



**UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI MILANO**  
**FACOLTÀ DI SCIENZE AGRARIE E ALIMENTARI**

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

**CARATTERISTICHE CHIMICO-EVOLUTIVE E**  
**DI FERTILITÀ DEI SUOLI DELL' AREA DI**  
**CLUSONE (VAL SERIANA, BG)**

Relatore:

Prof. Ermanno ZANINI

Elaborato Finale di:

Lorenzo FILISETTI

Matr. n. 840174

Anno Accademico 2015/2016



## Indice

<b>1. Introduzione</b> .....	pag. 1
1.1. Premessa .....	pag.1
<b>2. Scopo del lavoro</b> .....	pag.2
<b>3. Area di studio</b> .....	pag.3
3.1. Geo-litologia, tettonica e geo-morfologia .....	pag.3
3.2. Clima e pedologia.....	pag.8
3.3. Uso del suolo.....	pag.13
<b>4. Materiali e metodi</b> .....	pag.15
4.1. Campionamento.....	pag.15
<b>5. Protocollo analitico</b> .....	pag.25
5.1. Analisi chimiche.....	pag.25
5.2. Analisi fisiche.....	pag.26
5.3. Parametri idrologici.....	pag.27
5.4. Analisi chimico-mineralogiche e indici pedo-evolutivi.....	pag.27
5.5. Indici pedo-evolutivi di colore ed età stimata.....	pag.27
<b>6. Risultati</b> .....	pag.28
6.1. Tabelle e grafici.....	pag.28
6.2. Commenti ai risultati.....	pag.42
<b>7. Conclusioni</b> .....	pag.46
<b>8. Bibliografia</b> .....	pag.47

## 1) INTRODUZIONE

### 1.1 *Premessa*

La decisione dell'Europa di individuare una strategia unica per la costituenda Macroregione Alpina è l'occasione per ripensare la vita sulle Alte Terre europee. Gli obiettivi sono quelli di preparare le giovani generazioni a conoscere i problemi delle Alte Terre per abitarle e lì operare; in particolare ci si prefigge di preparare tecnici in grado di predisporre strategie adeguate allo sviluppo sostenibile della montagna.

Lo spopolamento delle nostre montagne è iniziato verso la metà del XX secolo, a ridosso del dopoguerra, quando l'industria in via di ripresa necessitava di mano d'opera. Molti agricoltori scelsero di "scendere a valle" per un salario sicuro e per una condizione di vita più accettabile rispetto alle fatiche dell'agricoltura montana.

Il ritorno alla montagna di molti giovani è una realtà concreta e può riannodare fili recisi di un tessuto agricolo di montagna che, travolto dalle ondate del turismo e dalle monoculture, è via via scomparso in gran parte delle Alpi. Attualmente l'orientamento produttivo prevalente è ancora di tipo tradizionale, ruotando soprattutto attorno alla zootecnia da latte e agli allevamenti bovini e ovi-caprini, al massimo sui piccoli frutti o sul recupero di produzioni di antiche varietà, salvo nelle aree vocate dove monoculture, come vite e melo, hanno il sopravvento e consentono redditi di tipo industriale. Le produzioni tradizionali, soprattutto lattiero-casearie, pur essendo quantitativamente limitate, sono fortemente improntate alla qualità e alla tipicità.

Le aree agricole montane, pur presentando ancora numerosi problemi, negli ultimi tempi hanno cercato di riscattarsi dall'immagine di anello debole del comparto agricolo-rurale, sfruttando le potenzialità legate alla multifunzionalità.

Anche i territori dei monti bergamaschi accolgono un'agricoltura tradizionale, basata sulla zootecnia da latte, sugli allevamenti bovini e ovi-caprini. Gli alpeggi che ospitano gli animali nel periodo estivo, con i loro verdi pascoli, l'aria pulita e un ritmo di vita che segue ancora l'andamento delle stagioni, permettono agli agricoltori di condurre una zootecnia ancora tradizionale. Purtroppo la trasformazione urbana della conca di Clusone ha portato a una consistente perdita di suolo e delle condizioni adatte soprattutto alla sosta nella transumanza per la quale la zona era ottimale per produzioni foraggere prative.

Il sostegno e la conservazione di ciò che rimane, l'incentivazione a un ritorno all'agricoltura o la scelta di strategie più redditizie non possono che essere basati sulla conoscenza approfondita del territorio e, poiché il suolo è il punto iniziale di ogni filiera agro-alimentare, da questa risorsa occorre partire appunto per conoscerla e poi valorizzarla.



*Fig. 1 Panorama dell' altopiano di Clusone visto dal monte San Lucio.*

## **2) SCOPO DEL LAVORO**

La finalità del lavoro svolto è stata la caratterizzazione della fertilità di base e del livello evolutivo raggiunto dai suoli della conca di Clusone (BG), il cui ambiente pedologico è poco noto, soprattutto in termini di stato attuale della risorsa agricola primaria.

L'indirizzo adottato non è stato quello pedogenetico tradizionale, basato sulla mera descrizione dei profili: sostanzialmente assai simili nell'area di studio perché ci si è rivolti quasi esclusivamente ai suoli agricoli "relitti" che evolvono su sistemi e complessi sedimentari fluvio-glaciali o fluviali con espressione morfogenetica assai simile (Ap-Bw-C), ma diversi per potenziale intensità della pedogenesi sia per condizioni ambientali, sia per storia agricola.

L'approccio non è neppure stato tassonomico, bensì è stato basato su indicatori chimici, fisici e chimico-mineralogici in grado di segnalare le condizioni differenziali di fertilità e il grado evolutivo degli orizzonti minerali superficiali Ap e Bw.

### 3) AREA DI STUDIO

#### 3.1 Geo-litologia, tettonica e geo-morfologia

L'area in esame è compresa nel Foglio 077-Clusone della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000, che appartiene al dominio paleogeografico strutturale della Alpi Meridionali, ed è caratterizzata da una successione sedimentaria di età permo-mesozoica, su cui poggiano in discordanza depositi continentali neogenico-quadernari. Lo schema tettonico (Fig 2) mostra come il territorio analizzato faccia parte dell'Unità tettonica M. Alben-Pizzo Formico che è separata dall'Unità tettonica Menna-Pagherolo-Timogno dalla faglia di Clusone.

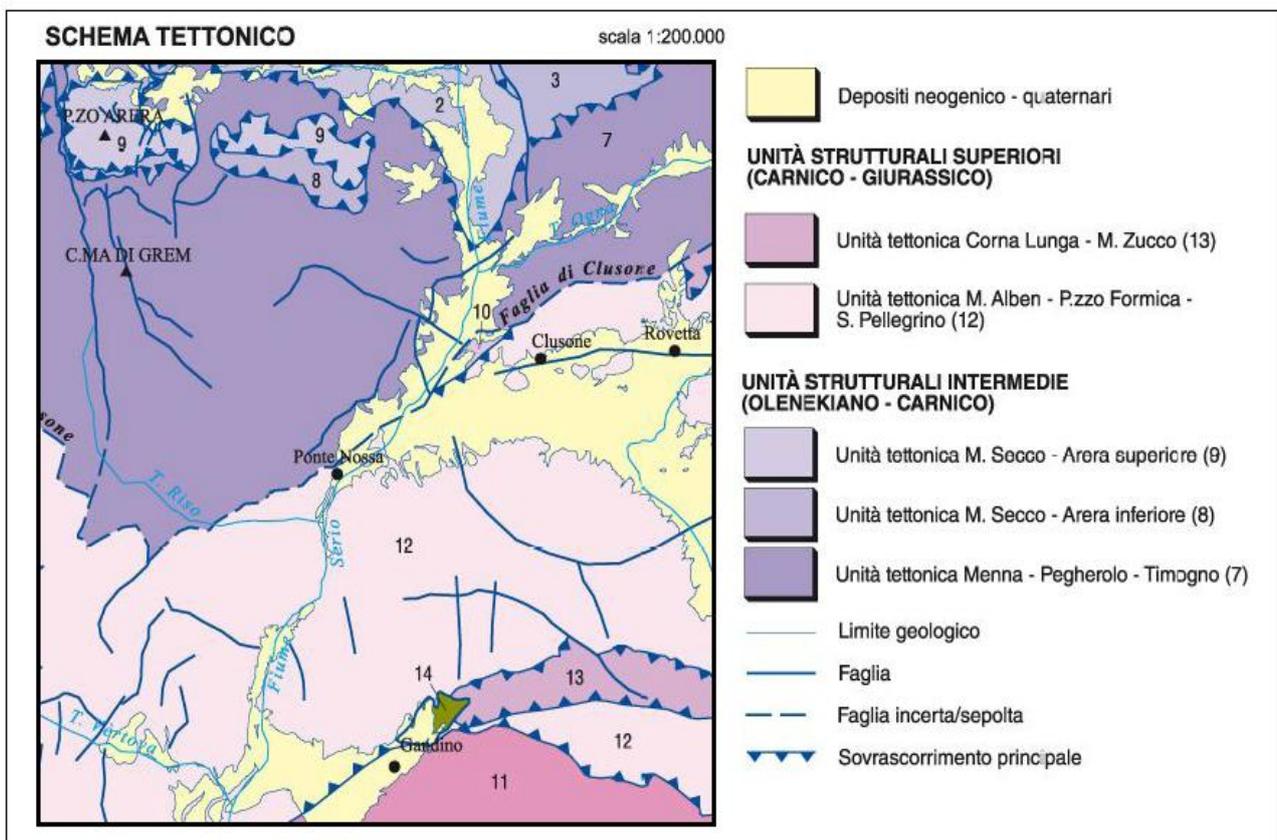


Fig. 2 schema tettonico.

Il territorio considerato comprende una depressione colmata da sedimenti continentali neogenico-quadernari, indicata nella letteratura geologica (CHARDON, 1969; FERLIGA, 2000) come "bacino di Clusone", più una piccola parte della val Borlezza, compresa nei comuni di Cerete e San Lorenzo. Tale territorio presenta molte caratteristiche comuni, sia a livello litologico e pedologico, che sotto gli aspetti della capacità e della destinazione d'uso

dei suoli. Compreso tra il Passo della Presolana, Clusone e Cerete alta, tale altopiano è un'ampia depressione intramontana allungata in senso E-W e controllata da lineamenti tettonici, che, successivamente all'emersione della catena, ha rivestito il ruolo di bacino sinorogenico con sedimentazione di tipo continentale. Il suo fondo in roccia ha morfologia estremamente articolata, con dossi conici che emergono nettamente dalla piana, accanto a tratti scavati per oltre 120 m sotto il piano campagna attuale: si tratta di una superficie erosionale composita e polifasica, che tronca nettamente depositi conglomeratici alluvionali e glaciali più antichi sospesi per parecchie centinaia di metri. Attualmente la zona fra Dosso Foppe e Maninetti è un vero e proprio valico tra il bacino del Serio e quello dell'Oglio, posto a quote relativamente basse (attorno ai 600 m) e modellato su di una complessa successione di depositi alluvionali, lacustri e glaciali in gran parte sepolti, di potenza in alcuni punti superiore al centinaio di metri. La superficie subpianeggiante, terrazzata, lievemente pendente verso W, è interrotta da dossi allungati modellati in dolomie noriche o in conglomerati alluvionali depositi da un antico corso d'acqua, forse tributario del Serio. Su di essi si ammantano i depositi glaciali di una diffluenza del ghiacciaio camuno penetrata nell'area attraverso la Val Borlezza nel Pleistocene medio, dando luogo a cordoni morenici molto arrotondati e smembrati dall'erosione. A SW del vero e proprio bacino, l'altipiano si estende fino a che è troncato dalla valle del Serio. In questo tratto si ammantano depositi di varia origine, identificabili attraverso la superficie limite superiore evidente e quindi distinti come UBSU. Questi depositi sono corpi conglomeratici alluvionali, incassati gli uni negli altri, su cui si ammantano di volta in volta i depositi glaciali delle successive avanzate del Pleistocene medio e superiore del ghiacciaio del Serio (sistema della Pineta, dei Morti Vecchi, dei Prati Mini). Questi ultimi assumono espressioni ben evidenti, infatti archi morenici modellano la superficie de' La Selva di Clusone. L'intera area studiata appare tutt'ora di problematica interpretazione a causa della scarsa conoscenza della successione sepolta; appare evidente comunque come la sua evoluzione post emersione sia stata complessa, conservando evidenze di un riassetto tettonico dell'intero settore, nonché di fenomeni di cattura del drenaggio. Di particolare rilievo sembra assumere l'attività tettonica recente. Nell'ambito di studi specifici (DE FRANCO *et alii*, 2004) sono stati eseguiti rilevamenti quali pozzi, profili sismici e sondaggi geoelettrici che hanno evidenziato un fondo in roccia estremamente irregolare, come viene mostrato dalla Fig.3. I sedimenti registrano a loro volta dislocazioni anomale. Nel centro della piana di Clusone, in corrispondenza del dosso di Fiorine, affiorano conglomerati alluvionali di incerta correlazione (conglomerato del Dosso di Fiorine),

immergenti verso SW con inclinazione di 30°. Una giacitura secondaria anomala è presentata anche dalla base della successione (supersintema della Colma del Piano) affiorante nella forra del Valeggia (FERLIGA, 2000). Tutti questi elementi indicano l'esistenza, in epoche relativamente recenti, di configurazioni del territorio e del drenaggio diverse da quella attuale, e suggeriscono un riassetto dell'intera area successivo alle prime avanzate glaciali pleistoceniche.

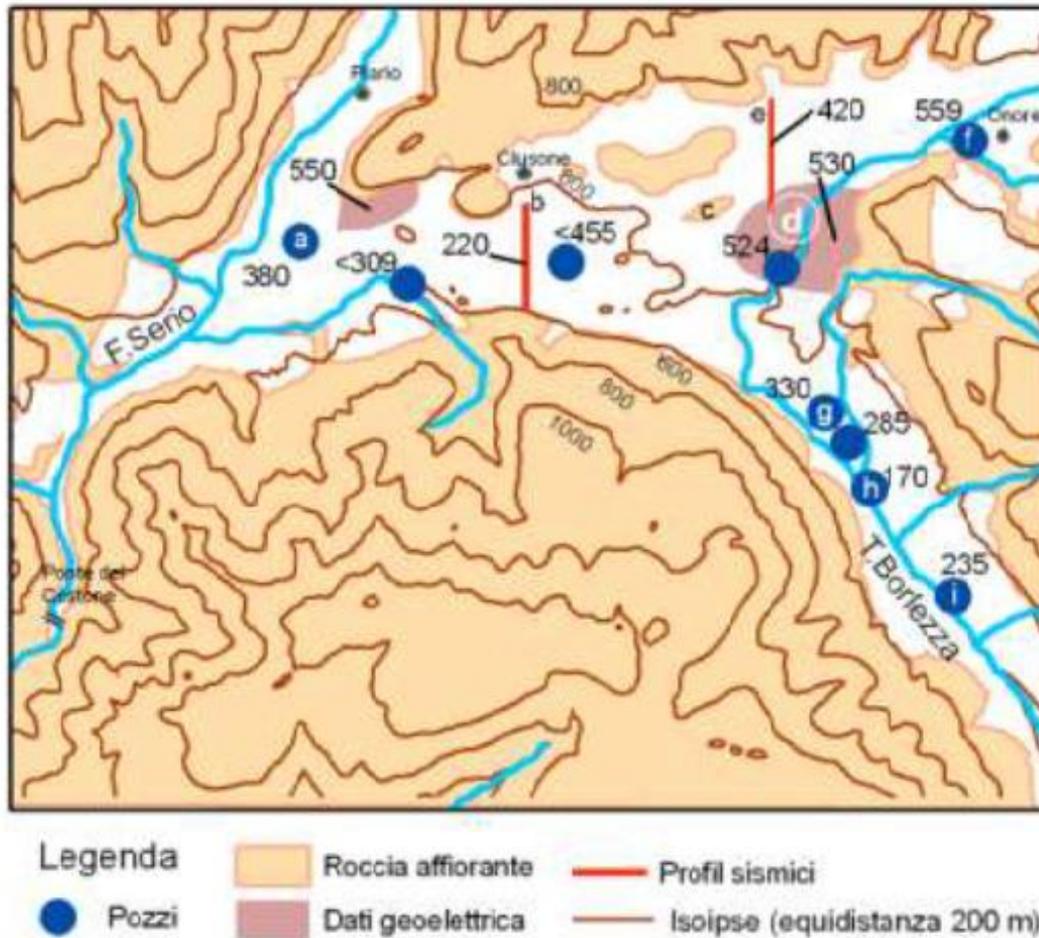


Fig. 3 Quota del fondo in roccia (m.s.l.m.) nell'area Val Seriana-Val Borlezza: dati da profili sismici, pozzi e sondaggi geoelettrici.



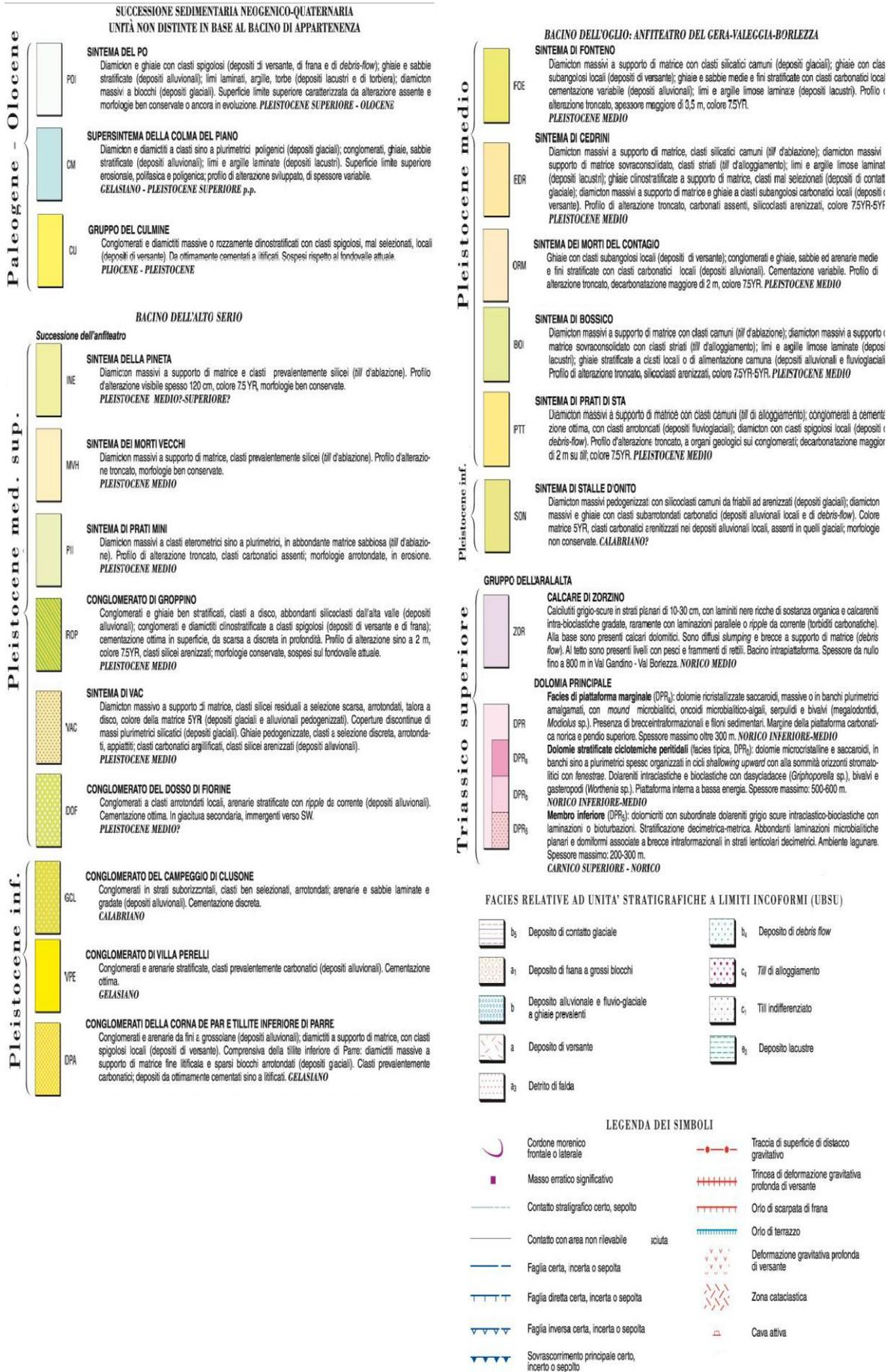


Fig. 4 Legenda Carta geologica d' Italia 1:50.000, foglio 077 Clusone.

