISI PEDOLOGICA L2 T29 20/06/2023

Il sito è ubicato in prossimità del passo del Tonale, in un territorio quindi caratterizzato da un'ampia piana modellata dall'azione glaciale.

Campionamenti effettuati
C1: (10 cm; 100 cm)
C2: (100 cm; 130 cm)

Stazione pedologica

QUOTA: 1865 m slm
ESPOSIZIONE: assenza di esposizione prevalente
PENDENZA: 5°
FORMA GEOMORFOLOGICA: piana glacio lacustre
PIETROSITA': 0%
ROCCIOSITA': 0%
EROSIONE: assente
PROFONDITA' FALDA: 1,30 m
DESTINAZIONE D'USO: prato stabile
VEGETAZIONE: prateria alpina
CONDIZIONI METEOROLOGICHE: Settimana soleggiata, con 1 solo giorno con precipitazioni (5,6 mm), temperature comprese tra 7 e 25°C
NOTE: Torbiera e corsi d'acqua superficiali



Figura 44: Stazione pedologica I2 T29 (Passo de Tonale)

Descrizione profilo

Orizzonte	Profondità (cm)	Caratteristiche e Descrizione
H1	0-100	<ul style="list-style-type: none"> -colore: 2,5Y 2,5/1 -tessitura argilloso sabbiosa -struttura granulare fine -scheletro assente -radici abbondanti (>200 in 100 cm²) nei primi 10 cm, poi progressivamente in diminuzione con la profondità -assenza di carbonati -orizzonte nero con abbondante materia vegetale morta.
H2	100>130	<ul style="list-style-type: none"> -colore: 10YR 3/2 -tessitura argilloso sabbiosa -struttura granulare fine -scheletro assente -radici rare e sporadiche di medie dimensioni -assenza di carbonati -orizzonte più marcatamente marrone, con maggior presenza di vegetazione non degradata, con caratteristica proprietà organolettica (odore di zolfo).

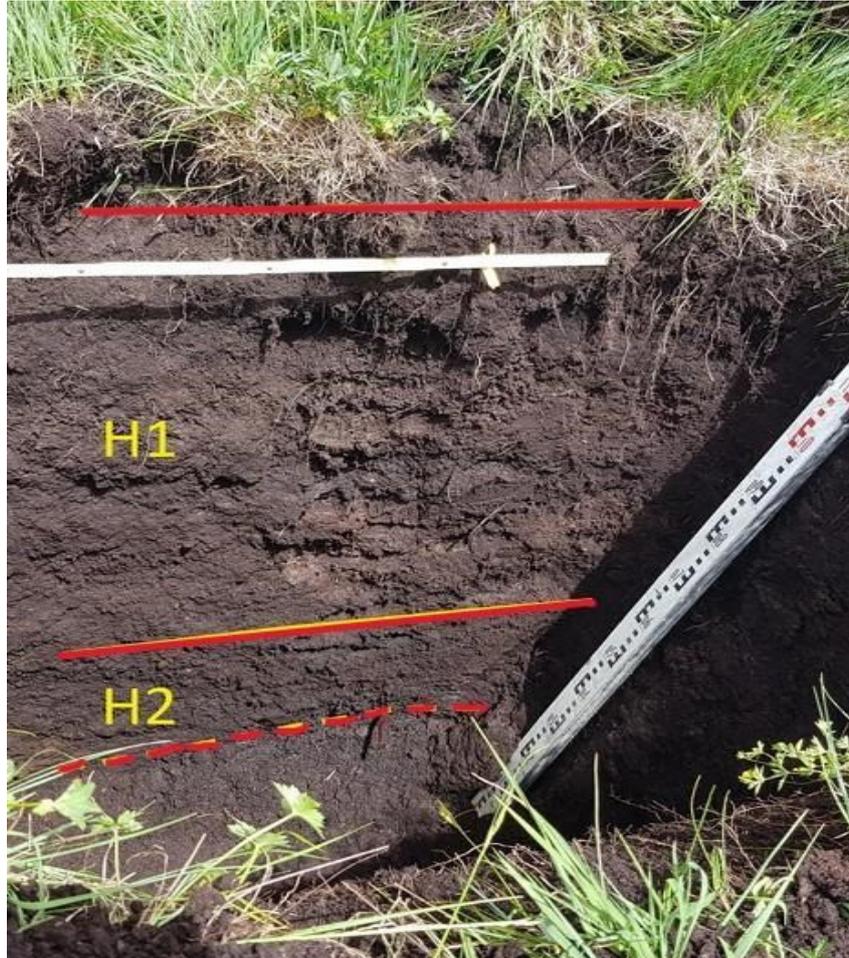


Figura 45: orizzonti pedologici individuata L2 T29

La superficie risulta solcata da diversi piccoli corsi d'acqua, alimentati da una falda acquifera subaffiorante. Gli orizzonti osservati risultano entrambi fortemente arricchiti in sostanza organica, a diversi gradi di degradazione, sia in superficie (orizzonte Histic) che in profondità, in prossimità con il livello di falda. L'intero profilo mostra un pH fortemente acido (Dystric). Il suolo osservato risulta essere quindi una tipica torbiera alpina.

WRB: Dystric Histosol

3.1.10 ANALISI PEDOLOGICA L2 T30 20/06/2023

Il sito è ubicato nel comune di Vezza D'Oglio in una porzione a mezza costa del versante.

Campionamenti effettuati:
C1: (0 cm; 30 cm)
C2: (70 cm; 130 cm)

Stazione pedologica

QUOTA: 1160 m slm
ESPOSIZIONE: Sud
PENDENZA: 35°
FORMA GEOMORFOLOGICA: Versante
PIETROSITA': 0%
ROCCIOSITA': 0%
EROSIONE: assente
PROFONDITA' FALDA: >1,4 m
DESTINAZIONE D'USO: incolto
VEGETAZIONE: prato con arbusti
CONDIZIONI METEOROLOGICHE: Settimana soleggiata, con 1 solo giorno con precipitazioni (5,6 mm), temperature comprese tra 7 e 25°C



Figura 46: stazione pedologica L2 T30

Descrizione profilo

Orizzonte	Profondità (cm)	Caratteristiche e Descrizione
A	0-25	-scheletro scarso (<5%) -tessitura franco sabbioso argillosa -struttura poliedrica subangolare -radici molte (25-200 in 100 cm ²).
Bw	20-42	-scheletro scarso (<5%) -tessitura argilloso sabbiosa -struttura poliedrica angolare -radici poche (<10 in 100 cm ²).
BC	42-60	-orizzonte di transizione
C1	60-100	-scheletro frequente (30%) -tessitura franco sabbioso argillosa -struttura poliedrica angolare -radici rare e sporadiche -orizzonte fortemente compatto e caratterizzato da una colorazione scura.
C2	105-120	-scheletro abbondante (50%) -tessitura franco sabbioso argillosa -struttura poliedrica angolare -radici rare e sporadiche -orizzonte fortemente compatto, con maggior quantitativo di scheletro rispetto all'orizzonte soprastante, e caratterizzato da una colorazione più chiara.
C3	120-140	-scheletro frequente (20%) -tessitura franco sabbioso -struttura poliedrica angolare -assenza di radici -orizzonte più scuro rispetto agli orizzonti soprastanti.

