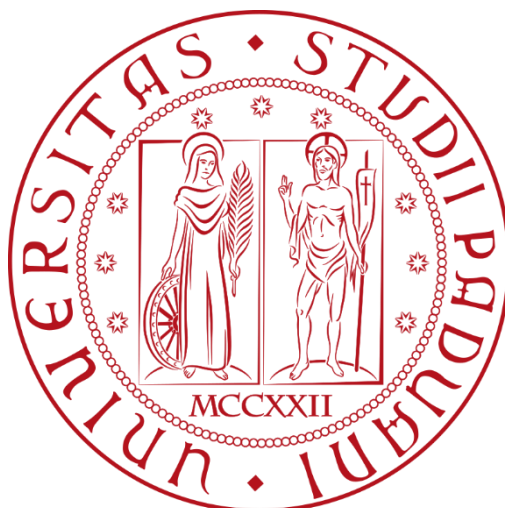


UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, EDILE E AMBIENTALE

Corso di Laurea Triennale in Ingegneria per l'Ambiente e il Territorio



TESI DI LAUREA

**ANALISI DEL CONTENUTO D'ACQUA DEL SUOLO IN UN
TRATTO TEMPORANEO DI UN TORRENTE ALPINO**

Relatore: Chiar.mo PROF. GIANLUCA BOTTER

Correlatore: Ing. NICOLA DURIGHETTO

Laureando: VITTORIO SALVELLI

ANNO ACCADEMICO 2021-2022

INDICE

1. INTRODUZIONE	8
2. METODI E STRUMENTI	9
2.1 Drill & Drop Bluetooth.....	9
2.2 Correzione valori	13
2.3 Contenuto d'acqua	15
3. CASO STUDIO	17
3.1 Localizzazione bacino idrografico del Valfredda	17
3.2 Localizzazione sito di studio	19
3.3 Regime idrologico	21
3.4 Stazione meteo.....	21
3.5 Tipologie di suolo e vegetazione	23
4. RISULTATI	26
4.1 Posizionamento delle sonde.....	26
4.2 Analisi del contenuto d'acqua del suolo.....	27
4.2.1 Sonda M.....	27
4.2.2 Sonda C.....	31
4.2.3 Sonda V.....	33
4.2.4 Sonda S	35
4.2.5 Sonda N.....	37
5. CONCLUSIONI.....	39
6. BIBLIOGRAFIA.....	40

INDICE DELLE FIGURE

Figura 1: sonda Drill & Drop Bluetooth.....	9
Figura 2: caratteristiche della sonda Drill & Drop Bluetooth.....	10
Figura 3: dettaglio della sonda ricoperta con uno strato di plastica impermeabile.....	11
Figura 4: dettaglio della sonda ricoperta da una zolla di terreno.....	11
Figura 5: rilevazione della posizione sonda e dettaglio sulla quota da considerare	13
Figura 6: distanza tra l'estremità superiore e il primo sensore	14
Figura 7: localizzazione bacino idrografico del Valfredda	17
Figura 8: bacino idrografico del Valfredda tra il passo San Pellegrino e Falcade	18
Figura 9: localizzazione sito di interesse all'interno del bacino del Valfredda	19
Figura 10: recinto costruito per proteggere le apparecchiature	20
Figura 11: dettaglio del filo spinato del recinto	20
Figura 12: Valfredda in inverno ed estate.....	21
Figura 13: stazione meteo di monte	21
Figura 14: localizzazione stazione di monte	22
Figura 15: grafico sulle precipitazioni su scala giornaliera	23
Figura 16: esempio di roccia sedimentaria ricoperta da substrato di terreno	24
Figura 17: mappa dei suoli del Valfredda	25
Figura 18: localizzazione delle sonde per l'umidità del suolo.....	26
Figura 19: precipitazioni e andamento temporale dei dati raccolti dalla sonda M.....	27