### 3.2 *Clima e pedologia*

Il clima è l'effetto della combinazione tra gli eventi meteorologici e l'orografia del territorio, in funzione di una precisa collocazione geografica. Influenzano il clima temperatura e umidità dell'aria, radiazione solare, nuvolosità, precipitazioni e venti. La complessità geomorfologica del territorio studiato e la sua collocazione geografica comportano l'instaurarsi di microclimi, per cui le condizioni climatiche qui osservate sono talvolta nettamente differenti da quelle delle aree limitrofe. Per un'indagine significativa riguardo il clima di un determinato territorio è necessario che le serie storiche delle variabili metereologiche considerate siano almeno trentennali. Per l'altopiano di Clusone la stazione che presenta serie storiche che soddisfano queste esigenze è la stazione termopluviometrica di Clusone. Essa seppur presenta alcune carenze a fine '800, durante la seconda Guerra mondiale e all'inizio del 2000, è attiva nella misurazione delle precipitazioni dal 1887 e della temperatura dell'aria dal 1926. I dati grezzi provengono per il periodo anteriore al 1913 dalla pubblicazione del Goltara(1960) e per i tempi successivi dagli Annali Idrologici del Servizio Idrografico del Po. Questi dati hanno costituito la base per uno studio climatologico del bacino idrografico del Torrente Borlezza (BARTULETTI C. & CAROLLO A.,1973) che ha utilizzato la stazione di Clusone quale località pilota per l'intero areale in studio; essi hanno anche contribuito all'elaborazione delle carte delle precipitazioni annue del territorio alpino lombardo pubblicate da Regione Lombardia (CERIANI M. & CARELLI M., 2000) ed a uno studio geologico per il piano di governo del territorio ( GeoTer, 2008 ) effettuato per il comune di Rovetta. Tabelle, grafici e carte di seguito riportati provengono da tali fonti.

#### 3.2.1 *Precipitazioni*

La media dei dati annuali ricavati dalla serie storica 1887-1970 è pari a 1.451,7 mm/anno, in linea con quello della Carta delle precipitazioni medie, massime e minime annue del territorio alpino (M. Ceriani e M. Carelli,2000) (Fig. 6). La successione cronologica dei totali annui delle precipitazioni a Clusone è alquanto irregolare, sottolineando così la grande variabilità di questo fenomeno atmosferico: il rapporto tra valore massimo, 2282 mm (1888) e il minimo 572 mm (1921) è all'incirca 4, il che, secondo CARLIER (1986) si verificherebbe soltanto nei climi prettamente continentali e mediterranei. Un'analisi più adeguata del fenomeno piovoso che consideri il regime pluviometrico, evinto dai dati mensili, permette di riconoscere il clima dell'altipiano clusonese come prealpino con rilevanti influssi continentali. Le precipitazioni presentano un minimo invernale alquanto

attenuato (gennaio o febbraio) e due massimi, uno durante la tarda primavera (aprile o maggio) ed uno nell'autunno inoltrato (ottobre o novembre). Un periodo di magra relativa si osserva anche al termine del periodo estivo (agosto o settembre). I massimi di pioggia sono maggiori di 2.000 mm/anno, con un picco nel 1888 (2.283 mm), che però non si può confrontare con i dati del 2000 e del 2002, che sono sicuramente gli anni più piovosi degli ultimi vent'anni. Il minimo pluviometrico è stato registrato nel 1921 (572 mm). Nel tempo si osserva una tendenza alla diminuzione della quantità annua di pioggia, come già notato in altre aree della provincia e del territorio lombardo.

Per una più completa e corretta analisi climatica è necessario considerare anche l'entità degli eventi meteorologici estremi, quali per esempio le piogge di forte intensità e breve durata necessarie a valutare le portate degli eventi di piena. L'analisi di questi dati consente di affermare che le piogge di brevissima durata (un'ora), ma con una certa intensità, sono molto più frequenti in estate, mentre gli eventi piovosi di durata superiore (3-6-12-24 ore) sono invece tipici delle giornate primaverili e soprattutto di quelle autunnali, che sono caratterizzate da piogge meno intense e più prolungate. I coefficienti caratteristici "a" e "n", che permettono di ricavare entità e t di ritorno delle piogge di massima entità per una determinata area, sono ricavabili da specifiche carte allegare al P.T.C.P. di Bergamo. (GeoTer, 2008)

Carta delle precipitazioni

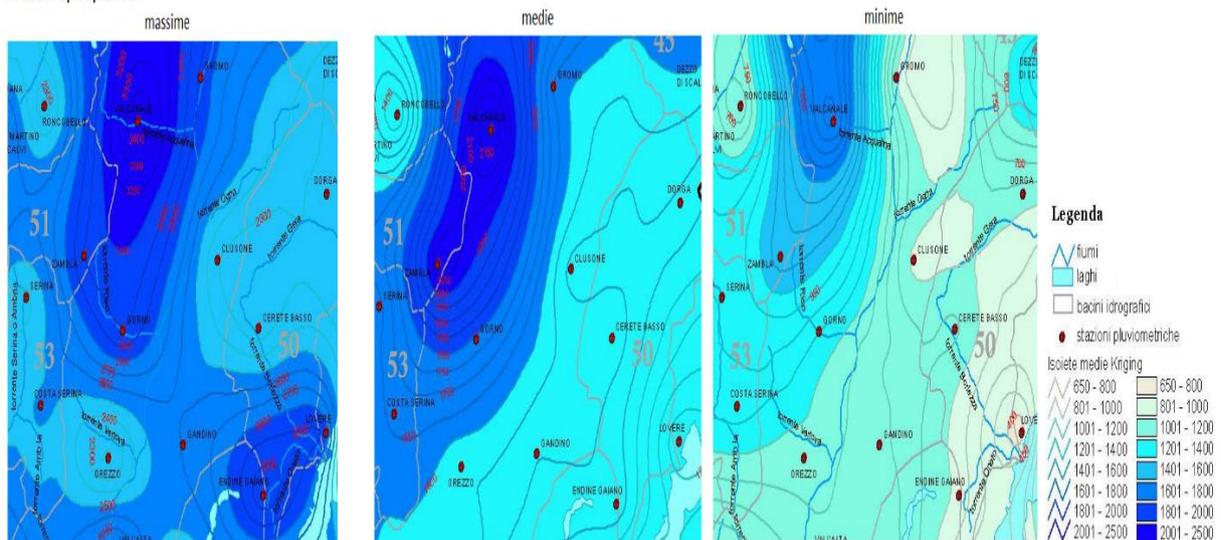


Fig. 5 Carta delle precipitazioni medie, massime e minime annue del territorio alpino (Cerani M. & Carelli M., 2000)-carta delle isoiete medie annue per il periodo 1891-1990.

### 3.2.2 Temperatura dell'aria

Sottoponendo ad analisi statistica la serie trentacinquennale dei valori di T registrati dalla coppia di termometri (uno a massima e uno a minima) della stazione di Clusone è stato possibile evidenziare alcune caratteristiche assunte da questo parametro climatico. La valutazione del t di Student quale test di significatività ha permesso di verificare che non si può respingere l'ipotesi di normalità per la distribuzione dei dati sperimentali (BERTULETTI & CAROLLO,1973). La distribuzione si può definire completamente con la media  $10,5\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 0,72$ , mentre i valori estremi delle medie annue sono pari a  $12,2^{\circ}\text{C}$  e  $8,9^{\circ}\text{C}$ .

Il regime termico, mostrato in Fig 7, è caratterizzato da valori medi mensili massimi a

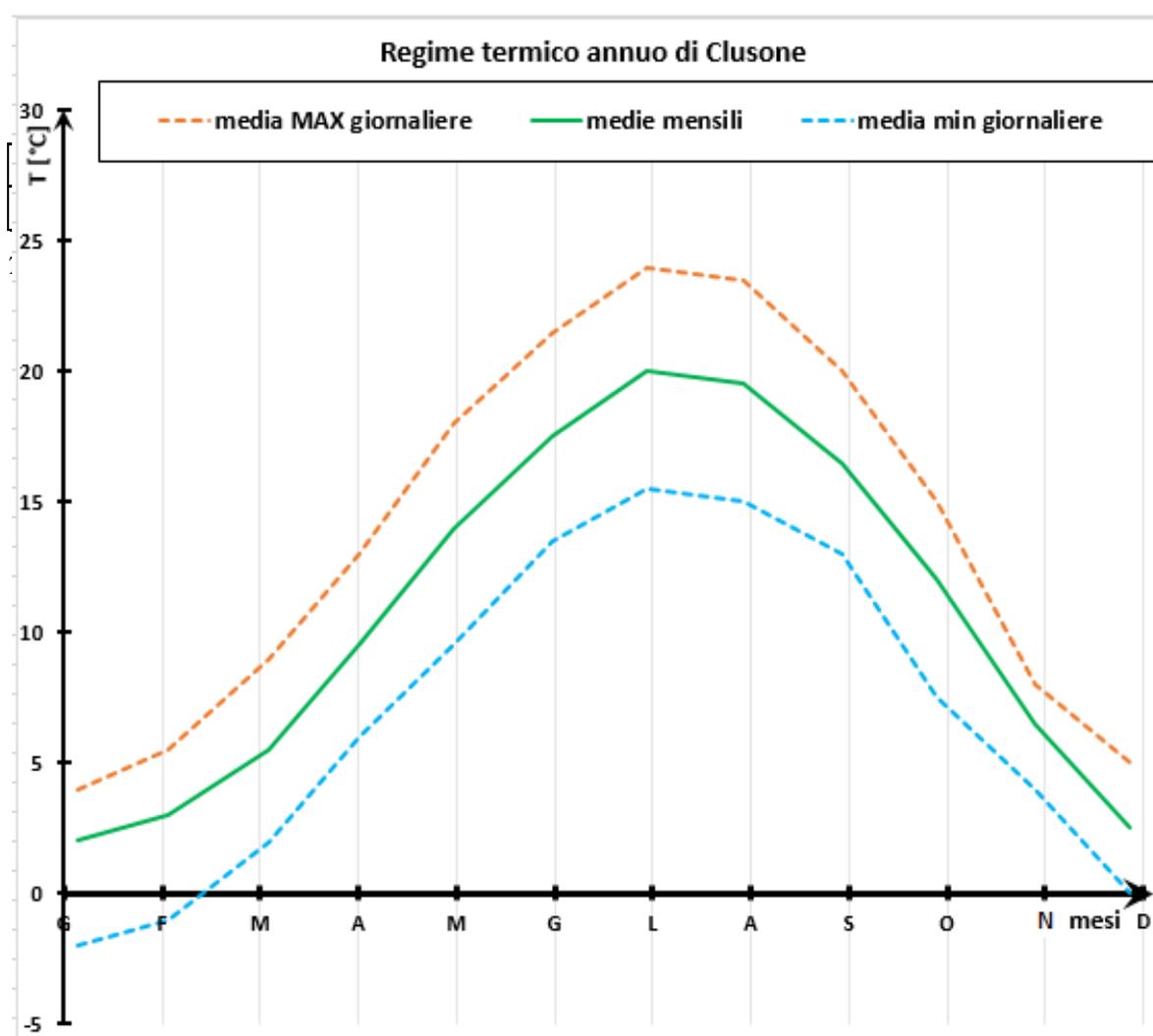


Fig. 6 Regime termico annuo di Clusone (1921-1972).

luglio e minimi a gennaio, fenomeno riscontrabile in genere in tutta la regione italiana. Esaminando le differenze di temperature tra mesi successivi (Tab. 1), risulta evidente la modesta variazione di temperatura nel periodo più freddo e in quello più caldo dell'anno, rappresentati rispettivamente dai trimestri dicembre-febbraio e giugno-agosto. Nei periodi intermedi le variazioni sono molto più rilevanti.

Dal grafico di Fig. 7 si evidenzia un'escursione media di 20°C, che secondo la classificazione di MORI (1957) è il valore limite al di sopra del quale un clima si può definire continentale, mentre la fluttuazione di temperatura è maggiore per le massime rispetto alle minime; infatti l'escursione delle prime è 20,7 °C, delle seconde 17,4°C.

L'escursione media diurna della temperatura è pari a 7,2. Ai fini della valutazione climatica e delle dinamiche che influenzano direttamente i suoli è interessante analizzare i fenomeni di gelo e di disgelo, in quanto, con il mutamento di stato dell'acqua si hanno mutamenti notevoli nei processi idrologici, poiché le precipitazioni non vengono restituite ai deflussi, ma sono trattenute al suolo sotto forma di neve o ghiaccio. Inoltre la formazione di quest'ultimo ha un'influenza sulla pedogenesi, in quanto favorisce lo sgretolamento delle rocce; l'effetto sarà quindi tanto più pronunciato quanto più frequente sarà il mutamento di fase dell'acqua. Mediamente i giorni di gelo nell'arco dell'anno sono 49, mentre quelli senza disgelo sono 28.

### 3.2.3 *Ventosità*

I venti prevalenti spirano da Sud, in regime di brezza, incanalati dall'asse vallivo principale della valle Seriana o della valle Borlezza; essi portano in genere aria umida, favorendo il formarsi di precipitazioni locali ed il permanere di un grado di umidità piuttosto elevato. Nel tardo autunno e nella stagione invernale sono frequenti venti di caduta da Nord e qualche giornata può essere caratterizzata da tramontana.

### 3.2.4 *Evapotraspirazione potenziale*

Dai dati ottenuti con il metodo di Thornthwaite alla stazione di Clusone si rileva che in ogni mese dell'anno la precipitazione eccede l'evaporazione potenziale o, in altre parole, che vi è sempre un surplus di pioggia che alimenta lo scorrimento superficiale e l'infiltrazione.

	T Max [°C]	T min [°C]	T m [°C]	i	K	EPT [mm]	P[mm]	S
Gen	4,2	-1,4	1,4	0,16		2	65	63
Feb	5,9	-0,6	2,6	0,40	23,7	7	69	62
Mar	9,7	2,6	6,1	1,40	24	38	97	59
Apr	15,5	6	9,7	2,73	30,6	47	135	88
Mag	17,1	9,6	13,3	4,40	33,9	74	163	89
Giu	21,9	13,6	17,8	6,76	38,7	113	149	36
Lug	24,4	15,9	20,2	8,28	39	127	141	14
Ago	23,6	15,5	19,6	7,91	39,6	113	136	23
Set	20	12,9	16,4	6,08	36,6	81	126	45
Ott	14,2	8	11,1	3,35	31,2	45	145	100
Nov	9,3	3,7	6,5	1,50	28,2	21	156	134
Dic	5,6	-0,3	2,6	0,40	23,7	7	85	78
anno			10,6	43,33	22,2	675	1466	721

Tab. 2 Temperature mensili (Max,min,m), Precipitazioni e EPT calcolata con il metodo di Thornthwaite

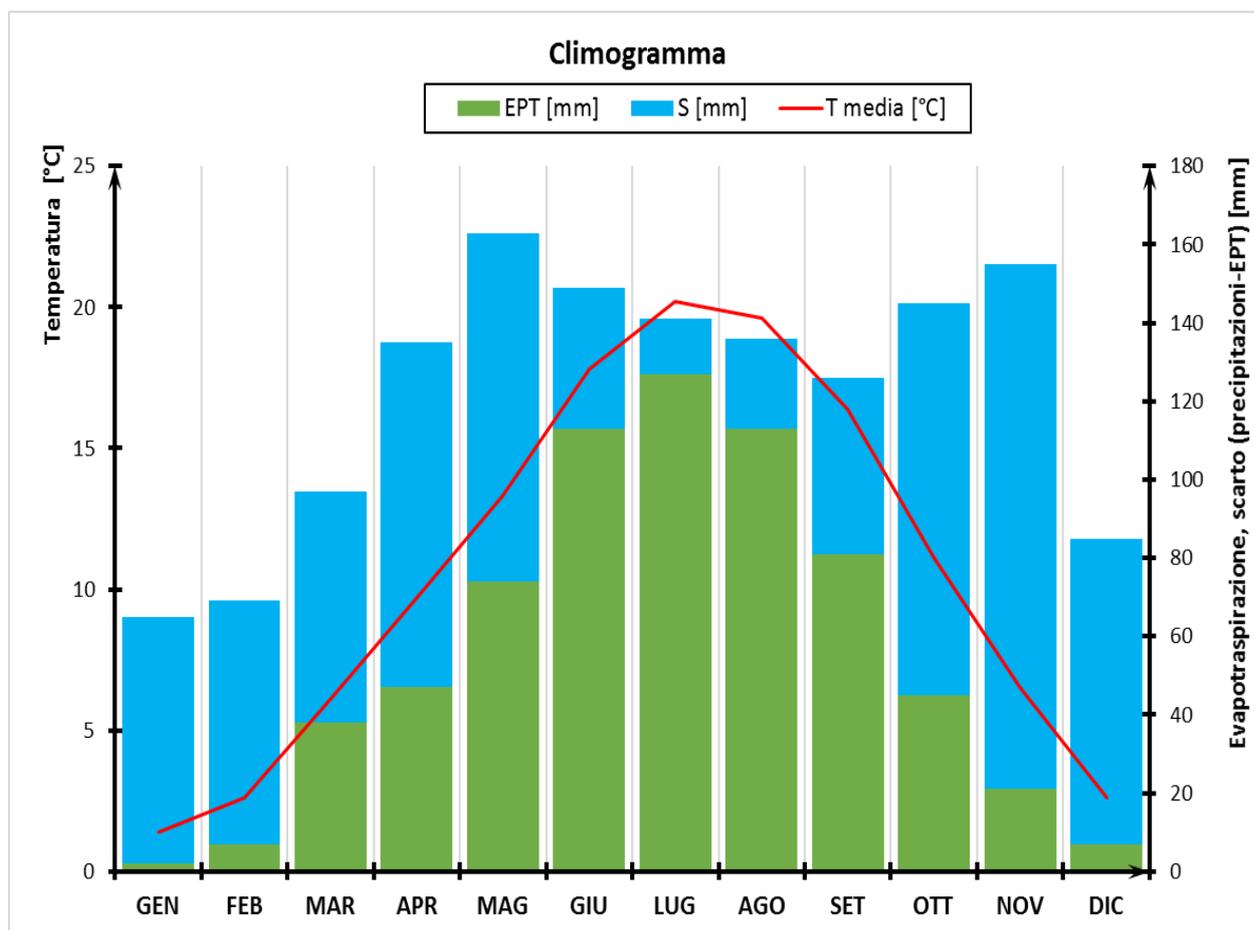


Fig. 7 Climogramma dell'area di Clusone

### 3.2.5 Conclusioni climatiche

Come giustamente sostiene il Gavazzeni (1957) risulta difficile, trattandosi di una zona montuosa, cercare un inserimento dell'areale negli ampi quadri regionali di classificazione

climatica, che in genere sono validi per i territori di pianura. Tuttavia, seguendo il Koeppen, Gavazzeni distingue nella provincia di Bergamo 3 tipi climatici; l'altopiano di Clusone potrebbe collocarsi nel secondo tipo attribuito alle alpi e alle prealpi fino a 1500 m.: si tratterebbe di un clima di medie latitudini, piovoso, con inverno mite (T del mese più freddo compresa tra 18 e -3 °C), senza una vera e propria stagione asciutta (mese meno piovoso con pioggia superiore ai 30 mm) ed estate fresca (mese più caldo con T inferiore ai 22°C). La temperatura e le precipitazioni sono considerati come i due parametri atmosferici fondamentali per un inquadramento climatico. Per tale motivo si sono rappresentati contemporaneamente i due fenomeni metereologici nel climogramma della Fig. 8, dove le precipitazioni e le temperature si riferiscono ai valori medi mensili dei rispettivi periodi di osservazione. L'esame di tale rappresentazioni permette di rilevare che, in media, nel periodo più caldo dell'anno, quando più elevati sono i fenomeni di evapotraspirazione si ha una notevole alimentazione del bacino da parte delle precipitazioni e quindi si dovrebbe, potenzialmente, avere un'adeguata disponibilità idrica. Quest'ultima risulta invece più modesta durante il periodo invernale quando le precipitazioni sono più modeste e in parte trattenute al suolo.

Per quanto concerne il regime termico dei suoli, calcolabile sulla base dei dati sopra descritti con riferimento alle condizioni previste dalla USDA Soil Taxonomy (2014), generalmente la conca di Clusone può essere ascritta al **“regime mesico”**. Il regime di umidità, legato a una forte prevalenza delle precipitazioni sull'evapotraspirazione potenziale, è definibile da **“udico”** a **“perudico”** con conseguente stato di forte umidità del profilo per lunghi periodi dell'anno. In alcune situazioni concave potrebbe anche realizzarsi la condizione di **“aquico”**.

### 3.3 *Uso del suolo*

L'area di studio appartiene alla fascia agricola delle piane alluvionali interne di fondovalle talora raccordate con depositi colluviali post-glaciali. La morfologia tipicamente sub-pianeggiante, con acclività in genere <10%, consente di individuare prevalentemente zone coltivate a seminativo e zone a colture foraggere permanenti con una tendenza verso la parte più bassa della conca per il pascolo.