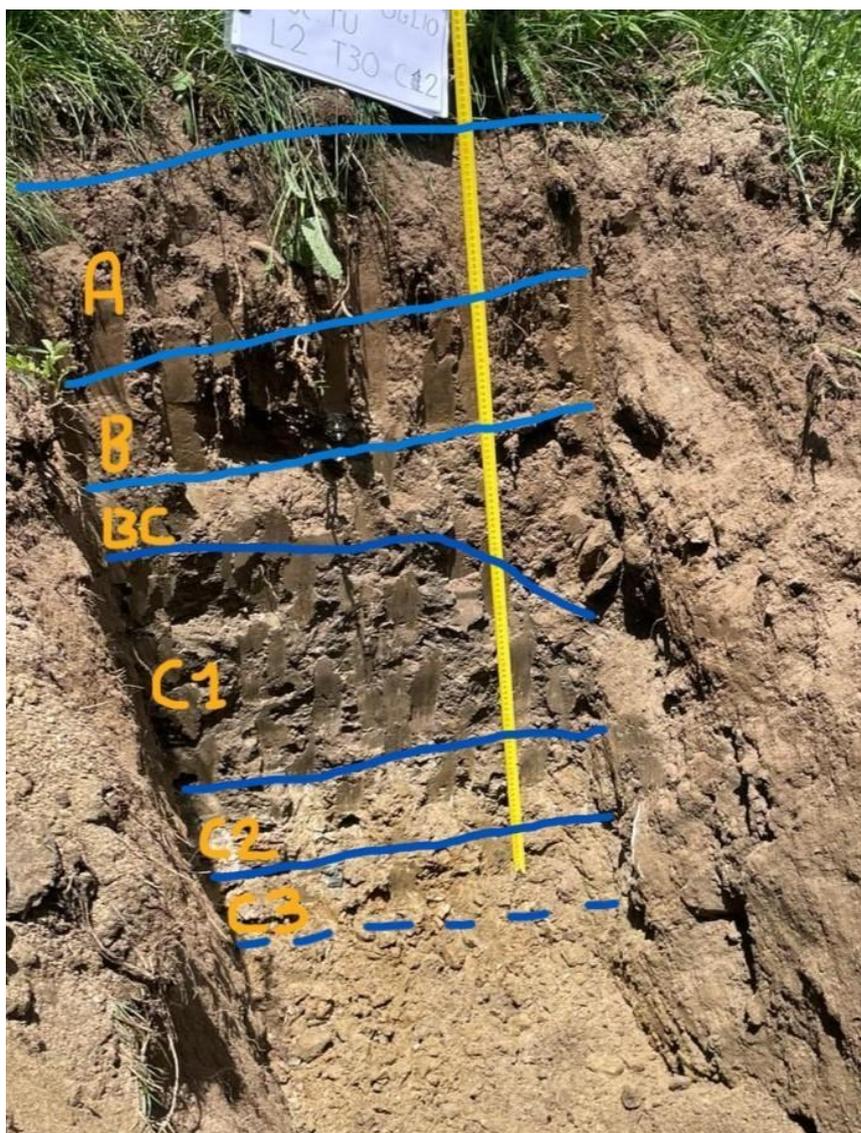


Figura 47: orizzonti pedologici individuati L2 T30

L'osservazione ha permesso di individuare un orizzonte A, al di sotto del quale è presente un orizzonte B seguito da orizzonte BC che, complessivamente, si ritiene di poter includere entro la categoria degli orizzonti cambici. L'orizzonte C1 mostra evidenti segni di consolidamento. L'intero profilo presenta un pH acido e, presumibilmente, privo di carbonati e con bassa saturazione in basi (Dystric).

WRB: Dystric Cambisol

4 Risultati analitici e discussione

Una volta concluse le attività di campionamento, i campioni prelevati in doppia aliquota, sono stati soggetti ad analisi sia da parte del laboratorio Apave Italia CPM incaricato dalla Comunità Montana di Valle Camonica che dal laboratorio di ARPA. Il laboratorio Apave ha svolto le analisi su ognuno dei campioni prelevati, mentre l'Agenzia solo su 12 campioni casualmente selezionati.

Sono stati ricercati diversi parametri: scheletro (%), Arsenico (mg/kg), Cobalto (mg/kg), Rame (mg/kg), Ferro (mg/kg), Magnesio (mg/kg), Cromo totale (mg/Kg), Manganese (mg/kg), Nichel (mg/kg), pH e TOC (Carbonio organico totale). La ricerca di questa serie di metalli e metalloidi diversi dall'Arsenico è stata effettuata poiché potrebbero essere potenzialmente correlati con il parametro di interesse. Il pH e il contenuto di carbonio organico forniscono indicazioni circa le condizioni riducenti o ossidanti del campione di suolo analizzato che influiscono sulla concentrazione e sulla mobilità dell'arsenico.

4.1 Validazione dei risultati analitici

Nella tabella riportata sotto si nota come i dati ottenuti dal laboratorio incaricato si discostino di poco da quelli ottenuti da ARPA.

ID sito	ID campione	Profondità m da p.c		Lab.	Scheletro %	Arsenico mg/kg (ss)	Cobalto mg/kg (ss)	Cromo tot. mg/Kg (ss)	Rame mg/Kg (ss)	Ferro mg/Kg (ss)	Magnesio mg/kg (ss)	Nichel mg/Kg (ss)	pH	TOC mg/Kg (ss)
		da	a											
L2T01	L2T01C2	0,60	1,20	APAVE	38,3	8,9	7,6	15,2	16,5	22.442,9	6.409,7	16,5	6,1	5.400
L2T01	L2T01C2	0,60	1,20	ARPA	27,0	16,5	10,6	25,6	20,3	23.375,0	7.038,0	22,7	7,0	2.781
L2T07	L2T07C1	0,00	0,30	APAVE	58,8	6,7	4,9	9,8	9,8	15.146,6	5.033,6	8,9	5,8	21.700
L2T07	L2T07C1	0,00	0,30	ARPA	58,0	8,0	5,0	12,9	5,0	12.469,0	4.213,0	5,0	6,8	8.625
L2T10	L2T10C2	0,30	0,70	APAVE	27,5	18,3	11,4	20,5	22,1	30.226,2	10.107,6	18,3	5,4	18.700
L2T10	L2T10C2	0,30	0,70	ARPA	22,0	21,9	14,5	29,6	27,5	28.645,0	10.253,0	22,6	6,6	11.217
L2T11	L2T11C3	0,75	1,50	APAVE	32,4	18,0	12,2	25,9	23,8	34.382,9	9.231,8	29,5	6,0	15.700
L2T11	L2T11C3	0,75	1,50	ARPA	15,0	30,7	18,7	47,5	36,4	39.276,0	13.032,0	44,0	7,0	8.496
L2T13	L2T13C1	0,10	0,40	APAVE	43,2	1,8	10,8	20,5	29,0	24.390,7	7.065,8	20,5	5,6	24.700
L2T13	L2T13C1	0,10	0,40	ARPA	44,0	2,6	11,2	22,6	28,3	19.526,0	6.019,0	20,8	6,5	31.126
L2T15	L2T15C1	0,00	0,30	APAVE	4,5	19,4	12,6	21,3	19,4	36.707,7	12.959,2	16,5	6,1	12.700
L2T15	L2T15C1	0,00	0,30	ARPA	3,0	23,7	16,3	28,4	23,9	38.491,0	13.350,0	20,9	6,9	9.142
L2T16	L2T16C1	0,10	0,40	APAVE	27,4	5,2	10,2	22,6	20,4	25.547,8	7.871,0	19,7	6,7	23.700
L2T16	L2T16C1	0,10	0,40	ARPA	54,0	5,1	5,0	16,3	14,6	15.336,0	4.919,0	13,7	7,3	7.400
L2T22	L2T22C2	0,60	1,20	APAVE	49,1	1,7	8,0	23,9	15,9	23.818,5	6.773,9	19,6	4,9	23.700
L2T22	L2T22C2	0,60	1,20	ARPA	29,0	3,6	12,8	41,0	23,2	27.486,0	8.694,0	28,7	6,1	6.855
L2T23	L2T23C1	0,30	0,90	APAVE	11,3	6,3	13,0	26,9	37,4	33.267,1	8.694,0	26,9	6,2	15.700
L2T23	L2T23C1	0,30	0,90	ARPA	7,7	8,0	15,6	36,7	44,5	27.893,0	9.639,0	32,5	6,9	8.697
L2T24	L2T24C2	0,70	1,70	APAVE	3,2	99,0	25,8	40,3	54,0	57.458,6	15.363,8	48,0	5,7	19.140
L2T24	L2T24C2	0,70	1,70	ARPA	12,0	97,3	24,9	43,5	52,7	43.209,0	12.302,0	45,1	6,9	9.749
L2T25	L2T25C2	0,60	0,90	APAVE	13,8	66,0	15,5	33,5	32,7	45.119,0	15.673,5	32,7	5,9	13.700
L2T25	L2T25C2	0,60	0,90	ARPA	21,0	67,5	17,5	41,3	35,5	36.418,0	13.114,0	35,8	6,9	5.604
L2T27	L2T27C1	0,20	1,00	APAVE	46,9	2,7	7,9	18,5	15,3	20.896,6	7.365,3	17,5	7,5	8.500
L2T27	L2T27C1	0,20	1,00	ARPA	50,0	3,4	5,0	24,7	16,4	19.575,0	6.635,0	19,1	7,7	2.140

Tabella 4: confronto tra dati Apave e dati Arpa nei 12 campioni analizzati da entrambe le parti

L'attività di validazione eseguita da ARPA in fase di contraddittorio ha dimostrato la validità del set di dati prodotto dal laboratorio APAVE. Il laboratorio incaricato è stato quindi utilizzato come base dati per l'analisi della distribuzione dell'arsenico e per la successiva definizione del valore di fondo naturale nell'area indagata.

4.2 Parametri analizzati in ogni comune

Per le elaborazioni statistiche finalizzate alla descrizione della distribuzione dell'arsenico e per la definizione del valore di fondo naturale (VNF) dell'area, sono stati utilizzati esclusivamente i dati di Apave.

Nella tabella sottostante sono evidenziate le concentrazioni soglia di contaminazione per l'arsenico definite dalla normativa. I limiti sono applicabili ai terreni dei siti ad uso verde pubblico, privato e residenziale (colonna A) e ai siti ad uso commerciale ed industriale (colonna B).

COLONNA A	COLONNA B
Siti ad uso verde pubblico privato e residenziale (mg/kg espressi come ss)	Siti ad uso commerciale e industriale (mg/kg espressi come ss)
20	50

Tabella 5: Limite normativi di Colonna A e Colonna B per l'Arsenico

Si riporta sotto una panoramica dei parametri ottenuti per ogni sito di campionamento in ciascuno dei comuni indagati.

C1 corrisponde al campione superficiale (primi 50/80 cm di profondità).

C2 corrisponde al campione profondo (tra gli 80 cm e 150/200 cm di profondità).

CANTIERE: MONNO - Lotto L2					
ID CAMPIONE:		T1 C1	T1 C2	T2 C1	T2 C2
Parametro	U.M.	Risultato	Risultato	Risultato	Risultato
Residuo secco a 105 °C	%	87,2	95,4	98,0	98,5
pH	U.pH	5,6	6,1	7,2	6,7
TOC	mg/kg ss	14700	5400	25700	12700
Arsenico (As)	mg/kg ss	18,0	8,9	3,36	2,2
Cobalto (Co)	mg/kg ss	15,9	7,6	9,3	6,3
Cromo totale (Cr)	mg/kg ss	29,7	15,2	22,7	13,1
Nichel (Ni)	mg/kg ss	30,8	16,5	19,3	13,7
Rame (Cu)	mg/kg ss	34,0	16,5	60,0	17,3
Ferro	mg/kg ss	40229,9	22442,9	29318,9	19329,5
Magnesio	mg/kg ss	10969,7	6409,7	9624,4	5272,6
Manganese	mg/kg ss	491,2	226,9	317,1	219,5

Tabella 6: risultati L2 Comune di Monno

Nel comune di Monno non è stato riscontrato alcun sito con concentrazioni di arsenico superiore ai limiti di legge.