La collocazione topografica di Clusone è senza dubbio uno dei fattori fondamentali atti a spiegare l'importanza che tale comunità ha avuto, sin dall'epoca degli insediamenti celtici, rispetto ai territori limitrofi dell'alta valle Seriana. L'altopiano alluvionale clusonese ha offerto possibilità di insediamento estremamente vantaggiose, poiché vi era consentito

praticare quella forma di economia mista presente in tutte le zone montuose: allevamento, agricoltura e sfruttamento del legname ( Progetto Archidata, 1986-1990). La pastorizia, insieme all'industria laniera, è stata la componente più importante dell'economia bergamasca per ben tre secoli, dal '500 alla fine dell''800 (CARISSONI, 1985.). La particolare conformazione geografica del territorio seriano, ricco di pascoli di limitata pendenza, altopiani vicini tra loro e ben collegati ai pascoli alti agibili in estate, lo ha reso particolarmente vocato all'attività pastorale. L'altopiano di Clusone era particolarmente sfruttato per far acclimatare le greggi gradatamente ad una vegetazione più fresca rispetto a quella della pianura, prima di salire ai pascoli alti. Inoltre Clusone era anche un'importante centro di tosa e lavaggio della lana che veniva lavorata dagli stabilimenti tessili della valle. La crisi del settore tessile ha portato ad una drastica diminuzione del numero di capi ovini, ma qualche gregge passa comunque sull'altopiano.

Una grave perdita di suolo agricolo è avvenuta a seguito di un'intensa cementificazione, soprattutto negli anni 60-90 (Fig 16), finalizzata principalmente alla realizzazione di seconde case. Oggi il numero delle imprese agricole è limitato rispetto a quelle rientranti nel comparto delle costruzioni e del commercio. Questo dato però non deve far dimenticare che queste, attraverso le scelte di conduzione aziendale, influiscono in modo determinante sulla condizione di una quota considerevole del territorio: quasi il 32% della superficie comunitaria complessiva (Istat 2008). Mentre in passato venivano coltivati anche cereali autunno vernini, allo stato attuale l'utilizzo del suolo agrario è limitato ai prati permanenti, alla coltivazione di mais ad uso animale e qualche campo di patate (Fig. 15, DUSAF 4.0). Interessanti sono le realtà agrituristiche e la recente coltivazione della varietà antica di mais Rostrato Rosso di Rovetta; quest' ultima limitata al solo comune di Rovetta perché protetta dal marchio De.C.O. (Denominazione Comunale d'Origine).

### *3.4 Note pedogenetiche*

La conca di Clusone è di transizione tra il pedo-paesaggio del Piano basale e quello dei Fondovalle Montani (ERSAF, 2004). I suoli di quest'area sono stati assai poco studiati in dettaglio e le caratteristiche che possono essere ricavate dalla cartografia dei Suoli della Lombardia non vanno oltre una visione d'insieme che, al massimo, può indicare delle problematiche generali legate alla dicotomia montagna-pianura.

Il substrato pedogenetico è sostanzialmente legato alle vicende deposizionali glaciali, fluvio-glaaciali e alluvionali che hanno riempito la conca con sedimenti a granulometria

variabile/grossolana correlati ai tipi litologici di questa porzione delle Alpi rappresentati in gran parte da complessi metamorfici a micascisti e gneiss con sovrascorrimento di sequenze sedimentarie permo-triassiche carbonato-dolomitiche del Dominio Sudalpino tipiche delle Alpi Centrali Meridionali (CITA, 1990). In particolare abbondano sedimenti correlati a marne, dolomie e calcari derivanti da rapida degradazione dei versanti.

Allo stato attuale mancano ricerche con indicazioni cronologiche tali da consentire attribuzioni di età ai suoli.

In linea generale nell'area di studio, dove le pendenze sono da nulle a moderate, evolvono suoli medio-fini con caratteri che li avvicinano a quelli originati dai processi alluvionali. Sono suoli in cui può essere presente un orizzonte d'alterazione Bw, frequentemente in graduale transizione con il materiale inalterato, talvolta con evidenze d'idromorfia anche se la falda è raramente presente entro il primo metro. Sono talvolta presenti orizzonti superficiali ad accumulo ed incorporazione di sostanza organica, la cui formazione in ambiente agrario è collegata sia ai processi di versante, sia all'uso prativo prevalente. La tessitura è franca o franco-sabbiosa fine e senza rilevanti quantità di scheletro, di solito non calcarei, ma con possibilità di intrusione di dolomia, con reazione da subacida a decisamente basica, con saturazione in basi e capacità di scambio medio alta.

I suoli dell'area di studio sono generalmente ascrivibili dal punto di vista tassonomico, secondo WRB (2014) a: **EUTRIC CAMBISOL, DOLOMITIC/CALCARIC EUTRIC CAMBISOL.**

#### **4) MATERIALI E METODI**

##### *4.1 Campionamento*

Basandosi sull'Ortofoto reso disponibile dal viewer geografico del Geoportale Della Lombardia tramite lo strato informativo lombardia2012UTM32M è stato possibile tracciare un adeguato piano di campionamento dell'area in esame (Fig.9). Subito evidenti sono stati i vincoli imposti dalla forte urbanizzazione dell'altopiano, che non hanno consentito di estendere tale campionatura a tutto il territorio considerato. L'espansione degli abitati ha portato alla loro fusione, creando un tessuto urbano continuo che copre prevalentemente due fasce: la maggiore è formata dagli abitati di Fiorine, Clusone, Rovetta e Fino del Monte e occupa la parte nord dell'altopiano clusonese sviluppandosi in direzione E-O; la minore si trova a ridosso dei versanti montuosi a sx del torrente Borlezza ed è costituita dagli abitati di Songavazzo, Novezio e Cerete; inoltre a ridosso della sponda

dx del tratto del torrente Borlezza considerato si sviluppa il paese di San Lorenzo di Rovetta. Il piano ha previsto la campionatura di 30 punti, ognuno dei quali è identificato attraverso due numeri separati da un punto, la prima cifra deriva dalla numerazione dei transetti che procede da O verso E, mentre la seconda cifra proviene da una numerazione interna al transect, crescente in direzione S-N. Per ogni punto sono stati estratti due campioni, uno superficiale che considera i primi 10 cm, nell'ambito dell' orizzonte A/Ap, successivi all' eventuale cotico erboso e uno profondo che interessa il suolo 35-50 cm al di sotto della superficie, così da prelevare suolo non interessato da lavorazioni anche in aree agricole coltivate e ascrivibile in genere a un orizzonte da Bw a AC.(Fig 10)

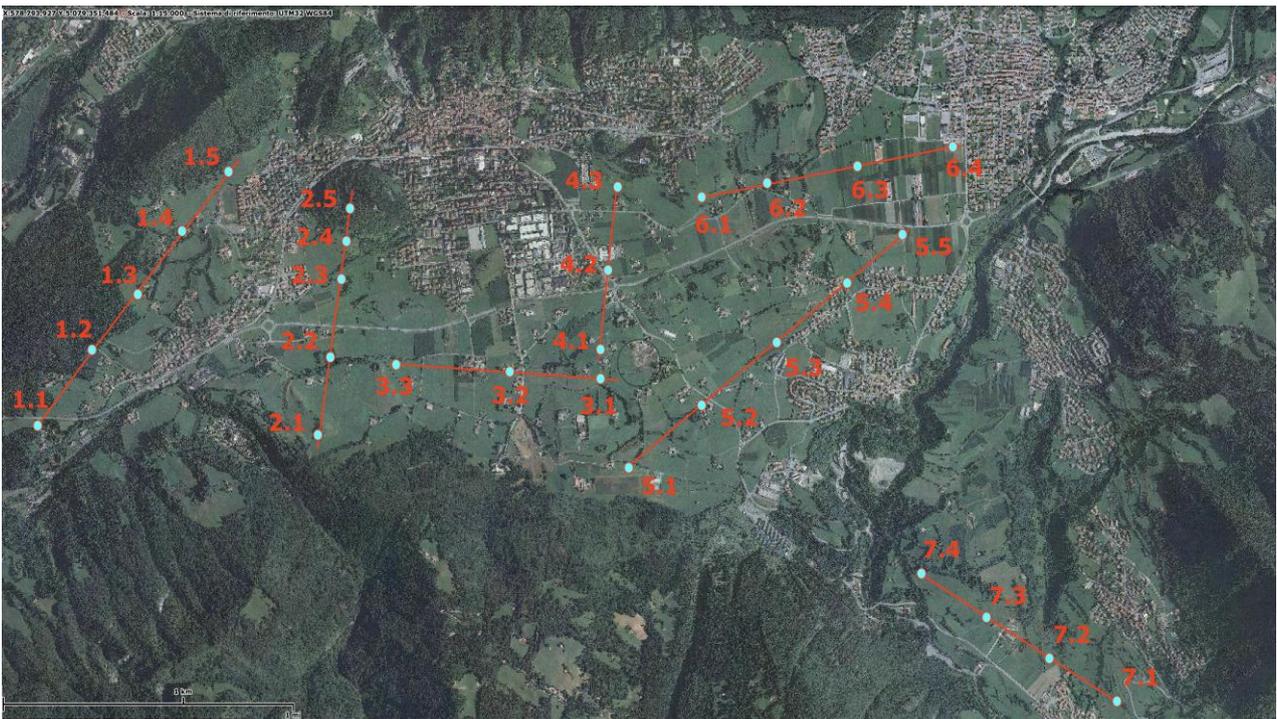


Fig. 8 Ortofoto dell'area in studio con indicati i transetti e i campioni.



*Fig. 10 Fotografie campionamenti.*

In Tab. 3 sono riportate le coordinate UTM e le condizioni d'uso rilevate oltre alla roccia madre dei suoli ricavata dalla carta geologica.

transect.campione	UTM Nord	UTM Est	quota s.l.m.	uso	roccia madre
1.1	32N 5080755.34	32N 571248.60	553	prati permanenti	fluvioglaciale
1.2	32N 5081261.85	32N 571460.05	573	prati permanenti	morenico
1.3	32N 5081816.54	32N 571773.37	571	prati permanenti	morenico
1.4	32N 5082179.56	32N 572162.14	576	prati permanenti	fluvioglaciale
1.5	32N 5082414.05	32N 572345.89	630	prati permanenti	eluviale-dolomia
2.1	32N 5080759.03	32N 572758.26	581	seminativo	morenico
2.2	32N 5081351.31	32N 572871.22	563	seminativo	fluvioglaciale
2.3	32N 5081694.02	32N 572937.13	578	prati permanenti	fluvioglaciale
2.4	32N 5081876.81	32N 572954.96	609	seminativo	eluviale-dolomia
2.5	32N 5082062.79	32N 572962.77	668	prati permanenti	eluviale-dolomia
3.1	32N 5081139.32	32N 574032.83	576	prati permanenti	fluvioglaciale
3.2	32N 5081167.56	32N 573616.14	566	seminativo	fluvioglaciale
3.3	32N 5081244.01	32N 573062.33	581	seminativo	fluvioglaciale
4.1	32N 5081475.65	32N 574395.18	589	prati permanenti	morenico
4.2	32N 5081841.56	32N 574457.40	596	seminativo	fluvioglaciale
4.3	32N 5082154.35	574520.25	619	prati permanenti	fluvioglaciale
5.1	32N 5080540.06	32N 1574573.07	595	seminativo	fluvioglaciale
5.2	32N 5081009.98	32N 574873.76	597	prati permanenti	morenico
5.3	32N 5081339.48	32N 575216.17	602	prati permanenti	fluvioglaciale
5.4	32N 5081655.87	32N 575572.04	621	prati permanenti	fluvioglaciale
5.5	32N 5081885.07	32N 575855.66	624	prati permanenti	morenico/fluvioglaciale
6.1	32N 5082125.00	32N 575113.40	611	prati permanenti	morenico
6.2	32N 5082222.78	32N 575511.84	613	seminativo	morenico
6.3	32N 5082357.02	575903.17	622	prati permanenti	alluvione antica terrazzata
6.4	32N 5082377.05	32N 576182.66	629	seminativo	morenico
7.1	32N 5079674.87	32N 577285.33	503	prati permanenti	morenico
7.2	32N 5079747.38	32N 576974.58	501	prati permanenti	alluvione antica terrazzata
7.3	32N 5079890.33	32N 576504.69	502	seminativo	morenico/fluvioglaciale
7.4	32N 5080163.64	32N 576263.16	528	prati permanenti	morenico

Tab. 3 Coordinate UTM, quota s.l.m. condizioni d'uso rilevate e roccia madre dei suoli.

Lo studio dei risultati delle analisi svolte in laboratorio sui campioni di suolo è stato affiancato dall'osservazione di diverse carte tematiche, che hanno contribuito a mostrare in maniera chiara, precisa e sintetica importanti caratteristiche del territorio. Le carte tematiche analizzate, rese disponibili dal sito cartografico della Provincia di Bergamo (SITer@), sono state la carta delle acclività, la carta delle capacità d'uso dei suoli, la carta delle attitudini all'uso dei suoli, la carta delle destinazioni d'uso dei suoli (DUSAF 4.0), la carta litologica, e la carta delle soglie significative d'evoluzione dell'urbanizzato.

Come si può notare dalla carta delle acclività (Fig 11), la maggior parte del territorio analizzato presenta pendenza scarsa o nulla. All' interno dell'altopiano le zone a maggior pendenza sono costituite dal Colle Crosio, con inclinazione prevalente superiore a 21° e dai Colli Né, Birzem, Collina Verde, Dosso Foppe, Maninetti con inclinazione prevalente compresa tra 11° e 21°. Questi rilievi di modeste dimensioni si elevano dalla zona subpianeggiante e si sviluppano in direzione NEE-SWW. La pendenza limitata influisce positivamente sulla capacità d'uso del suolo, come evidenzia la rispettiva carta (Fig. 12), dove si può notare come le zone meno acclivi coincidano con quelle che presentano migliore capacità d'uso.

### Carta delle acclività

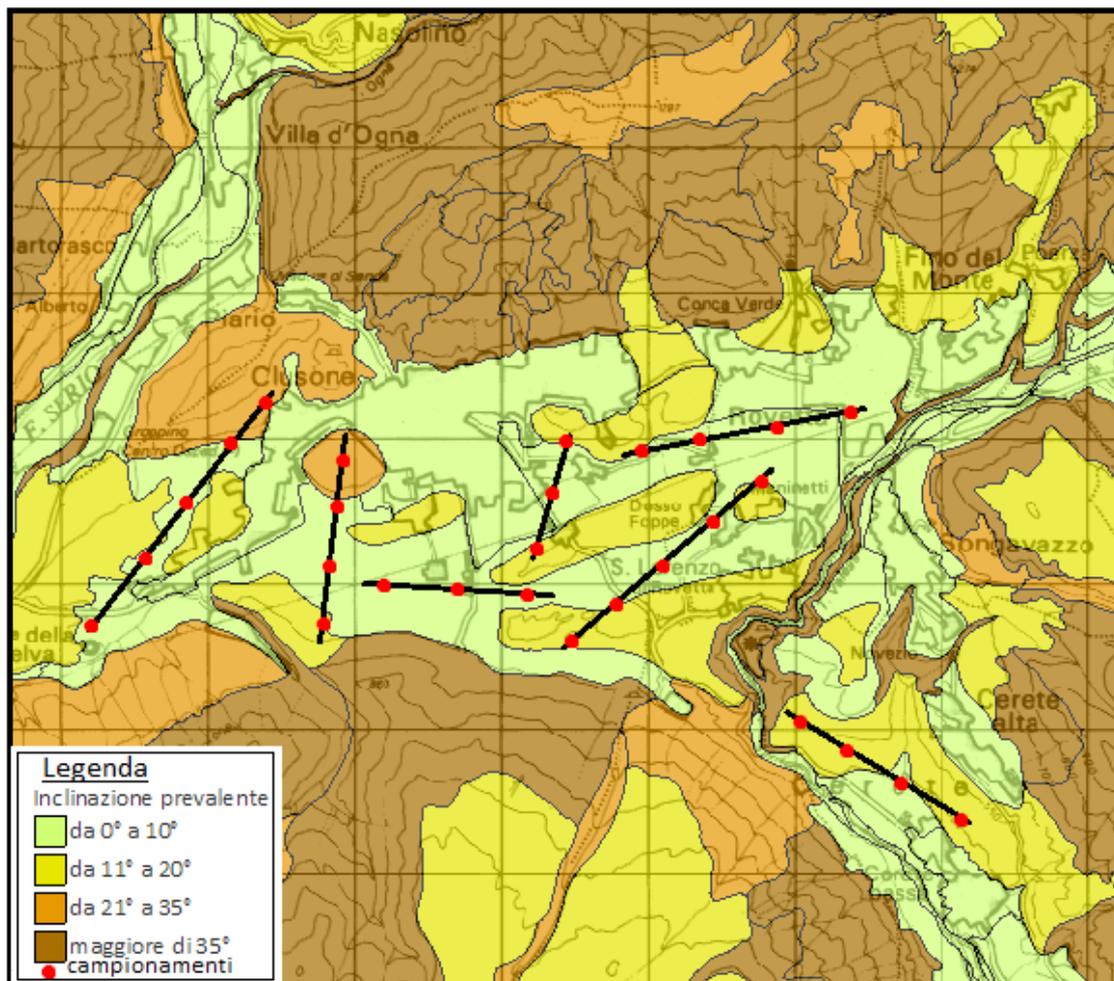


Fig. 11 Carta delle acclività con rappresentati transetti e campionamenti, SITer@ Provincia di Bergamo.

Dalla carta delle capacità d'uso del suolo (Fig. 12), si può notare come la classe maggiormente rappresentata è la classe II, subito seguita dalla classe III. I campionamenti hanno interessato prevalentemente suoli con classi di capacità d'uso II; questo è dovuto principalmente alla distribuzione del tessuto urbano, che si sviluppa maggiormente in aree con classe di capacità III. Sui colli più impervi e dove maggiore è la roccia affiorante, ovvero Crosio e Né, troviamo suoli (campioni 1.4, 1.5, 2, 5) di classe IV.