CANTIERE: INCUDINE - Lotto L2					
ID CAMPIONE:		T3 C1	T3 C2	T4 C1	T4 C2
Parametro	U.M.	Risultato	Risultato	Risultato	Risultato
Residuo secco a 105 °C	%	99,2	94,7	97,8	99,4
pH	U.pH	5,9	6,8	6,4	5,9
TOC	mg/kg ss	7800	8900	5400	4900
Arsenico (As)	mg/kg ss	13,5	44,0	3,61	2,90
Cobalto (Co)	mg/kg ss	3,43	10,8	4,6	3,9
Cromo totale (Cr)	mg/kg ss	6,9	18,1	7,1	6,6
Nichel (Ni)	mg/kg ss	8,2	24,5	9,5	8,1
Rame (Cu)	mg/kg ss	7,9	23,8	13,6	10,7
Ferro	mg/kg ss	12072,7	37816,9	17546,9	14555,2
Magnesio	mg/kg ss	2922,5	9502,2	2334,8	2184,4
Manganese	mg/kg ss	123,8	415,2	124,3	124,5

Tabella 7: risultati L2 comune di Incudine

Nel comune di Incudine solamente in uno dei siti analizzati (L2T3, evidenziato in giallo) il valore di Arsenico è risultato essere superiore al limite normativo di colonna A (20 mg/kg).

CANTIERE: VEZZA D'OGLIO - Lotto L2													
ID CAMPIONE:		T5 C1	T5 C2	T6 C1	T6 C2	T7 C1	T7 C2	T8 C1	T8 C2	T9 C1	T9 C2	T30 C1	T30 C2
Parametro	U.M.	Risultato											
Residuo secco a 105 °C	%	97,9	98,5	97,2	98,3	90,6	97,2	91,0	97,7	98,6	99,1	93,3	98,5
pH	U.pH	4,9	5,2	5,4	5,7	5,8	6,1	4,9	5,6	4,9	5,6	5,3	5,5
TOC	mg/kg ss	20700	11700	29700	12700	21700	11700	10700	38700	18700	15700	510000	11700
Arsenico (As)	mg/kg ss	14,2	22,6	7,3	6,4	6,7	19,3	41,9	26,8	1,83	1,57	4,90	3,52
Cobalto (Co)	mg/kg ss	13,2	15,1	10,4	8,7	4,9	13,8	16,4	10,7	7,0	7,1	13,6	7,6
Cromo totale (Cr)	mg/kg ss	25,5	26,4	20,8	15,6	9,8	23,9	26,6	17,6	16,7	17,4	32,9	19,9
Nichel (Ni)	mg/kg ss	21,7	26,4	19,1	13,9	8,9	22,0	26,6	19,9	15,1	15,7	27,1	16,4
Rame (Cu)	mg/kg ss	24,6	25,5	29,4	13,9	9,8	21,1	26,6	19,9	17,2	17,9	29,0	12,9
Ferro	mg/kg ss	43085,4	47489,5	28529,5	18620,8	15146,6	40634,4	48477,6	33506,4	18384,2	18607,5	33,13,6	21936,9
Magnesio	mg/kg ss	14740,1	15283,2	9069,6	5721,6	5033,6	13729,6	14756,7	10157,2	5702,6	5674,8	9994,6	6818,7
Manganese	mg/kg ss	436,6	565,8	461,6	201,7	188,6	510,4	779,8	491,7	188,1	188,9	354,3	194,6

Tabella 8: risultati L2 Comune di Vezza D'Oglio

Nel comune di Vezza D'Oglio in due dei siti analizzati (L2T5, L2T8) l'arsenico supera i limiti normativi di Colonna A (20mg/kg).

CANTIERE: VIONE - Lotto L2								
ID CAMPIONE:		T10 C1	T10 C2	T11 C1	T11 C2	T11 C3	T13 C1	T13 C2
Parametro	U.M.	Risultato						
Residuo secco a 105 °C	%	78,5	93,4	86,4	90,7	93,8	97,8	97,4
pH	U.pH	5,4	5,4	4,7	5,5	6,0	5,6	5,5
TOC	mg/kg ss	8500	29700	18700	29700	24700	8200	24700
Arsenico (As)	mg/kg ss	24,2	18,3	22,8	15,0	18,0	1,76	1,75
Cobalto (Co)	mg/kg ss	14,5	11,4	12,7	11,6	12,2	10,8	10,3
Cromo totale (Cr)	mg/kg ss	27,8	20,5	27,9	29,4	25,9	20,5	17,5
Nichel (Ni)	mg/kg ss	24,2	18,3	28,8	30,1	29,5	20,5	21,1
Rame (Cu)	mg/kg ss	26,6	22,1	23,7	24,6	23,8	29,0	28,8
Ferro	mg/kg ss	44135,9	30226,2	36109,8	33569,5	34382,9	24390,7	22149,3
Magnesio	mg/kg ss	15103,2	10107,6	10378,7	11354,9	9231,8	7065,8	6339,2
Manganese	mg/kg ss	500,9	378,9	535,5	555,3	497,5	277,1	247,7

Tabella 9: risultati L2 Comune di Vione

Anche nel Comune di Vione solamente due siti (L2T10, L2T11) hanno mostrato di avere un tenore di arsenico superiore al limite di Colonna A.

CANTIERE: TEMU' - Lotto L2													
ID CAMPIONE:		T12 C1	T12 C2	T14 C1	T15 C1	T15 C2	T16 C1	T16 C2	T17 C1	T18 C1	T18 C2	T19 C1	T19 C2
Parametro	U.M.	Risultato											
Residuo secco a 105 °C	%	96,3	98,9	96,9	98,5	98,9	97,6	98,1	99,1	95,3	97,9	97,7	99,0
pH	U.pH	5,2	5,7	5,7	6,1	5,9	6,7	4,9	6,0	6,2	6,5	5,6	5,9
TOC	mg/kg ss	15700	19700	14700	14700	12700	9700	23700	15700	8900	31700	15700	18700
Arsenico (As)	mg/kg ss	11,5	1,48	4,90	19,4	13,6	5,2	3,71	7,2	2,90	1,78	16,2	13,7
Cobalto (Co)	mg/kg ss	10,2	5,9	12,0	12,6	7,8	10,2	13,6	5,0	12,2	8,9	8,4	7,3
Cromo totale (Cr)	mg/kg ss	21,7	13,9	25,5	21,3	12,9	22,6	30,8	9,9	30,9	20,8	17,9	14,2
Nichel (Ni)	mg/kg ss	24,9	14,3	23,9	16,5	13,6	19,7	27,2	10,4	24,3	17,8	21,3	21,0
Rame (Cu)	mg/kg ss	22,4	17,7	26,3	19,4	12,9	20,4	28,1	9,0	28,1	18,4	21,3	21,0
Ferro	mg/kg ss	19445,4	14741,3	28447,9	36707,7	24071,6	25547,8	30036,6	16427,0	31654,6	20813,1	26761,8	23436,3
Magnesio	mg/kg ss	5846,8	4561,4	8314,4	12959,2	8052,6	7871,0	8766,5	5442,5	10171,5	6397,8	7075,0	5902,6
Manganese	mg/kg ss	0,0	162,5	420,5	518,9	323,5	312,0	322,5	163,2	427,7	270,4	384,2	234,9

Tabella 10: risultati L2 comune di Temù

Nel comune di Temù nessun terreno analizzato ha concentrazione di Arsenico superiore ai limiti di legge.