### Carta delle capacità d'uso del suolo

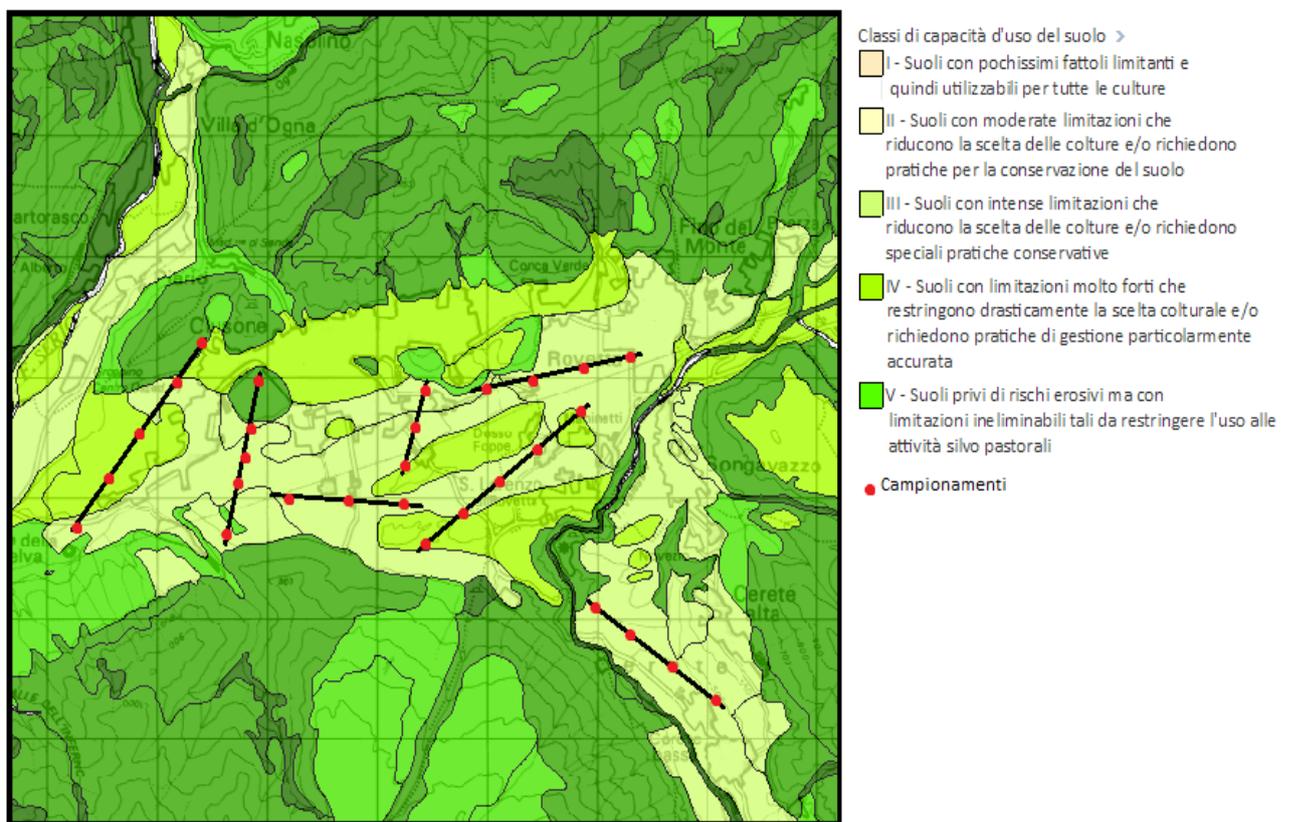


Fig. 12 Carta delle capacità d'uso del suolo con indicati transetti e campionamenti. SITer@, Provincia di Bergamo

Tutta la piana, esclusi i colli più pronunciati (Crosio, Né, Collina Verde), mostra moderata attitudine all'uso agricolo; mentre i versanti a N si mostrano adatti all'uso forestale e quelli a S sono moderatamente adatti o poco adatto all'uso pastorale. (Fig 13)

### Carta delle attitudini all'uso dei suoli.

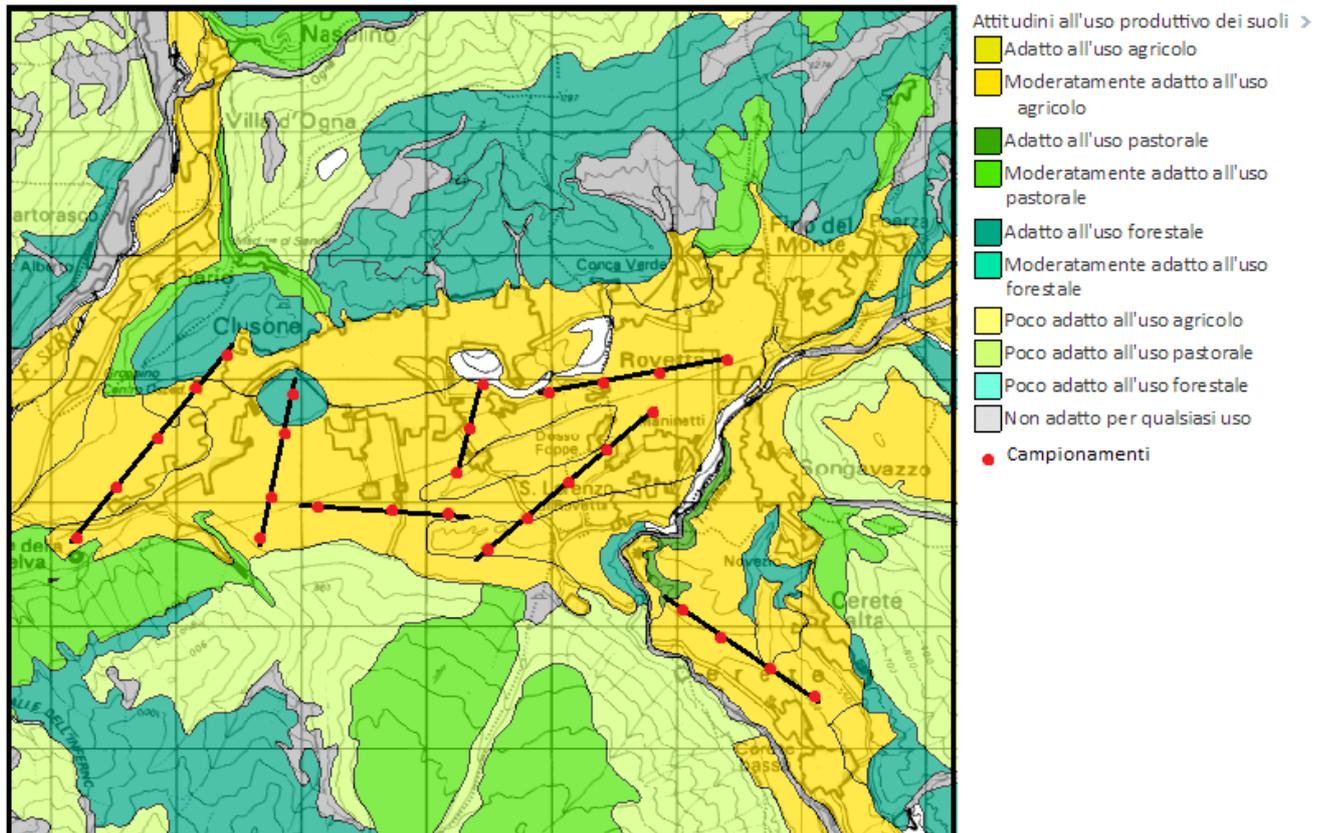


Fig. 13 Carta delle attitudini all'uso del suolo con indicati transetti e campionamenti. SITer@, Provincia di Bergamo

La carta litologica (Fig 14) conferma quanto visto dalla carta geologica: la piana clusonese è dominata da depositi fluvio-glaciali e glaciali. Questi ultimi si evidenziano sotto forma di piccoli rilievi orientati con direzione E-W, sui quali sono talvolta evidenti cordoni morenici. L'Alta Val Borlezza è caratterizzata da prevalenza dei depositi di origine glaciale, mentre i depositi più vicini al corso del torrente Borlezza hanno origine alluvionale, distinguendosi in attuali, recenti ed antichi terrazzati.

### Carta litologica

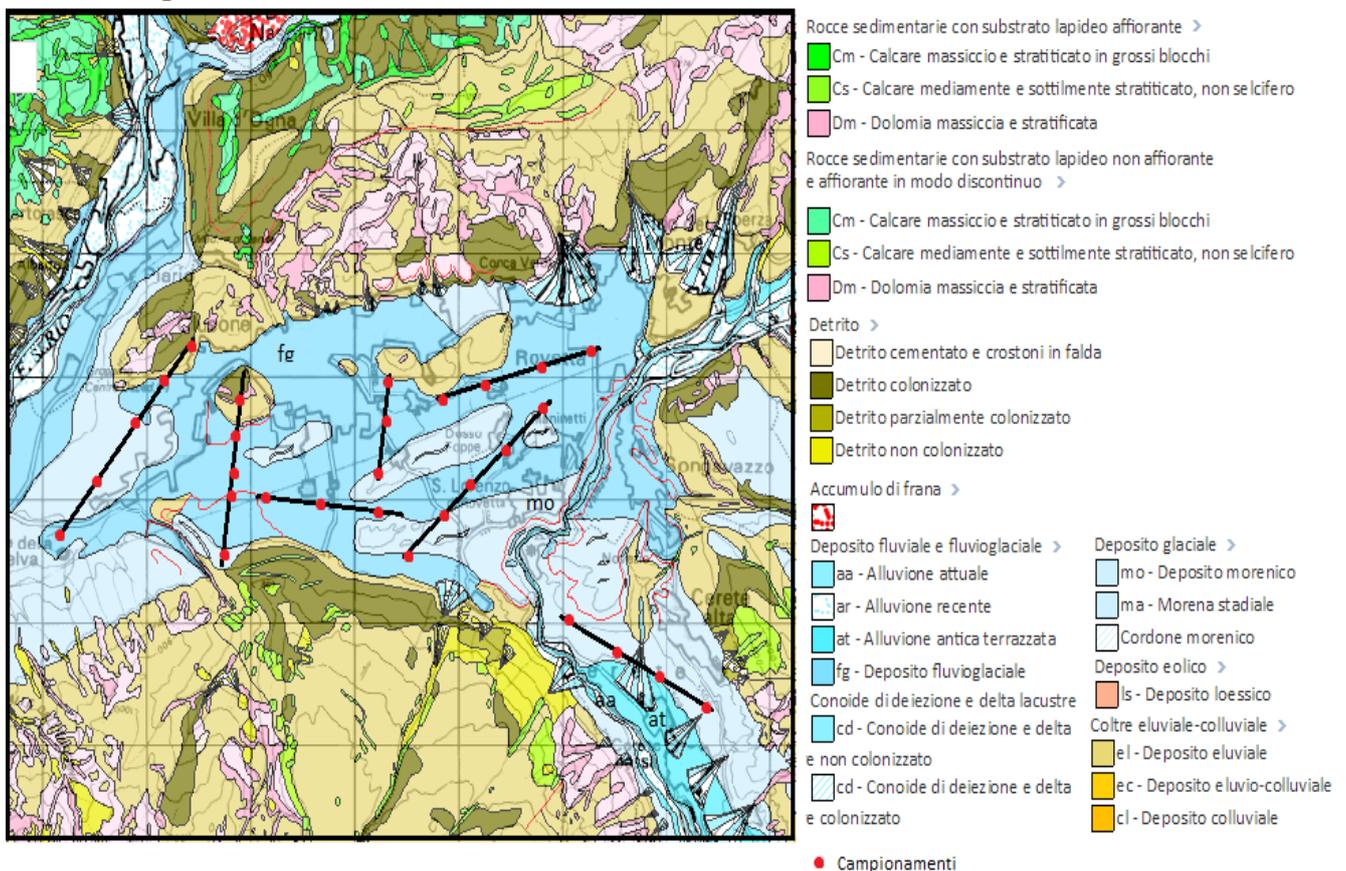


Fig. 14 Carta litologica con indicati transetti e campionamenti. SITer@, Provincia di Bergamo.

La carta Dusaf 4.0 (Fig 15) rappresenta l'ultimo livello informativo reso disponibile da Regione Lombardia a proposito dell'uso del suolo e dalla lettura di questa si evidenzia come nell'altopiano di Clusone vi sia una forte presenza di zone urbanizzate e di aree destinate a prati permanenti, mentre il suolo destinato ai seminativi si concentra vicino agli abitati di Rovetta e di Songavazzo. Sono presenti, seppur in maniera limitata, anche aree estrattive e terreni artefatti. Le aree boscate si concentrano sulle sponde del torrente Valleggia-Borlezza e sui versanti che circondano l'altopiano.

### Carta delle destinazioni d'uso dei suoli agricoli e forestali DUSAF4 (aggiornamento 2012)

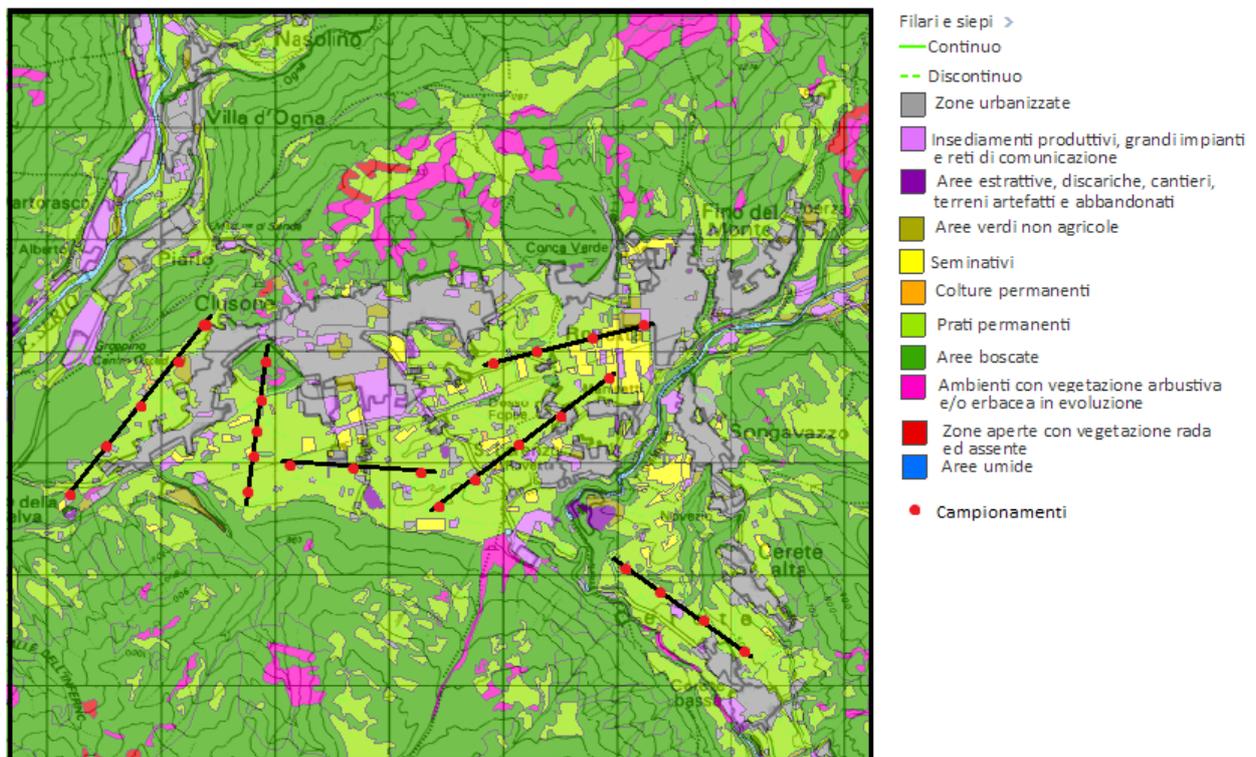


Fig. 15 Carta delle destinazioni d'uso dei suoli agricoli e forestali, DUSAF 4.0, con indicati transetti e campionamenti. SITER@, Provincia di Bergamo.

La carta delle soglie significative dell'evoluzione dell'urbanizzato (Fig. 16) mostra una forte crescita delle aree urbanizzate negli anni 60-80. Questa smisurata espansione è stata causata in parte dalla crescita demografica, ma soprattutto dalla costruzione di molte seconde case. Come è avvenuto in genere per tutta la Val Seriana, una politica turistica praticamente inesistente ha portato ad una realtà in cui povera è la ricettività alberghiera ed elevato è il numero di seconde case, ben 11.700 nell'intera valle (Legambiente, Dossier, 2009 ). La perdita di suolo in passato è stata quindi importante e sarebbe doveroso in futuro una salvaguardia di questo, anche nell' ottica di un turismo più di qualità.

Carta delle soglie significative dell'evoluzione dell' urbanizzato.

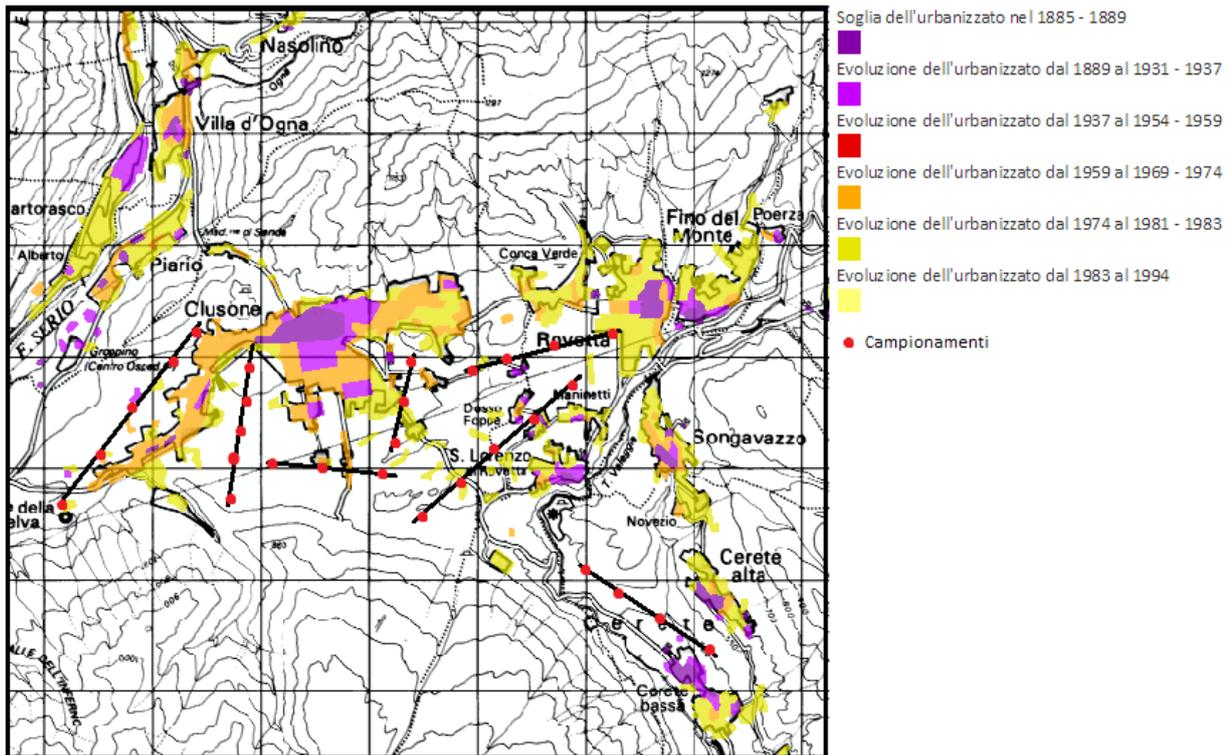


Fig. 16 Carta delle soglie significative dell'evoluzione dell' urbanizzato con indicati transetti e campionamenti. SITer@, Provincia di Bergamo.

Fig. 9 Andamento C organico orizzonte Ap [g/kg] e del rapporto C/N

## 5) PROCOLLO ANALITICO

### 5.1 Analisi chimiche

Le analisi chimiche hanno previsto il seguente protocollo:

- Caratterizzazione della fertilità chimica: reazione, carbonati totali e calcare attivo, N totale, Sostanza organica e C totale, P Olsen
- Caratterizzazione del complesso di scambio: CSC, cationi di scambio,
- Parametri corretti per interazioni: N disponibile, P disponibile, Sostanza organica effettiva
- Indici derivati: C/N, coefficiente di mineralizzazione, saturazione basica percentuale, eventuale  $\text{Ca}^{2+}$  solubile, saturazione potassica, Ca/Mg, Mg/K

Le analisi sono state effettuate secondo i metodi analitici della Società italiana della Scienza del Suolo (MIPAF, 2010).

Le correzioni sono state effettuate per tener conto delle interazioni che riducono o aumentano la disponibilità di certi elementi

La tabella seguente riporta in sintesi le relazioni di cui viene tenuto conto; in colonna ci sono le caratteristiche corrette e in riga quelle che ne determinano la correzione.

	SO	N	P	K	Mg	Ca	Fe
A	●	●					
CT	●	●					
CA			●				
pH			●				●
CSC				●	●	●	
K					●		
Mg				●			

Tab. 4 Interazione tra le diverse caratteristiche chimiche dei suoli.

Le correzioni hanno seguito questo protocollo:

a) Sostanza organica: se il terreno presenta una situazione favorevole alla degradazione della sostanza organica esso è sfavorito rispetto al rischio di eccessivo impoverimento, poiché più velocemente può arrivare a condizioni di insufficiente dotazione; per questo si opera la correzione, tenendo conto del coefficiente di mineralizzazione (CM), come segue:

$$\text{SOc} = \text{SOa} \times (1,25 - 0,25 \times \text{CM})$$

dove SOc è il valore corretto della sostanza organica, SOa il dato analitico e CM il coefficiente di mineralizzazione calcolato (anche per i prossimi parametri sarà utilizzata la medesima simbologia). In questo modo viene aumentato il valore della sostanza organica per i terreni più inerti nei confronti della sua degradazione, e diminuito per i terreni in cui questa invece procede più velocemente; non c'è nessuna variazione quando CM=1.

b) Azoto totale: se la degradazione della sostanza organica è elevata una maggior quota dell'azoto organico si rende disponibile nel corso del ciclo colturale, quindi all'aumentare del coefficiente di mineralizzazione aumenta la disponibilità di azoto; la correzione sarà quindi la seguente:

$$N_c = N_a \times (0,8 + 0,2 \times CM)$$

c) Fosforo assimilabile: il calcare attivo interferisce con la disponibilità del fosforo reagendo con questo a formare composti insolubili; poiché si ritiene che il 10% di calcare attivo (CA) insolubilizzi il 40% del fosforo la correzione è:

$$P_c = P_a \times (1 - 0,04 \times CA)$$

d) Elementi scambiabili: la presenza di argilla aumenta il potere di ritenzione del terreno nei confronti di questi elementi; in generale all'aumentare della CSC si riduce la disponibilità di potassio, magnesio e calcio in ragione di circa il 10% ogni 10 meq/100 g di CSC, quindi si opera la seguente correzione:

$$K_c = K_a \times (1,1 - 0,01 \times CSC)$$

e lo stesso per magnesio e calcio.

Per potassio e magnesio la disponibilità dell'uno aumenta al diminuire dell'altro, e dipende quindi dal rapporto tra i due elementi (Mg/K); poiché 3 è il valore ottimale di tale rapporto, discostandoci da esso per ogni aumento di una unità di Mg/K il valore del potassio va diminuito, e quello del magnesio aumentato, del 2,5%, quindi:

$$K_c = K_a \times (1,075 - 0,025 \times Mg/K)$$

$$Mg_c = M_g_a \times (0,925 + 0,025 \times Mg/K)$$

Queste ultime correzioni vanno eseguite in successione a quelle viste in precedenza; ad es.:

$$K_c = K_a \times (1,1 - 0,01 \times CSC) \times (1,075 - 0,025 \times Mg/K)$$

## 5.2 *Analisi fisiche*

Il protocollo analitico ha previsto: scheletro; tessitura; densità apparente; porosità totale, acqua a saturazione, colore Munsell secco e umido

### 5.3 Parametri idrologici

Alcuni parametri idrologici (capacità di campo, punto di appassimento, acqua disponibile, velocità d'infiltrazione) sono stati ricavato mediante funzioni di pedo-trasferimento PTF secondo ROMANO E SANTINI (1997), HOLLIS et al. (2011), ABDELBAKI (2015).

### 5.4 Analisi chimico-mineralogiche e indici pedo-evolutivi

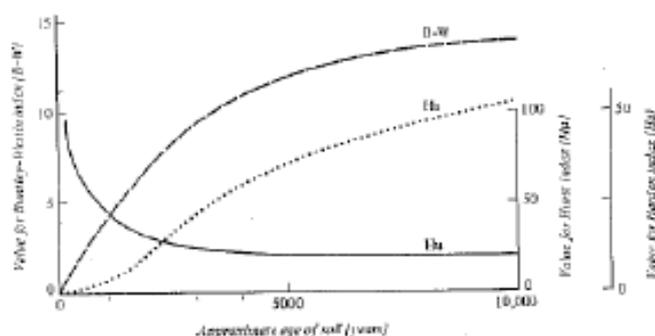
Sono state determinate le condizioni di mineralizzazione/argillificazione mediante analisi delle forme di Fe: totale, Ossidrosidi di Fe totali (Fe estraibile in Ditionito-Citrato-Bicarbonato (DCB), amorfo estraibile in ossalato d'ammonio (AO) (ferridrite o Fe legato alla materia organica).

Sono stati calcolati i seguenti indici pedo-evolutivi:

- **Indice di alterazione dei minerali primari: Fe DCB/Fe totale %**
- **Indice di cristallinità degli ossidrosidi di Fe: (Fe DCB – Fe AO)/Fe totale %**

### 5.5 Indici pedo-evolutivi di colore ed età stimata.

In accordo con quanto indicato in letteratura in merito alla relazione tra colore ed età/intensità dell'evoluzione del suolo (BENTLEY & WESTIN, 1965; HURST, 1977; TORRENT et Al. 1980, HARDEN, 1982 SÁNCHEZ-MARAÑÓN, 2004; SÁNCHEZ-MARAÑÓN et Al. 2014) sono state ricavate le curve di taratura degli indici HURST e BENTLEY-WESTIN in funzione dell'età validati entro 10000 anni B.P. e basati sul colore Munsell secco e umido:



Si è ritenuto che la sensibilità delle curve fosse adeguata per suoli che comunque sono da ritenersi evoluti nell'ultimo post-glaciale:

$$\text{BW (Bentley-Westin)} = \text{HUE come gradiente Munsell} * \text{CHROMA}$$

$$\text{Età stimata} = 0.51 * \text{BW}^5 - 15.22 * \text{BW}^4 + 166.03 * \text{BW}^3 - 776.67 * \text{BW}^2 + 1543.40 * \text{BW} - 1.72$$

$$\text{H (Hurst)} = \text{HUE gradiente Munsell} * \text{VALUE/CHROMA}$$

$$\text{Età stimata} = 8722.8 * e^{(-0.0462 * H)}$$

Ulteriori indici pedo-evolutivi calcolati sono stati i valori di Redness Rating del suolo (orizzonte Bw per evitare interferenza della sostanza organica) relativi al colore standard base di ematite, goethite e ferridrite come minerali puri considerati minerali secondari di riferimento per l'intensità evolutiva della frazione argillosa:

- Indice di rubefazione = Hurst index/Hurst ematite
- Indice di ferruginazione = Hurst index/Hurst goethite
- Indice di brunificazione = Hurst index/Hurst ferridrite

## 6) RISULTATI

### 6.1 Tabelle e grafici

Le tabelle (Tab 5-13) riportano i risultati analitici sui transect considerati.

SUOLI CLUSONE				
TRANSECT CAMPIONI	reazione	carbonati		
	pH	CaCO <sub>3</sub>	CaCO <sub>3</sub> att	CaCO <sub>3</sub> att/tot
		%	%	%
1.1S	7,74	0,01	0,0	0,0
1.1P	7,96	0,01	0,0	0,0
1.2S	7,69	0,01	0,0	0,0
1.2P	7,95	0,01	0,0	0,0
1.3S	7,64	0,01	0,0	0,0
1.3P	7,93	0,01	0,0	0,0
1.4S	7,84	0,09	0,0	0,0
1.4P	8,00	0,09	0,0	0,0
1.5S	8,04	0,19	0,0	0,0
1.5P	8,07	0,19	0,0	0,0
2.1S	7,78	0,01	0,0	0,0
2.1P	7,74	0,01	0,0	0,0
2.2S	8,08	48,03	3,0	6,1
2.2P	8,26	55,74	5,4	9,7
2.3S	8,06	5,05	2,5	49,9
2.3P	8,33	7,08	0,0	0,0
2.4S	7,98	14,18	3,6	25,4
2.4P	8,20	14,99	0,0	0,0
2.5S	7,91	23,30	4,7	20,1
2.5P	8,06	22,89	0,0	0,1
3.1S	8,13	22,08	4,6	21,0
3.1P	8,24	19,65	6,7	34,2
3.2S	8,12	13,36	0,8	5,6
3.2P	8,20	11,74	0,2	2,1
3.3S	8,11	4,65	0,0	0,0
3.3P	8,16	3,84	0,0	0,0
4.1S	8,13	22,08	4,6	21,0
4.1P	8,24	19,65	6,7	34,2
4.2S	8,12	9,92	0,0	0,0
4.2P	8,29	17,62	1,2	6,6
4.3S	8,08	10,93	0,1	0,8
4.3P	8,29	17,62	1,2	6,6
5.1S	7,30	0,01	0,0	0,0
5.1P	7,34	0,59	0,0	0,0
5.2S	7,57	4,96	0,0	0,0
5.2P	7,76	5,46	0,0	0,0
5.3S	7,77	7,44	0,0	0,0
5.3P	7,93	8,30	0,0	0,0
5.4S	7,83	9,92	0,0	0,0
5.4P	8,18	10,32	1,7	16,3
5.5S	7,97	9,92	0,0	0,0
5.5P	8,11	11,13	1,4	12,3
6.1S	8,12	9,92	0,0	0,0
6.1P	8,29	17,62	1,2	6,6
6.2S	8,02	9,92	0,0	0,0
6.2P	8,17	13,30	1,3	9,8
6.3S	8,04	9,92	0,0	0,0
6.3P	8,07	11,54	1,2	10,5
6.4S	8,12	9,92	0,0	0,0
6.4P	8,03	11,95	1,1	8,8
7.1S	8,33	6,57	5,2	78,5
7.1P	8,38	23,91	1,9	7,7
7.2S	8,30	4,44	5,7	127,9
7.2P	8,38	23,91	1,9	7,7
7.3S	8,35	8,70	4,6	53,3
7.3P	8,51	47,63	6,3	13,3
7.4S	8,25	6,89	6,7	97,7
7.4P	8,26	0,19	0,0	0,0

Tab. 5 pH e carbonati (% CaCO<sub>3</sub> %CaCO<sub>3</sub> attivo, % CaCO<sub>3</sub> attivo/totale).

SUOLI CLUSONE									
indici chimici e biologici									
TRANSECT	N totale	sostanza organica	C organico	C/N	coefficiente mineralizzazione annuo	sostanza organica effettiva	N disponibile	P (Olsen)	P disponibile
CAMPIONI	g/kg	g/kg	g/kg		(g/g/y) org	g/kg	g/kg	mg/kg	mg/kg
1.1S	4,4	71,2	41,4	9,5	1,5	62,1	4,8	26,0	26,0
1.1P	2,7	43,3	25,2	9,5	1,1	42,0	2,7	4,9	4,9
1.2S	4,4	71,2	41,4	9,5	1,5	62,1	4,8	26,0	26,0
1.2P	2,7	43,3	25,2	9,5	1,1	41,7	2,7	4,9	4,9
1.3S	4,4	71,2	41,4	9,5	1,5	62,1	4,8	26,0	26,0
1.3P	2,7	43,3	25,2	9,5	1,2	41,4	2,7	4,9	4,9
1.4S	3,5	63,4	36,9	10,6	0,8	66,5	3,3	14,1	14,1
1.4P	1,8	27,0	15,7	8,6	0,5	30,2	1,7	6,7	6,7
1.5S	2,6	55,6	32,3	12,4	0,5	62,1	2,4	2,2	2,2
1.5P	1,0	10,7	6,2	6,2	0,3	12,5	0,9	8,4	8,4
2.1S	3,7	74,1	43,1	11,8	1,2	70,9	3,8	11,5	11,5
2.1P	3,0	49,7	28,9	9,6	1,1	47,9	3,1	6,3	6,3
2.2S	2,7	82,2	47,8	17,7	1,6	70,8	3,0	66,2	58,4
2.2P	2,3	69,6	40,5	17,6	1,3	64,3	2,4	105,5	82,6
2.3S	4,1	77,5	45,0	11,1	1,3	72,2	4,3	6,3	5,7
2.3P	2,1	50,9	29,6	14,4	1,3	47,3	2,2	3,0	3,0
2.4S	4,6	108,3	63,0	13,7	1,2	102,1	4,8	12,3	10,5
2.4P	2,8	93,5	54,4	19,4	1,3	87,7	2,9	6,2	6,2
2.5S	5,2	139,2	80,9	15,7	1,2	132,5	5,3	18,3	14,9
2.5P	3,6	136,1	79,1	22,3	1,2	128,4	3,7	9,4	9,4
3.1S	2,5	104,0	60,5	24,7	0,9	106,0	2,4	154,0	125,4
3.1P	2,5	109,6	63,7	26,0	1,0	110,3	2,4	94,6	69,2
3.2S	2,8	83,0	48,2	17,1	1,1	80,8	2,9	81,2	78,7
3.2P	2,4	83,9	48,8	20,5	1,1	81,8	2,4	49,3	48,9
3.3S	3,2	62,0	36,0	11,3	1,3	56,6	3,4	8,4	8,4
3.3P	2,3	58,1	33,8	14,7	1,2	54,5	2,4	4,1	4,1
		0,0				0,0	0,0		
4.1S	2,5	104,0	60,5	24,7	0,9	106,0	2,4	154,0	125,4
4.1P	2,5	109,6	63,7	26,0	1,0	110,3	2,4	94,6	69,2
4.2S	2,7	81,4	47,3	17,5	1,3	76,0	2,8	5,4	5,4
4.2P	1,6	109,4	63,6	41,0	1,0	109,5	1,5	6,3	6,0
4.3S	2,50	88,2	51,3	20,5	1,2	83,9	2,6	75,95	75,7
4.3P	1,55	109,4	63,6	41,0	1,0	109,5	1,5	6,29	6,0
							0,0		
5.1S	2,9	46,8	27,2	9,4	1,9	35,7	3,4	8,8	8,8
5.1P	2,2	40,1	23,3	10,6	1,1	39,4	2,2	7,0	7,0
5.2S	3,2	70,6	41,1	12,7	1,6	60,4	3,6	8,1	8,1
5.2P	2,3	67,5	39,2	16,9	1,1	66,1	2,4	5,9	5,9
5.3S	3,2	86,9	50,5	16,0	1,4	77,7	3,4	37,3	37,3
5.3P	2,4	81,2	47,2	20,1	1,1	79,3	2,4	40,8	40,8
5.4S	3,6	94,5	54,9	15,5	1,3	87,2	3,8	7,4	7,4
5.4P	2,5	94,8	55,1	22,5	1,1	92,2	2,5	4,8	4,5
5.5S	3,1	103,2	60,0	19,4	1,3	95,8	3,3	66,5	66,5
5.5P	2,4	94,8	55,1	23,2	1,1	92,1	2,4	75,6	71,5
							0,0		
6.1S	2,7	81,4	47,3	17,5	1,3	76,0	2,8	5,4	5,4
6.1P	1,6	109,4	63,6	41,0	1,0	109,5	1,5	6,3	6,0
6.2S	3,0	95,9	55,8	18,8	1,3	89,3	3,1	46,1	46,1
6.2P	2,1	99,7	58,0	27,6	1,1	98,0	2,1	52,5	49,8
6.3S	2,9	107,5	62,5	21,7	1,3	100,2	3,0	96,0	96,0
6.3P	2,3	94,9	55,2	23,6	1,1	92,0	2,4	111,0	105,7
6.4S	2,7	111,9	65,0	24,5	1,3	104,6	2,8	125,5	125,5
6.4P	2,3	94,9	55,2	24,0	1,1	91,9	2,4	146,4	140,3
7.1S	4,1	80,3	46,7	11,4	1,0	79,4	4,1	5,9	4,7
7.1P	1,5	38,9	22,6	14,8	0,9	39,6	1,5	2,7	2,5
7.2S	4,1	76,3	44,3	10,7	1,0	75,4	4,2	5,7	4,4
7.2P	1,5	38,9	22,6	14,8	0,9	39,6	1,5	2,7	2,5
7.3S	4,1	84,4	49,1	12,1	1,0	83,4	4,1	6,2	5,0
7.3P	1,0	38,0	22,1	23,3	0,9	38,8	0,9	1,8	1,3
7.4S	4,2	68,2	39,6	9,4	1,0	67,4	4,2	5,1	3,8
7.4P	2,1	39,8	23,1	11,0	0,9	40,4	2,1	3,6	3,6

Tab. 6 Indici chimici e biologici.

SUOLI CLUSONE											
complesso di scambio, cationi scambiabili e interazioni											
TRANSECT	CSC	Ca <sup>2+</sup> scambiabile solubile	Mg <sup>2+</sup> scambiabile	K <sup>+</sup> scambiabile	Ca <sup>2+</sup> scambiabile	Ca <sup>2+</sup> solubile	SB	SB corretta	SatK	Ca/Mg	Mg/K
CAMPIONI	cmol+/kg	cmol+/kg	cmol+/kg	cmol+/kg	cmol+/kg	cmol+/kg	%	%	%		
1.1S	17,53	11,78	4,94	0,10	11,78	0,00	96	96	0,6	2,4	48,3
1.1P	15,98	14,75	7,57	0,17	8,24	6,51	141	100	1,1	1,1	43,9
1.2S	17,53	11,78	4,94	0,10	11,78	0,00	96	96	0,6	2,4	48,3
1.2P	16,04	13,84	5,50	0,18	10,35	3,49	122	100	1,2	1,9	29,8
1.3S	17,53	11,78	4,94	0,10	11,78	0,00	96	96	0,6	2,4	48,3
1.3P	16,10	12,93	3,44	0,20	12,47	0,46	103	100	1,2	3,6	17,4
1.4S	16,76	13,27	6,26	0,14	10,36	2,90	117	100	0,8	1,7	45,5
1.4P	20,84	14,28	4,99	0,24	14,28	0,00	94	94	1,1	2,9	20,9
1.5S	15,98	14,75	7,57	0,17	8,24	6,51	141	100	1,1	1,1	43,9
1.5P	25,59	15,63	6,54	0,28	15,63	0,00	88	88	1,1	2,4	23,4
2.1S	18,99	16,45	2,78	0,20	16,01	0,44	102	100	1,1	5,8	13,7
2.1P	21,08	13,69	2,80	0,13	13,69	0,00	79	79	0,6	4,9	21,7
2.2S	12,65	12,11	2,12	0,21	10,32	1,78	114	100	1,7	4,9	10,1
2.2P	15,63	16,77	1,86	0,27	13,50	3,27	121	100	1,7	7,2	6,9
2.3S	22,35	17,75	5,99	0,14	16,22	1,52	107	100	0,6	2,7	43,0
2.3P	20,81	12,27	3,46	0,39	12,27	0,00	77	77	1,9	3,5	8,9
2.4S	23,68	18,20	6,53	1,12	16,03	2,18	109	100	4,7	2,5	5,8
2.4P	21,86	14,27	4,54	0,72	14,27	0,00	89	89	3,3	3,1	6,3
2.5S	25,01	18,66	7,08	2,10	15,83	2,83	111	100	8,4	2,2	3,4
2.5P	22,91	16,26	5,62	1,05	16,24	0,02	100	100	4,6	2,9	5,3
3.1S	17,69	18,25	2,15	0,10	15,45	2,80	116	100	0,6	7,2	22,0
3.1P	21,55	19,70	5,80	0,12	15,63	4,07	119	100	0,5	2,7	49,9
3.2S	18,49	15,65	3,07	0,23	15,19	0,45	102	100	1,2	4,9	13,5
3.2P	20,70	16,42	4,31	0,11	16,27	0,15	101	100	0,5	3,8	38,5
3.3S	19,29	13,04	3,99	0,36	13,04	0,00	90	90	1,9	3,3	11,2
3.3P	19,84	13,15	2,82	0,11	13,15	0,00	81	81	0,5	4,7	26,2
4.1S	17,69	18,25	2,15	0,10	15,45	2,80	116	100	0,6	7,2	22,0
4.1P	21,55	19,70	5,80	0,12	15,63	4,07	119	100	0,5	2,7	49,9
4.2S	18,87	13,77	4,47	0,09	13,77	0,00	97	97	0,5	3,1	47,2
4.2P	16,13	14,45	2,25	0,13	13,74	0,70	104	100	0,8	6,1	17,1
4.3S	19,91	15,95	3,78	0,24	15,89	0,05	100	100	1,2	4,2	15,6
4.3P	16,13	14,45	2,25	0,13	13,74	0,70	104	100	0,8	6,1	17,1
5.1S	14,94	9,35	2,74	0,74	9,35	0,00	86	86	5,0	3,4	3,7
5.1P	18,12	10,22	2,10	0,57	10,22	0,00	71	71	3,2	4,9	3,7
5.2S	18,84	12,97	3,86	0,44	12,97	0,00	92	92	2,4	3,4	8,7
5.2P	18,45	13,16	2,78	0,40	13,16	0,00	89	89	2,2	4,7	7,0
5.3S	20,22	14,79	3,96	0,38	14,79	0,00	95	95	1,9	3,7	10,5
5.3P	19,15	15,13	3,02	0,35	15,13	0,00	97	97	1,8	5,0	8,6
5.4S	22,74	16,60	4,98	0,14	16,60	0,00	96	96	0,6	3,3	34,9
5.4P	18,77	16,10	3,46	0,23	15,08	1,02	105	100	1,2	4,4	15,2
5.5S	21,61	16,60	4,06	0,31	16,60	0,00	97	97	1,4	4,1	13,1
5.5P	19,86	17,11	3,27	0,31	16,28	0,83	104	100	1,6	5,0	10,6
6.1S	18,87	13,77	4,47	0,09	13,77	0,00	97	97	0,5	3,1	47,2
6.1P	16,13	14,45	2,25	0,13	13,74	0,70	104	100	0,8	6,1	17,1
6.2S	20,70	15,66	4,20	0,24	15,66	0,00	97	97	1,2	3,7	17,6
6.2P	18,62	16,22	2,93	0,25	15,44	0,79	104	100	1,3	5,3	11,8
6.3S	21,05	16,61	3,61	0,40	16,61	0,00	98	98	1,9	4,6	9,1
6.3P	20,41	17,61	3,18	0,35	16,88	0,73	104	100	1,7	5,3	9,1
6.4S	20,48	16,61	3,15	0,48	16,61	0,00	99	99	2,3	5,3	6,6
6.4P	20,96	18,12	3,09	0,39	17,48	0,64	103	100	1,9	5,7	7,9
7.1S	18,66	18,61	3,06	0,10	15,49	3,12	117	100	0,5	5,1	29,9
7.1P	14,76	13,65	2,13	0,09	12,53	1,12	108	100	0,6	5,9	22,9
7.2S	19,62	18,97	3,98	0,11	15,54	3,43	118	100	0,5	3,9	37,1
7.2P	14,76	13,65	2,13	0,09	12,53	1,12	108	100	0,6	5,9	22,9
7.3S	17,69	18,25	2,15	0,10	15,45	2,80	116	100	0,6	7,2	22,0
7.3P	8,84	11,75	0,83	0,08	7,93	3,82	143	100	0,9	9,5	10,4
7.4S	21,55	19,70	5,80	0,12	15,63	4,07	119	100	0,5	2,7	49,9
7.4P	20,68	15,55	3,44	0,11	15,55	0,00	92	92	0,5	4,5	32,2

Tab. 7 complesso di scambio, cationi scambiabili e interazioni.