CANTIERE: Ponte di Legno - Lotto L2											
ID CAMPIONE:		T20 C1	T20 C2	T21 C1	T21 C2	T21 C3	T22 C1	T22 C2	T23 C1	T23 C2	
Parametro	U.M.	Risultato									
Residuo secco a 105 °C	%	97,8	98,7	96,7	98,1	98,0	96,3	95,8	98,1	96,2	
pH	U.pH	5,3	5,3	5,1	5,7	5,9	4,7	4,9	6,2	6,4	
TOC	mg/kg ss	8300	21700	11700	21700	15700	12700	45700	23700	15700	
Arsenico (As)	mg/kg ss	4,6	12,1	34,4	4,70	4,70	3,13	1,65	6,3	7,1	
Cobalto (Co)	mg/kg ss	8,9	6,1	11,2	8,7	9,4	10,2	8,0	13,0	13,9	
Cromo totale (Cr)	mg/kg ss	24,5	12,7	23,2	22,2	23,1	35,2	23,9	26,9	27,8	
Nichel (Ni)	mg/kg ss	19,7	12,1	24,1	18,8	22,6	22,7	19,6	26,9	27,8	
Rame (Cu)	mg/kg ss	18,4	10,5	23,2	17,5	16,5	21,1	15,9	37,4	34,8	
Ferro	mg/kg ss	25315,5	17925,1	32064,5	23344,4	23071,9	33174,8	23818,5	33267,1	30758,8	
Magnesio	mg/kg ss	8373,5	5850,1	10218,4	7818,2	7881,5	9498,9	6773,9	10849,5	9963,2	
Manganese	mg/kg ss	336,4	209,7	336,6	326,4	235,9	337,0	182,1	384,1	357,6	

CANTIERE: Ponte di Legno - Lotto L2											
ID CAMPIONE:		T24 C1	T24 C2	T25 C1	T25 C2	T26 C1	T27 C1	T27 C2	T28 C1 (Tonale)	T29 C1 (Tonale)	T29 C2 (Tonale)
Parametro	U.M.	Risultato	Risultato	Risultato							
Residuo secco a 105 °C	%	95,0	93,7	97,6	98,1	96,0	98,5	97,4	91,1	49,0	30,4
pH	U.pH	4,9	5,7	5,4	5,9	5,1	7,5	7,5	5,3	4,7	4,6
TOC	mg/kg ss	11700	14700	18700	31700	13700	21700	8400	16700	66700	430000
Arsenico (As)	mg/kg ss	86,0	99,0	28,1	66,0	2,62	2,65	6,0	10,0	8,3	14,7
Cobalto (Co)	mg/kg ss	20,4	25,8	7,3	15,5	7,2	7,9	13,1	10,0	1,96	1,6
Cromo totale (Cr)	mg/kg ss	31,1	40,3	16,5	33,5	16,2	18,5	32,8	25,8	12,4	20,4
Nichel (Ni)	mg/kg ss	40,9	48,0	17,0	32,7	13,9	17,5	27,7	18,3	11,9	15,0
Rame (Cu)	mg/kg ss	47,0	54,0	13,1	32,7	16,2	15,3	22,6	12,5	24,5	16,9
Ferro	mg/kg ss	47317,9	57458,6	24457,6	45119,0	17893,6	20896,6	33968,5	32614,4	20913,8	12520,9
Magnesio	mg/kg ss	10723,4	15363,8	7791,0	15673,5	5947,6	7365,3	11522,6	9637,1	1353,7	1682,2
Manganese	mg/kg ss	701,5	1106,3	289,5	505,7	168,2	263,9	518,3	282,0	26,1	31,8

Tabella 11 e 12: risultati L2 comune di Ponte di Legno

A ponte di Legno, in un sito (L2 T21) il contenuto di Arsenico è maggiore rispetto ai limiti di colonna A. In altri due siti (L2T24 e L2T25,) il tenore di Arsenico supera addirittura il limite normativo di colonna B (50 mg/kg).

4.3 Elaborazione dati

La popolazione campionaria dell'arsenico mostra valori di concentrazione compresi tra 1,48 e 99 mg/kg e ha media pari a 14,93 mg/kg.

Nella figura sottostante è riportato il box plot dell'arsenico, sovrapposto alla CSC di colonna A (20 mg/kg), in giallo, e alla CSC di colonna B (50 mg/kg), riportata in rosso. Si nota che il 75° percentile della distribuzione (18 mg/kg) è inferiore alla CSC di colonna A, indicando quindi che meno del 25% dei risultati non è conforme ai limiti di legge.

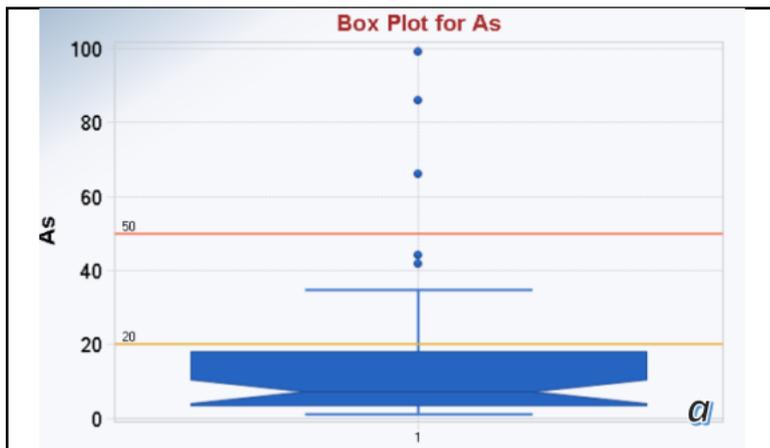


Grafico 3: Box Plot per il parametro Arsenico

Il TOC (Carbonio organico totale) presenta valori estremi molto elevati, corrispondenti al sito L2T29 (al passo del Tonale) ove sono state rinvenuti depositi torbosi. Questi valori estremi rappresentano suoli con caratteristiche e origine molto differenti rispetto al resto della popolazione.