SUOLI CLUSONE					
indici pedo-evolutivi chimico-mineralogici					
TRANSECT CAMPIONI	Fetot g/kg	Fedcb g/kg	Feo g/kg	indice alterazione %	indice %
1.1S	29,4	17,5	2,9	59,5	49,7
1.1P	36,5	18,6	2,8	50,8	43,1
1.2S	29,4	17,5	2,9	59,5	49,7
1.2P	36,5	18,6	2,8	50,8	43,1
1.3S	29,4	17,5	2,9	59,5	49,7
1.3P	36,5	18,6	2,8	50,8	43,1
1.4S	44,2	31,6	2,9	68,6	61,1
1.4P	49,6	37,5	3,4	70,4	63,3
1.5S	58,9	45,7	3,0	77,6	72,6
1.5P	62,7	56,4	4,0	90,1	83,6
2.1S	29,8	20,1	4,6	67,4	52,1
2.1P	31,7	20,2	4,6	63,7	49,1
2.2S	10,6	7,2	1,6	67,9	52,9
2.2P	10,5	7,0	2,1	66,9	47,3
2.3S	18,4	15,6	3,2	84,7	67,3
2.3P	27,4	15,1	2,9	55,0	44,4
2.4S	18,0	15,3	2,7	85,1	70,3
2.4P	20,9	14,0	2,2	72,5	62,4
2.5S	17,6	15,0	2,1	85,4	73,4
2.5P	14,5	13,0	1,4	90,0	80,4
3.1S	18,1	11,9	2,2	65,6	53,4
3.1P	16,3	12,4	2,3	76,3	62,2
3.2S	21,5	12,4	2,2	59,0	48,5
3.2P	16,9	13,9	2,2	81,8	68,7
3.3S	24,9	13,0	2,2	52,3	43,5
3.3P	17,6	15,3	2,1	87,2	75,1
4.1S	18,1	11,9	2,2	65,6	53,4
4.1P	16,3	12,4	2,3	76,3	62,2
4.2S	16,3	13,1	2,2	80,3	66,6
4.2P	13,4	10,8	1,5	80,6	69,2
4.3S	17,47	12,91	2,85	74,26	58,12
4.3P	13,36	10,77	1,52	80,60	69,20
5.1S	33,6	16,7	3,3	49,5	39,7
5.1P	31,4	16,1	3,3	51,4	41,0
5.2S	25,6	15,1	2,8	63,2	51,9
5.2P	25,3	15,2	2,5	62,6	52,6
5.3S	21,3	13,8	2,6	68,3	55,7
5.3P	22,1	14,3	2,6	66,8	54,8
5.4S	17,6	13,5	2,2	76,9	64,2
5.4P	19,3	14,2	1,8	73,8	64,3
5.5S	17,0	12,5	2,4	73,4	59,4
5.5P	19,0	13,5	2,7	71,0	57,0
6.1S	16,3	13,1	2,2	80,3	66,6
6.1P	13,4	10,8	1,5	80,6	69,2
6.2S	16,7	12,7	2,3	75,7	61,8
6.2P	17,1	12,6	2,3	74,2	61,0
6.3S	16,7	12,0	2,4	71,7	57,0
6.3P	18,8	13,1	3,1	69,6	53,3
6.4S	16,4	11,5	2,5	70,0	54,6
6.4P	18,6	12,7	3,5	68,3	49,6
7.1S	17,9	10,7	2,1	63,3	51,0
7.1P	21,6	9,4	2,5	44,0	31,4
7.2S	21,3	11,4	2,2	57,3	46,2
7.2P	21,6	9,4	2,5	44,0	31,4
7.3S	14,4	10,0	1,9	69,3	55,9
7.3P	12,9	5,8	2,0	45,1	29,6
7.4S	28,1	12,7	2,5	45,2	36,5
7.4P	30,4	13,0	3,0	42,9	33,2

Tab. 8 Indici pedo-evolutivi e chimico-mineralogici

SUOLI CLUSONE						
tessitura (terra fine < 2 mm) e scheletro						
TRANSECT	sabbia grossa	sabbia fine	limo grosso	limo fine	argilla	scheletro mm
CAMPIONI	%	%	%	%	%	%
1.1S	37	33	8	17	5	18
1.1P	24	20	13	32	11	25
1.2S	37	33	8	17	5	17
1.2P	24	20	13	32	11	27
1.3S	37	33	8	17	5	16
1.3P	24	20	13	32	11	27
1.4S	20	25	9	22	25	18
1.4P	12	17	7	19	46	27
1.5S	3	16	9	27	45	13
1.5P	1	13	0	5	81	14
2.1S	15	41	14	22	8	20
2.1P	20	19	28	22	11	30
2.2S	8	35	30	23	4	16
2.2P	16	41	20	18	5	25
2.3S	28	37	11	19	5	15
2.3P	19	41	10	21	9	20
2.4S	25	43	11	16	6	15
2.4P	15	53	6	19	8	21
2.5S	22	49	10	13	6	26
2.5P	11	64	2	16	7	49
3.1S	20	34	11	21	14	21
3.1P	18	46	6	19	11	26
3.2S	20	35	14	22	11	17
3.2P	18	39	10	23	10	25
3.3S	20	35	16	22	7	15
3.3P	18	32	14	27	9	23
4.1S	20	34	11	21	14	16
4.1P	18	46	6	19	11	17
4.2S	8	51	12	21	8	18
4.2P	17	38	14	16	15	18
4.3S	9	49	14	21	8	23
4.3P	17	38	14	16	15	30
5.1S	11	28	14	46	1	18
5.1P	9	24	13	37	17	24
5.2S	10	43	13	32	3	21
5.2P	8	32	20	27	14	20
5.3S	9	40	19	28	4	17
5.3P	8	38	21	23	11	27
5.4S	8	58	12	17	5	21
5.4P	6	40	27	17	10	30
5.5S	9	36	25	25	6	18
5.5P	8	43	22	19	9	27
6.1S	8	51	12	21	8	20
6.1P	17	38	14	16	15	22
6.2S	8	41	21	24	6	24
6.2P	11	41	19	18	11	26
6.3S	9	25	32	29	6	21
6.3P	8	45	19	20	9	25
6.4S	9	14	38	33	6	15
6.4P	9	46	16	21	8	22
7.1S	13	42	14	21	10	17
7.1P	10	34	9	29	19	26
7.2S	11	32	21	27	10	25
7.2P	10	34	9	29	19	28
7.3S	15	53	7	15	10	13
7.3P	7	25	9	38	21	11
7.4S	7	10	35	39	9	19
7.4P	13	42	9	20	16	24

Tab. 9 tessitura (terra fine < 2 mm) e scheletro.

SUOLI ESCLUSONE								
parametri idrologici PFT								
TRANSECT	densità apparente	porosità totale	punto appassimento	capacità campo	acqua saturazione	conducibilità idraulica	acqua disponibile	
CAMPIONI	kg/dm <sup>3</sup>	%q	%q	%q	%q	cm/h	%q	dm <sup>3</sup> /m <sup>3</sup>
1.1S	1,47	45	8,3	18,8	37,0	5,7	10,5	17,9
1.1P	1,35	49	13,7	29,4	43,3	2,4	15,7	29,0
1.2S	1,47	45	8,3	18,8	37,0	5,7	10,5	17,9
1.2P	1,35	49	13,7	29,4	43,3	2,4	15,7	29,0
1.3S	1,47	45	8,3	18,8	37,0	5,7	10,5	17,9
1.3P	1,35	49	13,7	29,4	43,3	2,4	15,7	29,0
1.4S	1,34	49	14,7	31,1	47,8	0,5	16,5	30,7
1.4P	1,25	53	18,5	38,4	52,3	0,2	19,9	39,8
1.5S	1,21	54	19,7	40,8	52,9	0,2	21,1	43,6
1.5P	1,15	57	22,3	45,5	56,6	0,5	23,2	50,7
2.1S	1,41	47	11,3	24,7	40,7	3,5	13,4	23,8
2.1P	1,33	50	14,6	31,1	43,7	2,5	16,5	31,0
2.2S	1,36	49	13,4	28,9	37,8	4,5	15,5	28,5
2.2P	1,41	47	10,9	23,9	38,0	4,9	13,0	23,0
2.3S	1,45	45	9,3	20,8	37,4	5,3	11,5	19,9
2.3P	1,42	46	10,6	23,4	41,0	3,1	12,7	22,4
2.4S	1,46	45	8,7	19,7	37,7	5,2	10,9	18,7
2.4P	1,45	45	9,1	20,3	39,8	3,7	11,2	19,3
2.5S	1,47	45	8,2	18,5	38,0	5,0	10,3	17,6
2.5P	1,48	44	7,4	17,0	38,5	4,5	9,6	16,2
3.1S	1,39	48	12,2	26,3	43,9	1,6	14,2	25,5
3.1P	1,43	46	10,0	22,1	41,8	2,3	12,1	21,1
3.2S	1,40	47	11,8	25,7	42,3	2,5	13,8	24,8
3.2P	1,41	47	11,3	24,6	41,8	2,7	13,4	23,7
3.3S	1,40	47	11,4	25,0	40,0	3,9	13,5	24,1
3.3P	1,38	48	12,5	27,1	41,8	3,0	14,6	26,4
4.1S	1,39	48	12,2	26,3	43,9	1,6	14,2	25,5
4.1P	1,43	46	10,0	22,1	41,8	2,3	12,1	21,1
4.2S	1,42	47	10,8	23,6	40,4	3,5	12,8	22,7
4.2P	1,39	47	12,1	26,1	44,2	1,4	14,0	25,2
4.3S	1,41	47	11,1	24,4	40,6	3,5	13,2	23,4
4.3P	1,39	47	12,1	26,1	44,2	1,4	14,0	25,2
5.1S	1,34	49	13,9	29,8	30,4	1,8	15,9	29,7
5.1P	1,30	51	16,0	33,8	46,5	1,3	17,8	34,2
5.2S	1,40	47	11,6	25,3	35,5	5,0	13,7	24,6
5.2P	1,33	50	14,7	31,3	44,8	1,8	16,6	31,2
5.3S	1,38	48	12,4	27,0	37,7	4,7	14,5	26,3
5.3P	1,36	49	13,6	29,1	43,3	2,3	15,6	28,7
5.4S	1,45	45	9,1	20,4	37,3	5,4	11,3	19,5
5.4P	1,36	49	13,3	28,6	42,6	2,7	15,3	28,1
5.5S	1,36	49	13,2	28,5	39,4	4,3	15,3	28,1
5.5P	1,38	48	12,4	26,9	41,7	3,0	14,5	26,2
6.1S	1,42	47	10,8	23,6	40,4	3,5	12,8	22,7
6.1P	1,39	47	12,1	26,1	44,2	1,4	14,0	25,2
6.2S	1,38	48	12,4	26,9	39,9	4,1	14,5	26,3
6.2P	1,39	48	12,3	26,6	42,7	2,4	14,3	25,8
6.3S	1,32	50	15,1	32,1	40,4	4,1	17,1	32,4
6.3P	1,39	47	12,0	26,0	41,2	3,2	14,0	25,2
6.4S	1,27	52	16,8	35,5	41,5	4,1	18,7	36,7
6.4P	1,40	47	11,5	25,1	40,7	3,4	13,6	24,2
7.1S	1,40	47	11,6	25,3	41,8	2,8	13,7	24,4
7.1P	1,34	49	14,4	30,6	46,2	1,0	16,2	30,2
7.2S	1,35	49	13,9	29,8	42,6	2,9	15,9	29,4
7.2P	1,34	49	14,4	30,6	46,2	1,0	16,2	30,2
7.3S	1,45	45	9,1	20,4	41,0	2,7	11,2	19,3
7.3P	1,29	51	16,4	34,6	47,8	0,9	18,2	35,2
7.4S	1,24	53	17,8	37,5	44,1	3,5	19,7	39,5
7.4P	1,39	47	12,1	26,3	44,6	1,2	14,1	25,3

Tab. 10 parametri idrologici PFT

SUOLI CLUSONE				
TRANSECT CAMPIONI	colore Munsell			
	secco	colore	umido	colore
1.1S	7.5YR2.5/3	bruno molto scuro	7.5YR2.5/2	bruno molto scuro
1.1P	10YR2.5/6	bruno giallastro scuro	7.5YR2.5/3	bruno molto scuro
1.2S	7.5YR2.5/3	bruno molto scuro	7.5YR2.5/2	bruno molto scuro
1.2P	10YR2.5/6	bruno giallastro scuro	7.5YR2.5/3	bruno molto scuro
1.3S	7.5YR2.5/3	bruno molto scuro	7.5YR2.5/2	bruno molto scuro
1.3P	10YR2.5/6	bruno giallastro scuro	7.5YR2.5/3	bruno molto scuro
1.4S	10YR2.5/6	bruno giallastro scuro	7.5YR2.5/3	bruno molto scuro
1.4P	10YR2.5/6	bruno giallastro scuro	7.5YR2.5/3	bruno molto scuro
1.5S	2.5YR2.5/4	bruno rossastro scuro	7.5YR2.5/4	bruno molto scuro
1.5P	2.5YR2.5/4	bruno rossastro scuro	7.5YR2.5/4	bruno molto scuro
2.1S	10YR2.5/3	bruno	10YR2.5/2	bruno molto scuro
2.1P	10YR2.5/3	bruno	10YR2.5/2	bruno molto scuro
2.2S	10YR2.5/4	bruno giallastro scuro	10YR2.5/2	bruno molto scuro
2.2P	10YR2.5/4	bruno grigiastro	10YR2.5/2	bruno
2.3S	10YR2.5/3	bruno grigiastro	7.5YR2.5/2	bruno scuro
2.3P	10YR2.5/3	bruno grigiastro	7.5YR2.5/2	bruno scuro
2.4S	10YR2.5/3	bruno	10YR2.5/2	bruno molto scuro
2.4P	10YR2.5/3	bruno	10YR2.5/2	bruno molto scuro
2.5S	7.5YR2.5/2	bruno molto scuro	5YR2.5/2	bruno rossastro scuro
2.5P	7.5YR2.5/3	bruno molto scuro	5YR2.5/1	bruno rossastro scuro
3.1S	10YR2.5/4	bruno giallastro	7.5YR2.5/3	bruno scuro
3.1P	10YR2.5/4	bruno giallastro	7.5YR2.5/3	bruno scuro
3.2S	10YR2.5/4	bruno giallastro	7.5YR2.5/3	bruno scuro
3.2P	10YR2.5/4	bruno giallastro	7.5YR2.5/3	bruno scuro
3.3S	10YR2.5/4	bruno giallastro scuro	7.5YR2.5/2	bruno scuro
3.3P	10YR2.5/4	bruno giallastro scuro	7.5YR2.5/2	bruno scuro
4.1S	10YR2.5/4	bruno giallastro	7.5YR2.5/3	bruno scuro
4.1P	10YR2.5/4	bruno giallastro	7.5YR2.5/3	bruno scuro
4.2S	10YR2.5/3	bruno	10YR2.5/2	bruno
4.2P	10YR2.5/6	bruno giallastro scuro	7.5YR2.5/3	bruno molto scuro
4.3S	10YR2.5/3	bruno	10YR2.5/2	bruno
4.3P	10YR2.5/6	bruno giallastro scuro	7.5YR2.5/3	bruno molto scuro
5.1S	10YR2.5/4	bruno giallastro	10YR2.5/3	bruno scuro
5.1P	10YR2.5/4	bruno giallastro	10YR2.5/3	bruno scuro
5.2S	10YR2.5/4	bruno giallastro	10YR2.5/3	bruno scuro
5.2P	10YR2.5/4	bruno giallastro	10YR2.5/3	bruno scuro
5.3S	10YR2.5/4	bruno giallastro	10YR2.5/3	bruno scuro
5.3P	10YR2.5/4	bruno giallastro	10YR2.5/3	bruno scuro
5.4S	10YR2.5/3	bruno	10YR2.5/2	bruno
5.4P	10YR2.5/4	bruno giallastro scuro	10YR2.5/2	bruno
5.5S	10YR2.5/3	bruno	10YR2.5/2	bruno
5.5P	10YR2.5/4	bruno giallastro scuro	10YR2.5/2	bruno
6.1S	7.5YR2.5/4	bruno scuro	7.5YR2.5/3	bruno molto scuro
6.1P	10YR2.5/3	bruno	10YR2.5/2	bruno
6.2S	10YR2.5/3	bruno scuro	7.5YR2.5/2	bruno molto scuro
6.2P	10YR2.5/2	bruno grigiastro scuro	7.5YR2.5/3	bruno scuro
6.3S	10YR2.5/3	bruno scuro	7.5YR2.5/2	bruno molto scuro
6.3P	10YR2.5/2	bruno grigiastro scuro	7.5YR2.5/3	bruno scuro
6.4S	10YR2.5/3	bruno	10YR2.5/3	bruno scuro
6.4P	10YR2.5/3	bruno	10YR2.5/3	bruno scuro
7.1S	10YR2.5/3	bruno scuro	7.5YR2.5/2	bruno molto scuro
7.1P	10YR2.5/2	bruno grigiastro scuro	7.5YR2.5/3	bruno scuro
7.2S	10YR2.5/3	bruno scuro	7.5YR2.5/2	bruno molto scuro
7.2P	10YR2.5/2	bruno grigiastro scuro	7.5YR2.5/3	bruno scuro
7.3S	10YR2.5/2	bruno molto scuro	10YR2.5/2	bruno molto scuro
7.3P	5YR2.5/1	bianco	5YR2.5/2	grigio livido chiaro
7.4S	10YR2.5/3	bruno scuro	7.5YR2.5/2	bruno molto scuro
7.4P	10YR2.5/2	bruno grigiastro scuro	7.5YR2.5/3	bruno scuro

Tab. 11 colore Munsell.

SUOLI DI CLUSONE							
indici pedo-evolutivi ed età stimata (anni b.p)							
TRANSECT	Bentley Westin	Hurst	età stimata	indice Hurst secco	Redness ratings		
CAMPIONI	anni	anni	media anni	media pBw	rubeificazione Hurst hematite 2,3	ferruginazione Hurst goethite 2,5	brunificazione Hurst ferridrite 2,5,3
1.1S	4093	2430	3262	29,2			
1.1P	8009	4691	6350	10,0	3,1	0,9	1,3
1.2S	4093	2430	3262	29,2			
1.2P	8009	4691	6350	10,0	3,1	0,9	1,3
1.3S	4093	2430	3262	29,2			
1.3P	8009	4691	6350	10,0	3,1	0,9	1,3
1.4S	7046,5	4585	5816	14,6			
1.4P	9004,3	5715	7360	5,0	1,6	0,4	0,6
1.5S	10000	6740	8370	0,0			
1.5P	10000	6740	8370	0,0	0,0	0,0	0,0
2.1S	1991	3003	2497	26,7			
2.1P	1991	3003	2497	26,7	4,2	1,2	1,7
2.2S	1438	1524	1481	50,0			
2.2P	3728	3912	3820	15,0	5,2	1,4	2,1
2.3S	2356	2569	2463	26,7			
2.3P	2356	2569	2463	27,0	4,3	1,2	1,8
2.4S	2484,3	2704	2594	20,9			
2.4P	2969,6	2669	2819	20,8	3,3	0,9	1,4
2.5S	2612	2839	2726	15,0			
2.5P	3583	2769	3176	14,6	2,3	0,7	1,0
3.1S	6017	4124	5071	15,0			
3.1P	6017	3317	4667	15,0	2,4	0,7	1,0
3.2S	5055,1	3801	4428	15,0			
3.2P	5055,1	3398	4226	25,0	3,2	0,9	1,3
3.3S	4093	3478	3786	15,0			
3.3P	4093	3478	3786	15,0	2,4	0,7	1,0
4.1S	6017	4124	5071	15,0			
4.1P	6017	3317	4667	15,0	2,4	0,7	1,0
4.2S	1991	2026	2008	33,3			
4.2P	8009	4321	6165	13,0	3,7	1,0	1,5
4.3S	2268	2515	2391	30,0			
4.3P	8009	4321	6165	13,0	3,4	1,0	1,4
5.1S	4281	3105	3693	25,0			
5.1P	4281	3105	3693	25,0	4,0	1,1	1,6
5.2S	3136	2734	2935	25,9			
5.2P	4004	3188	3596	20,0	3,6	1,0	1,5
5.3S	2702	2709	2705	22,9			
5.3P	3570	3163	3367	20,4	3,4	1,0	1,4
5.4S	1991	2363	2177	26,7			
5.4P	3728	3272	3500	15,0	3,3	0,9	1,4
5.5S	2268	2683	2475	19,9			
5.5P	3136	3138	3137	20,9	3,2	0,9	1,3
6.1S	1991	2026	2008	33,3			
6.1P	8009	4321	6165	13,0	3,7	1,0	1,5
6.2S	2175	2464	2320	28,9			
6.2P	4760	3532	4146	18,2	3,7	1,0	1,5
6.3S	2406	2843	2625	24,4			
6.3P	2840	3070	2955	23,8	3,8	1,1	1,6
6.4S	2544	3003	2774	26,7			
6.4P	2544	3003	2774	26,7	4,2	1,2	1,7
7.1S	2083	3895	2989	23,0			
7.1P	2363	5677	4020	32,5	4,4	1,2	1,8
7.2S	2174	3703	2938	22,6			
7.2P	2363	5677	4020	32,5	4,4	1,2	1,8
7.3S	1991	4087	3039	13,3			
7.3P	998	8723	4860	25,0	3,0	0,9	1,3
7.4S	2356	3319	2838	20,4			
7.4P	3728	2630	3179	40,0	4,8	1,3	2,0

Tab. 12 indici pedo evolutivi e di età stimata.

Nei grafici delle Fig. 17-29 sono riportati alcuni andamenti dei caratteri rilevati scelti tra i più significativi al fine del commento dei risultati.

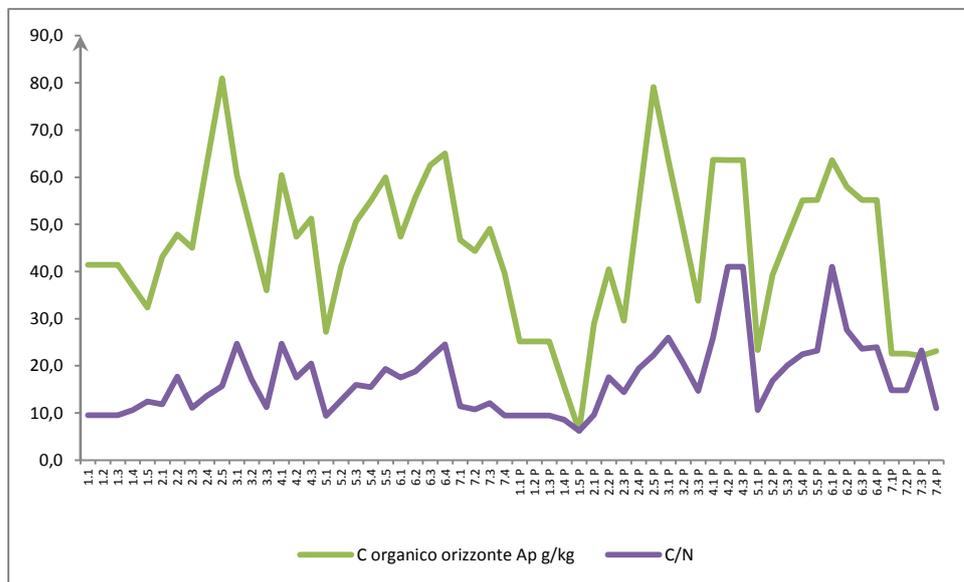


Fig. 17 Andamento del C organico nell'orizzonte Ap [g/kg] e del rapporto C/N.

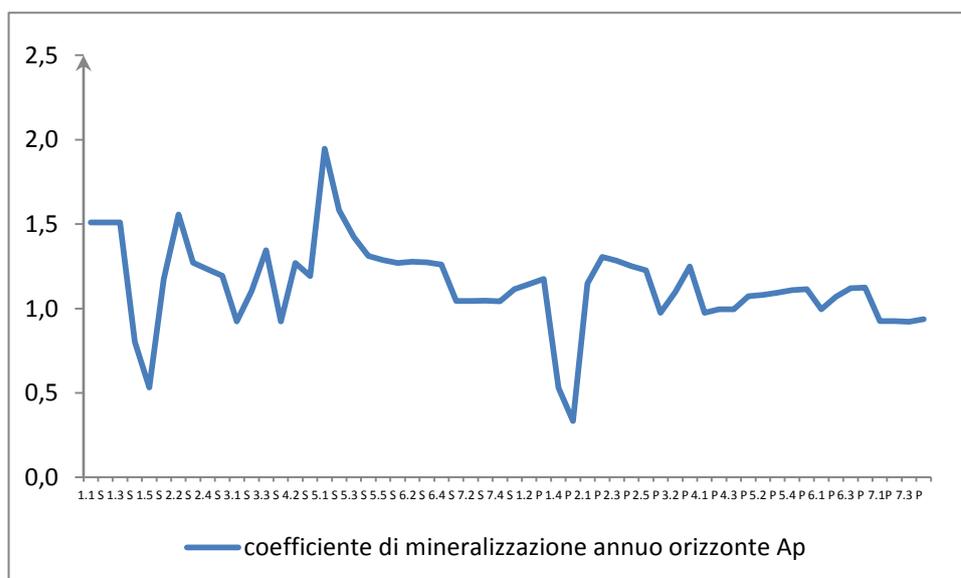


Fig. 18 Andamento del coeff. di mineralizzazione annuo nell'orizzonte Ap.

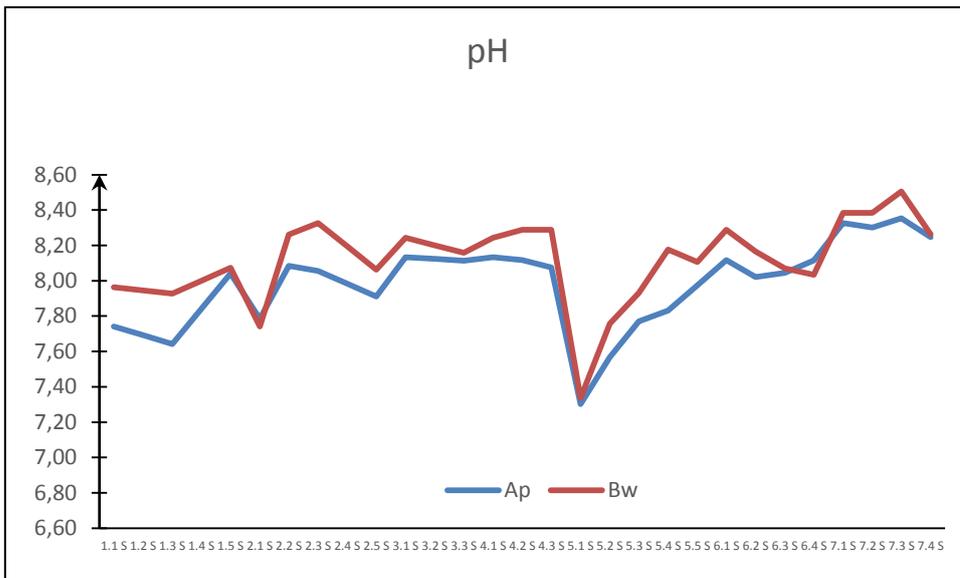


Fig. 19 Andamento del pH negli orizzonti Ap e Bw.

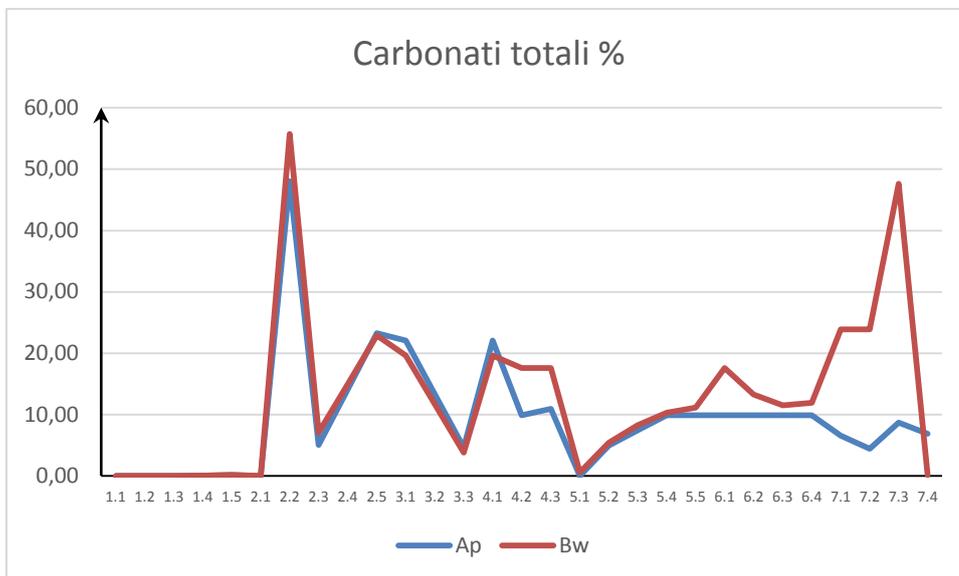


Fig. 20 Andamento dei carbonati totali [%] negli orizzonti Ap e Bw.

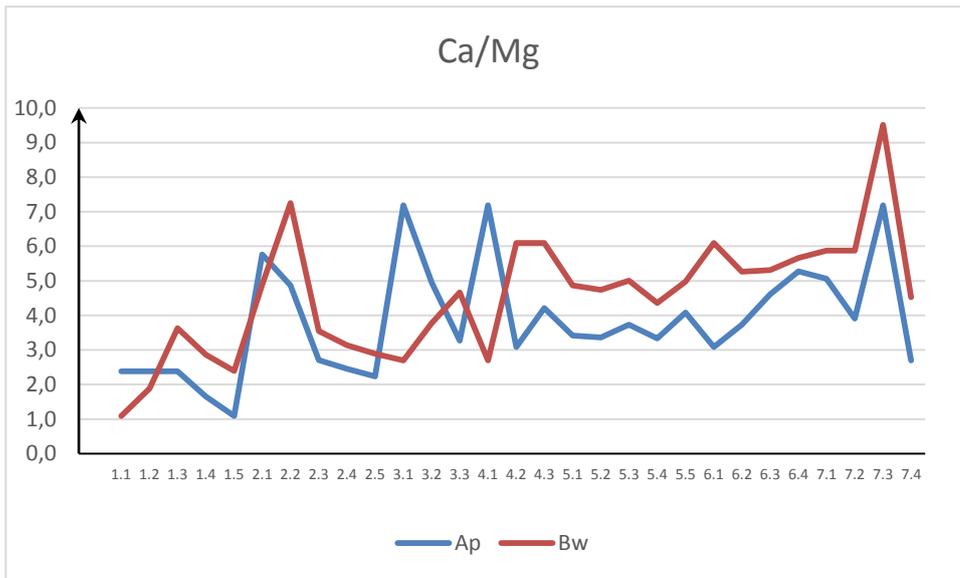


Fig. 21 Andamento del rapporto Ca/Mg negli orizzonti Ap e Bw.

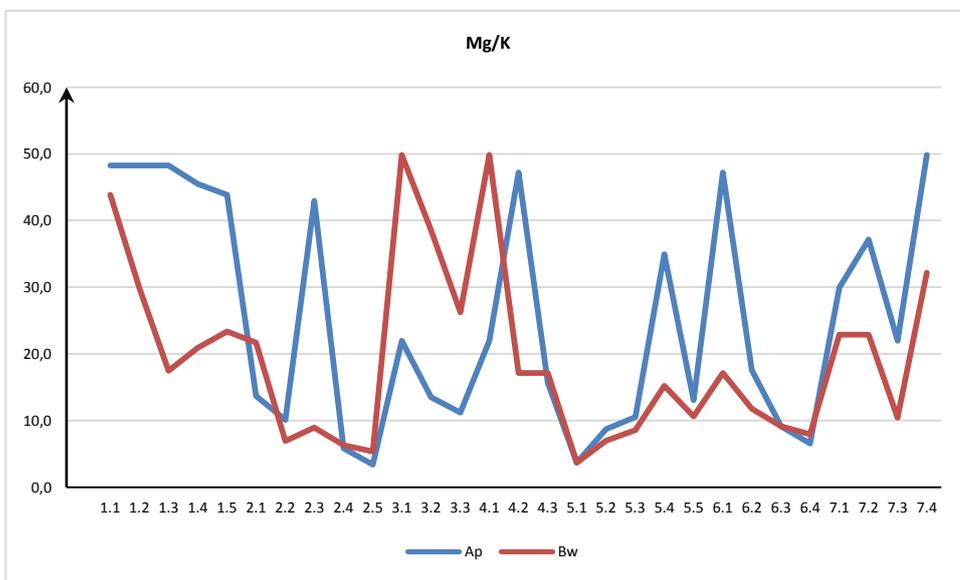


Fig. 22 Andamento del rapporto Mg/K negli orizzonti Ap e Bw.

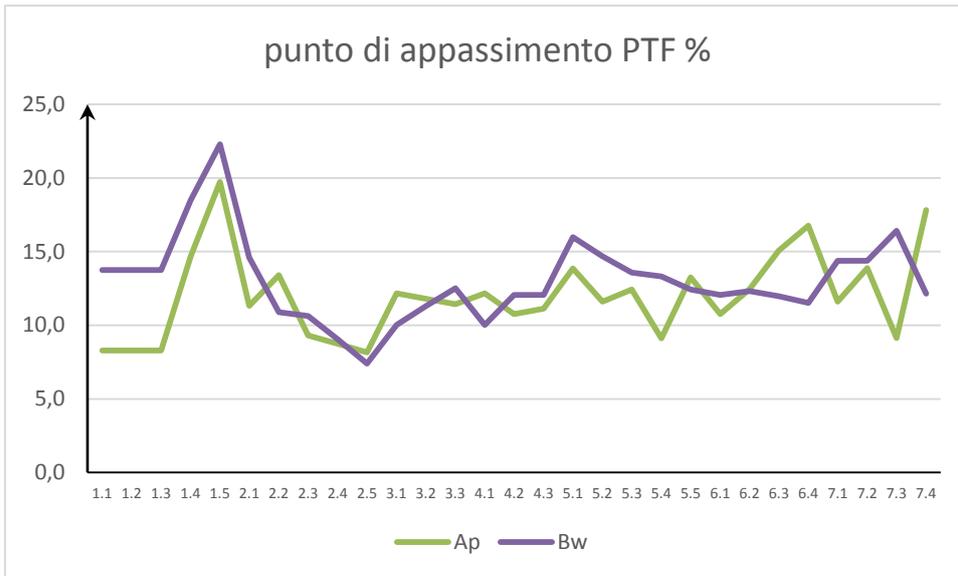


Fig. 23 Andamento del punto di appassimento (PTF %) negli orizzonti Ap e Bw.

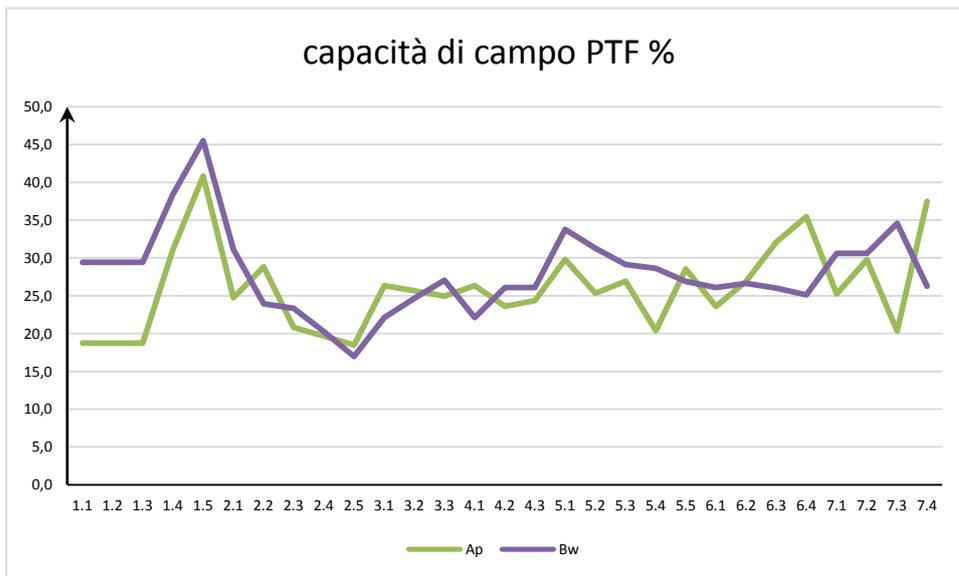


Fig. 24 Andamento della capacità di campo (PTF%) negli orizzonti Ap e Bw.

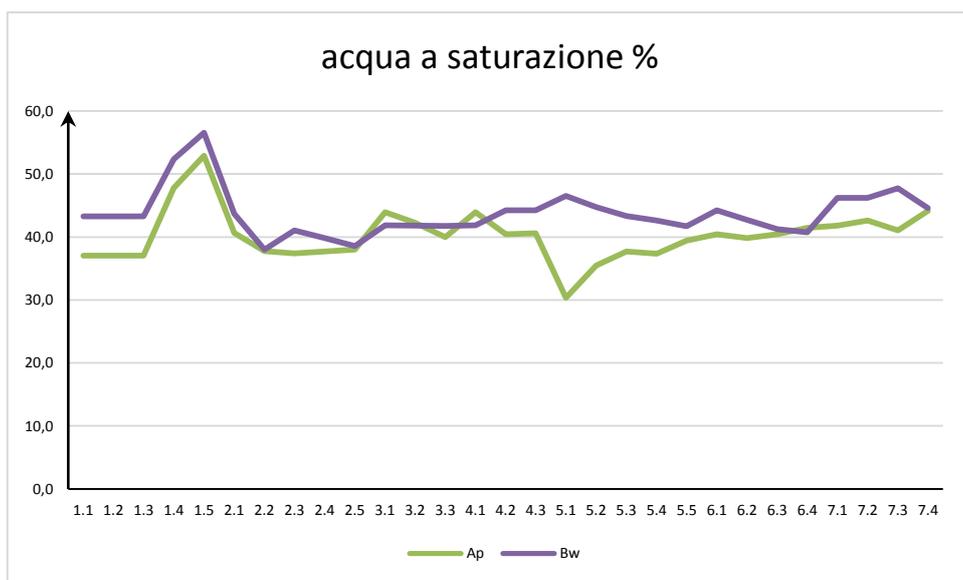


Fig. 25 Andamento della % di acqua a saturazione negli orizzonti Ap e Bw.

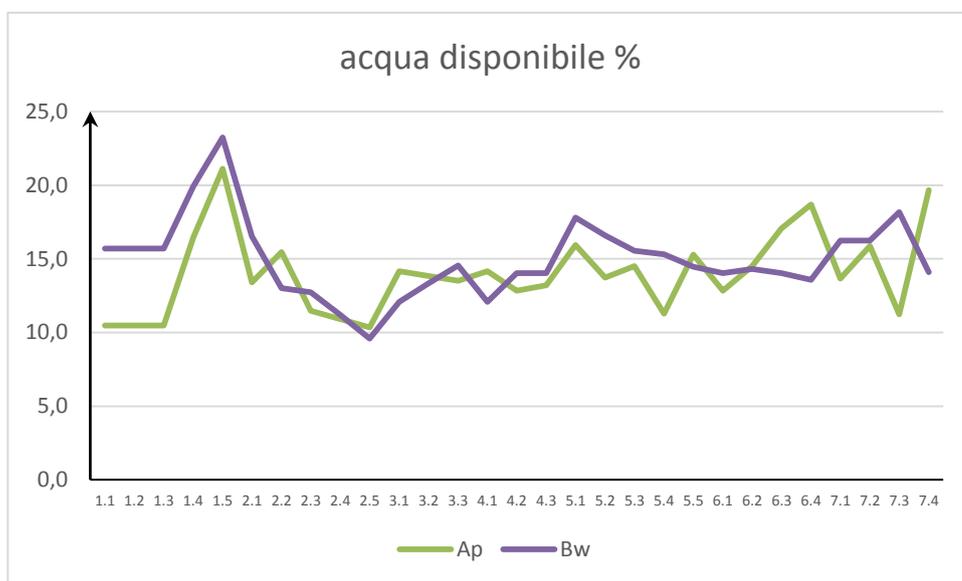


Fig. 26 Andamento della % di acqua disponibile negli orizzonti Ap e Bw.

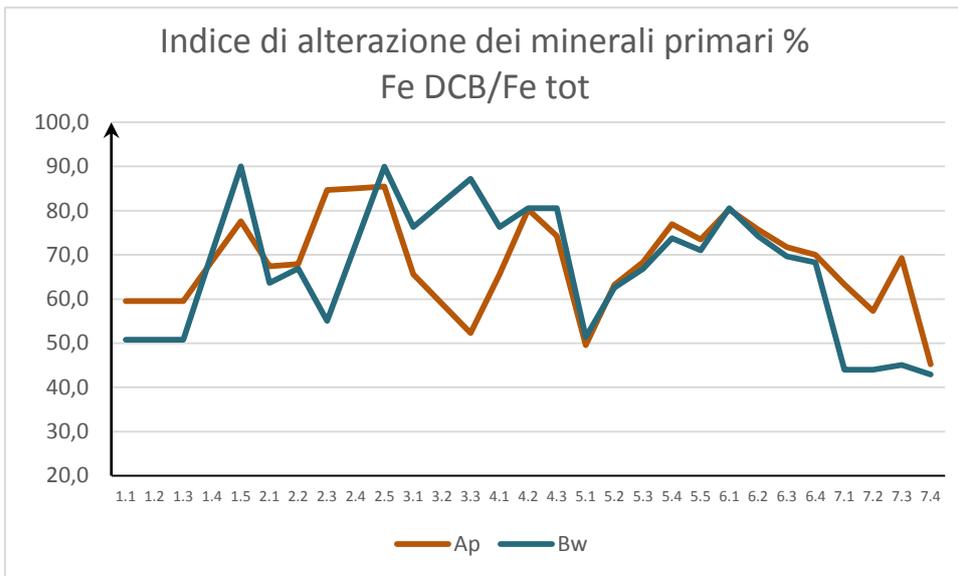


Fig. 27 Andamento dell' indice di alterazione dei minerali primari espresso come % FeDCB/Fetot; negli orizzonti Ap e Bw.