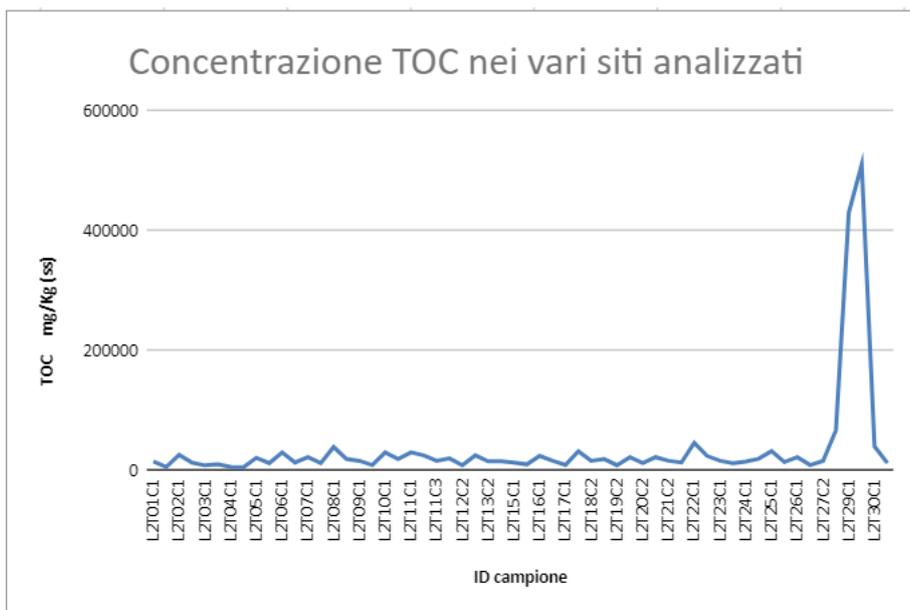


Grafico 4: Distribuzione TOC nei siti analizzati (Si nota il picco in corrispondenza di L2 T29)

4.4 Distribuzione del parametro arsenico in funzione dell'analisi pedologica

Lo studio pedologico è stato condotto tramite l'analisi di 7 profili pedologici e 3 osservazioni speditive, distribuiti all'interno dell'area di studio in modo tale da riuscire ad indagare zone con differenti condizioni morfologiche, presumibilmente caratterizzate da processi pedologici diversi.

Di seguito si riporta una sintesi dei risultati ottenuti.

Sito	Quota m slm	Morfologia	Carta pedologica regionale 1:250.000	Analisi Pedologica 2023 WRB 2014
L2T07	1025	Fondovalle alluvionale	Fluvisol	Fluvisol
L2T11	1100	Piede del versante	Fluvisol	Umbrisol
L2T14	1120	Porzione distale di conoide	Fluvisol	Umbrisol
L2T16	1113	Piana alluvionale	Fluvisol	Phaeozem
L2T17	1025	Fondovalle alluvionale	Fluvisol	Fluvisol
L2T21	1300	Conca intramorenica	Fluvisol	Cambisol
L2T24	1280	Piana alluvionale	Fluvisol	Umbrisol
L2T28	1840	Versante, deposito morenico	Podzol	Podzol
L2T29	1865	Piana glaciale	Podzol	Histosol
L2T30	1160	Versante, deposito morenico	Cambisol	Cambisol

Tabella 13: Confronto tra tipologia di suolo indicata su Carta pedologica regionale 1:250.000 e quella individuata durante l'indagine

L'analisi pedologica effettuata in campo è risultata essere coerente con la tipologia pedologica individuata dalla cartografia regionale di riferimento in 4 dei 10 siti analizzati (L2T07, L2T17, L2T28 e L2T30). Nei restanti 6 siti sono state riscontrate differenze sufficienti a classificare il suolo oggetto di studio in altre tipologie pedologiche. L'osservazione del contesto morfologico e stratigrafico nei siti dove non è stata eseguita l'analisi pedologica permette di affermare che, complessivamente, circa più della metà dei siti osservati presentano una tipologia di suolo equivalente a quella indicata dalla cartografia regionale.

Concludendo, sono stati individuati 4 contesti morfologici entro cui poter inserire tutte le diverse tipologie di suolo rilevate:

- aree di valle alluvionale, in prossimità dell'alveo torrentizio: Fluvisol.
- piana alluvionale, non in prossimità dell'alveo torrentizio: Umbrisol, Phaeozem;
- aree di versante con copertura morenica: Cambisol, Podzol.
- aree di piana glaciale: Histosol.

In merito alla concentrazione di arsenico, si può affermare che la presenza di tale elemento è strettamente legata alla natura della roccia di origine e ai processi pedologici (clima, topografia, organismi e tempo) che modificano il contenuto in sostanza organica e ossidi di ferro, fattori molto importanti per la mobilità dell'arsenico nel suolo.

L'arsenico ha un'elevata affinità per le superfici degli ossidi di ferro in particolare. L'adsorbimento delle forme inorganiche dell'As sulle superfici dei minerali del suolo è un processo estremamente importante poiché influenza la mobilità dell'elemento stesso.

Nella tabella sottostante sono stati elaborati i dati relativi alla concentrazione di arsenico alle due diverse profondità, nel campione denominato superficiale (C1) e in quello profondo (C2).

Rapporto As C1-C2	numero siti
combinazione A:As in C1 almeno 5mg/kg in più rispetto a C2	7
combinazione B:As in C1 tra 0 e 5mg/kg in più rispetto a C2	10
combinazione C:As in C2 tra 0 e 5 mg/kg in più rispetto a C1	2
combinazione D:As in c2 almeno 5 mg/kg in più rispetto a C1	7

Tabella 14: Rapporto della concentrazione di As tra il campione superficiale (C1) e quello profondo(C2)

Sostanzialmente si osserva che la distribuzione in profondità della concentrazione di arsenico non mostra un comportamento uniforme; sebbene ci sia una maggiore probabilità di incorrere in una concentrazione maggiore nello strato più superficiale (C1) del suolo (Somma delle combinazioni A e B= 17), la somma delle combinazioni B e C evidenzia che in 12 dei siti analizzati (quasi la metà) il suolo presenta un contenuto di arsenico con scarse variazioni in funzione della profondità. La restante metà dei punti campionati mostra invece comportamenti opposti (combinazione A=7; combinazione D=7)

Si mettono in risalto i siti presso cui si è avuto un incremento di arsenico nel campione di profondità C2 (campione profondo): moderato in arancione (compreso tra 5 e 10 mg/kg), forte in rosso (superiore a 10 mg/kg).

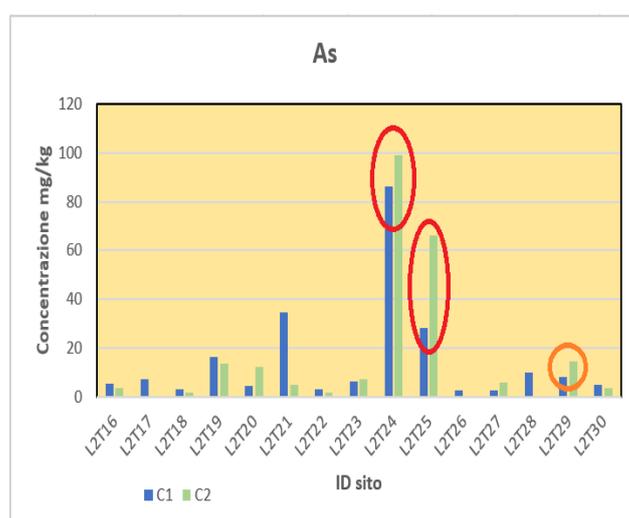
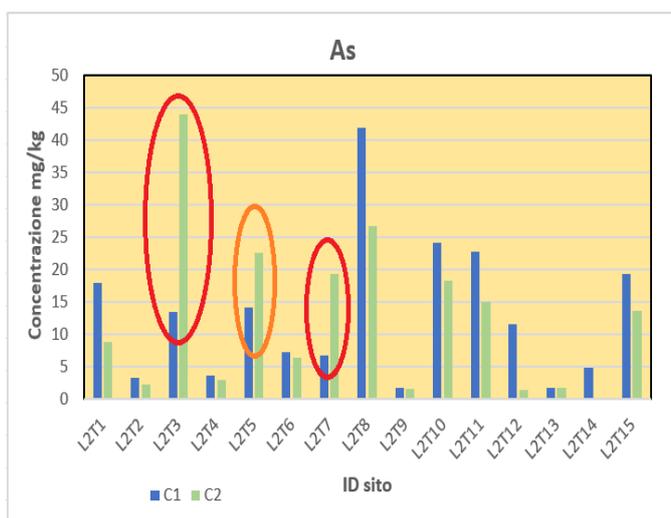


Grafico 5 e 6: Confronto tra la concentrazione in mg/kg di As nel campione superficiale(C1) e in quello profondo(C2). In evidenza le differenze marcate

La tendenza ad un lieve incremento di arsenico nei campioni profondi si ritiene possa essere determinata dalla sua lisciviazione all'interno del suolo, con conseguente perdita nell'orizzonte superficiale.

I siti che hanno mostrato incrementi rilevanti con la profondità sono suoli strettamente legati alla dinamica fluviale, con orizzonti superficiali sepolti o con deposizione di materiale fine o torboso. Ne consegue che i Fluvisol risultano essere i suoli con maggior possibilità di possedere contenuti elevati di arsenico anche negli orizzonti profondi.

A testimonianza di ciò si può osservare, come riportato nella tabella sottostante, che quasi ogni sito con incremento di arsenico in profondità rientra nella classificazione pedologica come Fluvisol.

Sito	Tipologia pedologica
L2T03	Fluvisol
L2T05	Fluvisol
L2T07	Fluvisol
L2T20	Fluvisol Cambisol
L2T24	Fluvisol
L2T25	Fluvisol
L2T29	Histosol

Tabella 15: Tipologia pedologica dei suoli con forte incremento di Arsenico in profondità

Si può dedurre, in conclusione, che all'interno dell'area di studio, in corrispondenza delle aree indicate dalla carta pedologica regionale come Fluvisol, c'è una possibilità significativa di incontrare un suolo caratterizzato da un incremento di arsenico ad una profondità di circa 1 m.

4.5 Definizione del valore di fondo naturale

L'elaborazione dei risultati analitici descritte nei paragrafi precedenti ha portato alla suddivisione del territorio di indagine in due areali geografici distinti: la zona corrispondente al versante idrografico destro, denominata Zona 0 e la restante parte corrispondente alla piana alluvionale di fondovalle e al versante idrografico sinistro, denominata Zona 4.

Nella Zona 0 tutti i siti studiati hanno presentato concentrazione di Arsenico inferiore al limite di colonna A e non si ritiene quindi interessata da condizioni di arricchimento naturale. La Zona 4 invece mostra tenori in arsenico mediamente superiori al limite di colonna A e si definisce pertanto come un'area interessata da fondo naturale.

Date le caratteristiche geologiche e litologiche del territorio, si è ritenuto opportuno comparare i dati relativi alla zona 4 con quelli della Zona 1 appartenente al lotto 1 (ubicato a sud della Linea del Tonale). Per verificare se le popolazioni da cui sono originati i campioni sono statisticamente uguali è stato applicato il Test di Student. Il Test t per campioni indipendenti si usa per determinare se c'è una differenza statisticamente significativa tra le medie di due gruppi tra loro indipendenti. Il Test ha confermato che non vi è differenza tra le medie delle due popolazioni.

Nella cartina sottostante si mostra la suddivisione dei tre areali individuati, evidenziati con colorazioni differenti.