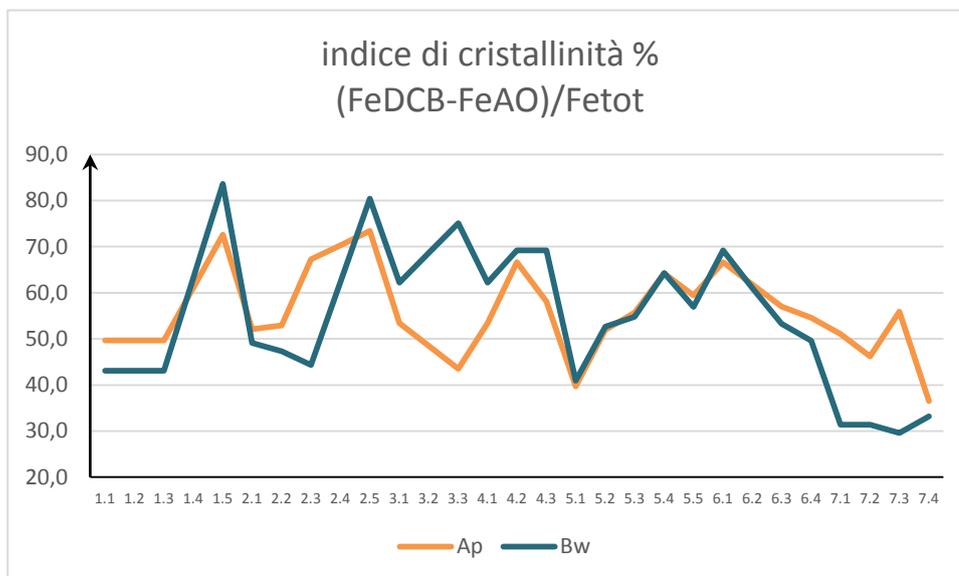


Fig. 28 Andamento dell' indice di cristallinità espresso come % (FeDCB-FeAO)/Fetot.

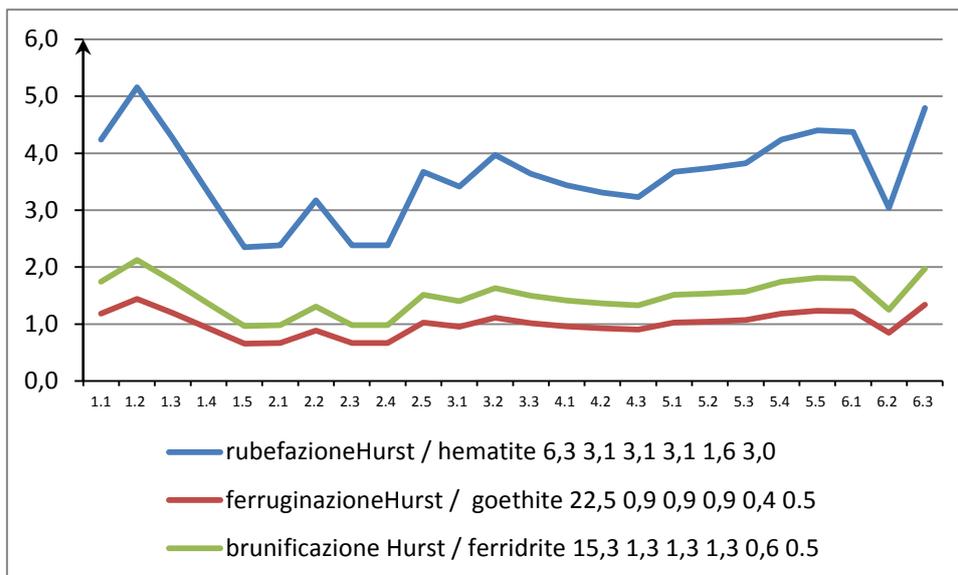


Fig. 29 Andamento degli indici di rubefazione, ferruginazione e brunificazione di Hurst.

## 6.2 Commenti ai risultati

### Transect 1

Suoli franco-sabbiosi, salvo il punto 1.5 che si presenta franco argilloso-limoso, leggermente ricchi di scheletro, i basici ad alta CSC e saturazione, ma non carbonatici probabilmente per la roccia madre morenica mista con componente dolomitica confermata dal basso rapporto Ca/Mg. Mg in genere alto e in grado di deprimere fortemente la disponibilità di K che è comunque molto basso. che è comunque molto basso. Bassa disponibilità di N e P variabile in relazione alle possibili fertilizzazioni che possono aver lasciato residui ben adsorbiti dalla componente ossidata del Fe assai ricca. Densità apparente alta, porosità leggermente bassa. I caratteri idrologici, anche se solo derivati PTF, indicano valori buoni salvo per la velocità d'infiltrazione in genere lenta. Il punto 1.5 tuttavia, particolarmente argilloso ha caratteristiche decisamente migliori per capacità di campo, ma molto negativi in termini di punto di appassimento. Gli indicatori pedo-evolutivi sono medi per quel che riguardano l'alterazione, ma con valori di elevata cristallinità.

### Transect 2

Suoli franchi molto basici e saturi, carbonatici talora con componente attiva altissima e conseguente influenza sulla presenza di  $Ca^{2+}$  solubile. Rapporto Ca/Ma sempre relativamente basso a denunciare eventi di infiltrazione dolomitica nello scheletro. Mg

in genere alto e in grado di deprimere fortemente la disponibilità di K. Buona dotazione di sostanza organica, ma con lenta mineralizzazione/umificazione. Bassa disponibilità di N e P variabile in relazione alle possibili fertilizzazioni che possono aver lasciato residui ben adsorbiti dalla componente ossidata del Fe assai ricca. I caratteri idrologici, anche se solo derivati PTF, indicano buoni salvo per la velocità d'infiltrazione in genere lenta. Gli indicatori pedo-evolutivi sono medio-elevati con intensa alterazione con valori di elevata cristallinità.

### *Transect 3*

Suoli franchi molto basici e saturi, talora carbonatici con componente attiva altissima e conseguente influenza sulla presenza di  $\text{Ca}^{2+}$  solubile. Rapporto Ca/Mg equilibrato. Mg in genere alto e in grado di deprimere fortemente la disponibilità di K. Mg in genere alto e in grado di deprimere fortemente la disponibilità di K che è comunque molto basso.. Buona dotazione di sostanza organica, ma con lenta mineralizzazione/umificazione. Bassa disponibilità di N e P variabile in relazione alle possibili fertilizzazioni che possono aver lasciato residui ben adsorbiti dalla componente ossidata del Fe assai ricca. I caratteri idrologici, anche se solo derivati PTF, indicano buoni salvo per la velocità d'infiltrazione in genere lenta. Gli indicatori pedo-evolutivi sono alti per intensa alterazione con valori di elevata cristallinità soprattutto a livello dell'orizzonte più profondo.

### *Transect 4*

Suoli molto basici e saturi, talora carbonatici con componente attiva altissima e conseguente influenza sulla presenza di  $\text{Ca}^{2+}$  solubile. Rapporto Ca/Mg equilibrato. Mg in genere alto e in grado di deprimere fortemente la disponibilità di  $\text{K}^+$  che è comunque molto bassa anche in assoluto.

Buona la dotazione di sostanza organica legata all'uso prativo prevalente, ma con lenta mineralizzazione/umificazione. Bassa disponibilità di N, P variabile in relazione alle possibili fertilizzazioni che possono aver lasciato residui ben adsorbiti dalla componente ossidata del Fe assai ricca. I caratteri idrologici, anche se solo derivati PTF, sono generalmente buoni salvo per la velocità d'infiltrazione talora lenta. Gli indicatori pedo-evolutivi sono alti sia per quel che riguarda l'alterazione, sia per l'elevata cristallinità.

#### *Transect 5*

Suoli franchi, basici e saturi, solo sporadicamente carbonatici. Buona dotazione di sostanza organica, ma con lenta mineralizzazione/umificazione. Rapporto Ca/Mg mediamente equilibrato. Mg in genere alto e in grado di deprimere fortemente la disponibilità di K che è comunque molto basso. Bassa disponibilità di N e P variabile in relazione alle possibili fertilizzazioni che possono aver lasciato residui ben adsorbiti dalla componente ossidata del Fe assai ricca. I caratteri idrologici, anche se solo derivati PTF, indicano buone caratteristiche salvo per la velocità d'infiltrazione in genere lenta. Gli indicatori pedo-evolutivi sono anche eatile per quel che riguardano l'alterazione con valori di elevata cristallinità.

#### *Transect 6*

Suoli franchi, basici e saturi, solo sporadicamente carbonatici. Buona dotazione di sostanza organica, ma con lenta mineralizzazione/umificazione. Mg in genere alto e in grado di deprimere fortemente la disponibilità di K che è comunque molto basso. Bassa disponibilità di N e P variabile in relazione alle possibili fertilizzazioni che possono aver lasciato residui ben adsorbiti dalla componente ossidata del Fe assai ricca. I caratteri idrologici, anche se solo derivati PTF, indicano buoni salvo per la velocità d'infiltrazione in genere lenta. Gli indicatori pedo-evolutivi sono anche eatile per quel che riguardano l'alterazione con valori di elevata cristallinità.

#### *Transect 7*

Suoli franco-grossolani basici e saturi, molto carbonatici con componente attiva molto alta e forte presenza di  $\text{Ca}^{2+}$  solubile. Buona dotazione di sostanza organica, ma con lenta mineralizzazione/umificazione. Disponibilità di K fortemente inibita. Bassa disponibilità di N e P variabile in relazione alle possibili fertilizzazioni che possono aver lasciato residui ben adsorbiti dalla componente ossidata del Fe assai ricca. I caratteri idrologici, anche se solo derivati PTF, indicano buoni salvo per la velocità d'infiltrazione in genere lenta. Gli indicatori pedo-evolutivi sono medio-bassi, correlabili con un'intensità pedogenetica bassa per quel che riguarda l'alterazione, ma con valori di elevata cristallinità.

### *Età stimata dei suoli*

La stima dell'età dei suoli (orizzonte Bw) indica chiaramente che i suoli sono medio-recenti post-wurmiani: quelli del post-glaciale più remoto, comunque entro 10000 anni b.p., appartengono al Transect 1 e solo parzialmente al Transect 4 e 6, comunque corrispondono alla prevalenza di roccia madre morenica piuttosto che al sedimento fluvio-glaciale

Tutti gli altri suoli sono relativamente giovani anche se gli indicatori di alterazione dei minerali primari sono comunque abbastanza elevati. In particolare è interessante constatare che il trend di rubefazione è sempre molto più elevato rispetto a quello di ferriginazione con tendenziale formazione di hematite più che di goethite. Data la storica geologica del sito e la dinamica sedimentaria che ha riempito la conca, ciò rappresenta un'anomalia pedologica e probabilmente la componente amorfa del Fe ossidato ha subito una più intensa attività di cristallizzazione in condizioni climatiche forse più asciutte e calde di quelle attuali, cosa peraltro confermata dallo stato della cristallinità degli ossidi di Fe. Questo dato potrebbe essere confermato da un'analisi pollinica accurata.

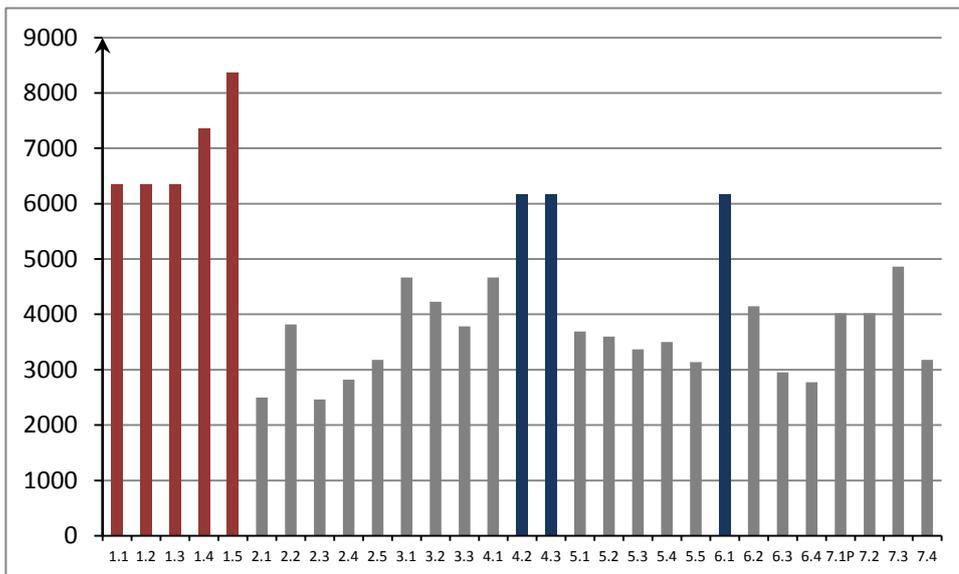


Fig. 30 Età stimata dei suoli [b.p.].

## 7) CONCLUSIONI

I suoli della cosiddetta conca di Clusone, anche se relativamente poco sviluppati nel profilo pedologico, mostrano condizioni di fertilità di base per quanto riguarda il complesso di scambio, ma sono assai carenti di K sia in assoluto, sia disponibile per elevata presenza di Mg. Si tratta in genere di suoli franchi relativamente poco scheletrici che evolvono su sedimenti fluvioglaciali o morenici che risentono ancora dell'abbondante presenza di calcare e dolomia. La prevalente copertura erbacea comporta un'abbondante residuo organico che tuttavia va incontro a una alterazione lenta da parte dei microrganismi (C/N molto alto). Il colore del suolo denuncia una buona presenza comunque di frazione umica che contribuisce alla buona CSC. Il clima attuale umido non ha ancora portato a una lisciviazione delle basi. La disponibilità di N è bassa come quella del P che, tuttavia, vede in alcuni punti la testimonianza dei fertilizzatori. Data la presenza di ossidrossidi di Fe e di  $\text{CaCO}_3$  è possibile che le fertilizzazioni fosfatiche vengano fortemente compromesse nella loro utilizzazione e che il P possa facilmente riprecipitare come fosfato tricalcico o adsorbito in modo specifico dagli ossidrossidi.

Dal punto di vista pedo-evolutivo, i suoli sono correlati a sedimenti calcio-magnesiaci che hanno subito una forte alterazione della componente minerale primaria. Questa alterazione ha portato alla formazione di una componente ferrica rubefatta importante legata forse a condizioni climatiche diverse da quelle attuali. Il colore bruno del suolo in Bw è spesso inscurito dalla componente organica, non è confermato dagli indici di rubefazione se confrontati con i valori di Hurst per i tre ossidrossidi fondamentali. Le condizioni di pigmentazione sono probabilmente legate alla presenza di ferridrite (Fe estraibile in ossalato d'ammonio), ma la notevole cristallinità degli ossidrossidi e il rapporto degli indici Hurst portano alla conclusione che il livello evolutivo della frazione argillosa è assai più elevato di quanto può apparire.

Ulteriori indagini pedologiche basate sullo studio di profili di riferimento potranno meglio chiarire le condizioni pedo-dinamiche presenti nell'area di studio.

## 8) BIBLIOGRAFIA

Abdelbaki, A.M., 2015, *Using automatic calibration method for optimizing the performance of Pedotransfer functions of saturated hydraulic conductivity*. Ain Shams Engineering Journal, 7 (2), 653-662.

Barron, V., Torrent, J. 1986. *Use of the Kubelka-Munk theory to study the influence of iron oxides on soil colour*. *European Journal of Soil Science* 37, 499-510. DOI: 10.1111/j.1365-2389.1986.tb00382.x.

Bertuletti, C., & Carollo, A. (1973). *Climatologia del bacino idrografico del Torrente Borlezza*. Amministrazione provinciale di Bergamo.

Carisconi, A. (1985). *Pastori: studi, documenti, testimonianze sulla pastorizia bergamasca*. Edizioni Villadiseriane

Carlier, M., & Réméniéras, G. 1986. *Hydraulique générale et appliquée*. Eyrolles.

Ceriani, M., & Carelli, M. (2000). *Carta delle precipitazioni medie, massime e minime annue del territorio alpino della Regione Lombardia* (registrate nel periodo 1891–1990). Servizio Geologico, Ufficio Rischi Geologici Regione Lombardia.

Chardon, M. (1969). *Les formations quaternaires du bassin de Clusone*. *Recherches Méditerranéennes. Orphis: Gap*, 93-108.

Cita, M.B. (1990). *Alpi e Prealpi Lombarde*. BeMa editrice, pp. 290.

De Franco, R., Berra, F., Biella, G., Boniolo, G., Caielli, G., Corsi, A., ... & Tondi, R. (2004). *Late Neogene–Quaternary evolution of the intermontane Clusone Basin (Southern Alps, Italy): integration of seismic and geological data*. *Journal of Quaternary Science*, 19(4), 409-421.

GeoTer (2008) *Studio geologico per il piano di governo del territorio* (LR 12/2005 E CGR VIII/7374/2008). Comune di Rovetta.

Harden, J. W., 1982, *A quantitative index of soil development from field descriptions: Examples from a chronosequence in central California*, *Geoderma*, v. 28, p. 1-28

Hollis, J.M, Hannam, J, Bellamy, P.H., 2011, *Empirically-derived pedotransfer functions for predicting bulk density in European soils*. *European Journal of Soil Science* 63(1), 96-19.

Jadoul, F., Berra, F., Bini, A., Ferliga, C., Mazzoccola, D., Papani, L., ... & Trombetta, G. L. (2012). *Note Illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1: 50.000, Foglio 077 Clusone*. ISPRA, Servizio Geologico d'Italia.

Mori, A. (1957). *Il clima. L'Italia Fisica*. Milano: Touring Club Italiano, 21-63.

Progetto Archidata (1986-1990), da Lombardiabenculturali: <http://www.lombardiabenculturali.it/archivi/progetti/MIPR000052/>

Provincia di Bergamo. (n.d.) sito cartografico SITer@  
<http://sit.provincia.bergamo.it/sitera3/ot/home/interattiva.asp>

Romano, N, Santini, A., 1997, *Effectiveness of using pedo-transfer functions to quantify the spatial variability of soil water retention characteristics*. Journal of Hydrology, Volume 202, Issue 1, p. 137-157.

Sánchez-Marañón, M., Soriano, M., Melgosa, M., Delgado, G., Delgado, R. 2004. *Quantifying the effects of aggregation, particle size and components on the colour of Mediterranean soils*. *European Journal of Soil Science* 55, 551-565. DOI: 10.1111/j.1365-2389.2004.00624.x.

Sánchez-Marañón M., 2014, Color Indices, *Relationship with Soil Characteristics*, *Encyclopedia of Agrophysics Encyclopedia of Earth Sciences Series*, pp 141-145.

Simine, D. (2009) *Cemento d'alta quota: seconde case, cemento vs turismo di qualità, I numeri dell'edilizia d'assalto delle principali località del turismo montano delle Alpi italiane*. Legambiente, Dossier.

Terefe, T., Mariscal-Sancho, I., Peregrina, F., Espejo, R. 2008. *Influence of heating on various properties of six Mediterranean soils. A laboratory study*. *Geoderma* 143, 273-280. DOI: 10.1016/j.geoderma.2007.11.018.

Thompson, J.A., Bell, J.C. 1996. *Color index for identifying hydric conditions for seasonally saturated mollisols in Minnesota*. *Soil Science Society of America Journal* 60, 1979-1988. DOI: 10.2136/sssaj1996.03615995006000060051x.

Thornthwaite C. W. and Mather J.R., 1955. *The water balance*, Publ. in *Climatology*, 8: 1-104.

Thornthwaite C. W. and Mather J.R., 1957. *Instructions and tables for computing potential evapotranspiration and the water balance*. Publ. in *Climatology*, 10: 181-311.

Torrent, J., Schwertmann, U., Schulze, D.G. 1980. *Iron oxide mineralogy of some soils of two river terrace sequences in Spain*. *Geoderma* 23, 191-208. DOI: 10.1016/0016-7061(80)90002-6.