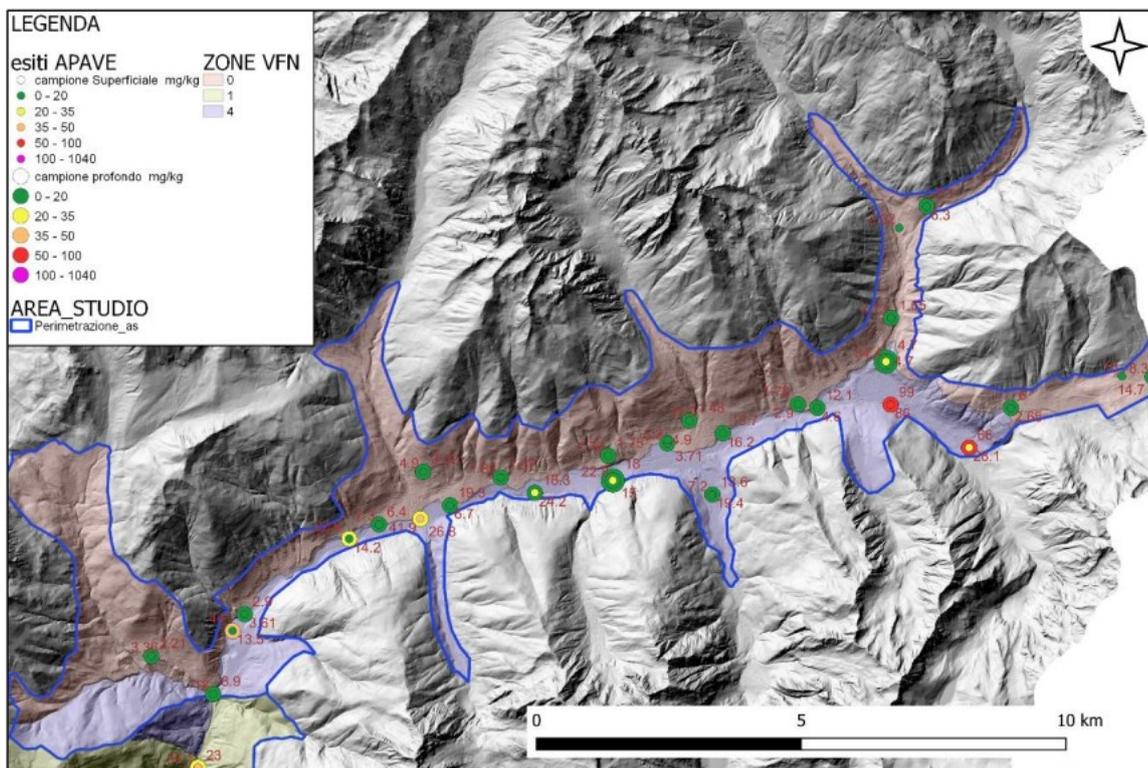


Figura 48: Cartina lotto 2 di indagine con differenziazione dei tre areali individuati ([Valcamonica-Lotto2 relazione VFN As 20231114.pdf](#))

In accordo con la metodologia definita dalle Linee guida SNPA, il valore di fondo naturale per la Zona 1+4 può essere definito considerando diversi parametri statistici.

In analogia a quanto fatto per il lotto 1 di indagine e per i territori dei Comuni di Bormio e Livigno, si è scelto di considerare quale valore di fondo naturale per l'arsenico, per le Zone 1 e 4, complessivamente, il 95° percentile della distribuzione teorica, che è pari a 69 mg/kg.

5 Conclusioni

Ne consegue che i valori di fondo determinati per l'indagine relativa al lotto 2 sono i seguenti:

Zona	VNF As (mg/kg)
0	CSC
1 e 4	69

Tabella 16: Valori di fondo determinati per il lotto 2

Nella Zona 4 il nuovo valore di fondo determinato per l'Arsenico è 69 mg/kg.

Nella Zona 0 non è stato determinato il valore di fondo naturale perché le concentrazioni di Arsenico rilevate non eccedono le CSC che restano quindi il limite di riferimento da seguire per gli interventi di bonifica e la gestione delle terre e rocce da scavo.

Regione intende promuovere un approfondimento conoscitivo a scala regionale degli areali interessati da valori di fondo superiori alle CSC normative.

Lo scopo è quello di continuare a mappare il territorio attraverso ulteriori campagne di indagine, individuando il valore di fondo di metalli e metalloidi anche diversi dall'Arsenico, in modo tale da avere una panoramica completa della zona studiata e poter gestire qualsiasi tipo di intervento in modo adeguato e sostenibile.

Referenze bibliografiche

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

-Arsenico in Alta valle Camonica <https://www.arpalombardia.it/temi-ambientali/suolo-e-sottosuolo/arsenico-in-alta-valle-camonica/>

-ISPRA- schema degli orizzonti pedologici.

https://www.isprambiente.gov.it/files/biodiversita/Schema_orizzonti_pedologici.pdf

-Qualità dei suoli- Alta Valle Camonica. ([Valcamonica-Lotto2 relazione VFN As 20231114.pdf](#))

-Schema analisi manuale del terreno.

<https://www.purpurea.it/strumenti/strumenti-tecnici/403-analisi-manuale-del-terreno.html>

-Inail -Arsenico: contaminazione ed esposizione ambientale.

https://appsricercascientifica.inail.it/documenti_catalogo/volume%20arsenico.pdf

-Mobilità e fitodisponibilità di Arsenico in suoli inquinati- fedOA.

http://www.fedoa.unina.it/1687/1/Branco_Agrobiologia_e_Agrochimica.pdf

-Test t di Student per campioni indipendenti <https://paolapozzolo.it/test-t-student-campioni-indipendenti/>

-Andrea Giordano et al. Libro: "Pedologia" (1999).

-Molte informazioni presenti all'interno dell'elaborato derivano da conoscenze apprese durante lo svolgimento del corso di studio di geopedologia con il professor D'Amico seguito presso l'Università degli Studi di Milano e dal convegno "Arsenico nei suoli dell'Alta valle Camonica" organizzato da UniMont ad Aprile 2024 in collaborazione con l'Ordine dei Geologi della Lombardia.

Ringraziamenti

Mi è doveroso dedicare questo ultimo spazio della tesi a tutte le persone che mi hanno supportato nel percorso di crescita personale e scolastico.

Ci tengo a ringraziare in modo particolare il professor Michele D'Amico che mi ha seguito con molta pazienza e disponibilità durante lo svolgimento del tirocinio e infine durante la stesura di questo elaborato.

Ringrazio i miei genitori, per avermi dato la possibilità di proseguire gli studi e più in generale per aver contribuito in modo significativo a rendermi la persona che sono ora.

Un grazie speciale a mio fratello, compagno di viaggio e amico Daniele, con il quale da sempre condivido ogni passione ed ogni traguardo. Sei l'esempio sicuro da seguire.

Ringrazio mio nonno, dimostrazione costante di come nella vita solamente con il sacrificio e l'impegno si possano ottenere grandi soddisfazioni.

Un ringraziamento a tutti i miei amici per aver regalato negli anni momenti indimenticabili di condivisione e divertimento.

Grazie a Gloria, che in poco tempo è diventata per me una persona così importante.

Infine, una dedica speciale a mia nonna, la persona che più di tutte avrei desiderato fosse presente al raggiungimento di questo mio piccolo traguardo. Hai sempre tenuto in modo particolare al mio percorso di studi e spero che oggi potrai essere orgogliosa di me.

Grazie!