Figura 20: andamento temporale dei dati raccolti dalla sonda M su un range di ordinate più ristretto	28
Figura 21: andamento umidità su scala temporale ridotta per il sensore ad una profondità minore	29
Figura 22: precipitazioni e andamento temporale dei dati raccolti dalla sonda C.....	31
Figura 23: profilo umidità 21/6/22 11:30 per la sonda C	32
Figura 24: precipitazioni e andamento temporale dei dati raccolti dalla sonda V.....	33
Figura 25: precipitazioni e andamento temporale dei dati raccolti dalla sonda S	35
Figura 26: profilo umidità 21/6/22 23:43 per la sonda S.....	36
Figura 27: precipitazioni e andamento temporale dei dati raccolti dalla sonda N	37
Figura 28: andamento temporale dei dati raccolti su un intervallo di tempo ridotta	38

SOMMARIO

Il contenuto d'acqua nel suolo è un elemento fondamentale per comprendere al meglio i meccanismi di filtrazione del terreno e della connettività variabile tra suolo, acque sotterranee e canali. In questa tesi è stato monitorato il contenuto d'acqua del suolo in prossimità di un affluente del Rio Valfredda (BL) attraverso l'impiego di cinque sonde inserite nel terreno. I dati raccolti sul campo relativi al periodo 21 giugno - 2 settembre 2022 sono stati rielaborati in modo da descrivere la variabilità spatio-temporale delle dinamiche del contenuto d'acqua nel suolo. Inoltre, è stato ricostruito un quadro complessivo nel quale sono stati interpretati in modo qualitativo i dati sperimentali raccolti. I risultati evidenziano tre aspetti principali: che le sonde in alveo rilevano delle variazioni di contenuto d'acqua molto minore rispetto alle sonde installate sul versante, che sono presenti dei cicli giornalieri dovuti all'evapotraspirazione e che le variazioni di volume d'acqua avvengono prima negli strati superficiali per poi essere trasmesse agli strati più profondi. Lo studio proposto fornisce una valida base di partenza per lo sviluppo di modelli in grado di simulare le dinamiche idrologiche che interessano i corsi d'acqua temporanei e determinano l'espansione e contrazione del reticolo fluviale attivo.

1. INTRODUZIONE

Sempre più, nella società odierna, l'attenzione per i cambiamenti climatici sta crescendo assumendo sempre maggior importanza nell'opinione pubblica. Negli ultimi anni, il numero di eventi estremi sta aumentando, come i lunghi periodi di siccità o le improvvise piene che hanno spesso effetti catastrofici. In questo contesto si colloca il progetto DyNet che si occupa di indagare le dinamiche di espansione e contrazione delle reti fluviali andando ad analizzare quattro bacini con diversi regimi climatici, tra i quali il bacino del Valfredda. Solitamente si tende a pensare alle reti fluviali come oggetti statici, mentre la realtà ci fa osservare che si espandono e contraggono come esseri vivi. Svelare, quindi, cause e conseguenze della natura dinamica e in continuo mutamento delle reti idrografiche, può aiutare a comprendere meglio i fenomeni all'interno dei campi dell'idrologia, dell'ecologia e della biogeochimica. Risulta, di conseguenza, fondamentale, tra i molteplici fattori, analizzare il contenuto d'acqua del suolo per tutta una serie di rilevanze e implicazioni. In primo luogo, per le relazioni tra l'umidità del suolo e le dinamiche di espansione e contrazione del reticolo idrografico. In secondo luogo, per comprendere al meglio le dinamiche di saturazione del terreno e il loro rapporto con le precipitazioni atmosferiche e i meccanismi di filtrazione. Infine, poiché le misure in campo del contenuto d'acqua sono determinanti per arrivare ad una corretta modellazione e gestione delle risorse idriche.

La presente tesi trae la propria origine da un'esperienza di cinque sopralluoghi presso il bacino idrografico del Valfredda nel Comune di Falcade (BL), durante l'estate del 2022 e si propone di analizzare il contenuto d'acqua del suolo in prossimità di un affluente del Rio Valfredda attraverso cinque sonde. Dopo aver inquadrato geograficamente il bacino di interesse sono illustrate le varie apparecchiature usate sul campo per il rilevamento dei dati. Si prosegue con la rappresentazione dei risultati attraverso plot e, successivamente, con una discussione sull'interpretazione dei dati. Infine, una breve conclusione sintetizza i risultati chiave ottenuti.

2. METODI E STRUMENTI

2.1 Drill & Drop Bluetooth

La sonda Bluetooth Drill & Drop è uno strumento di monitoraggio dell'umidità del suolo. È formata da un tappo sigillato che affiora dal terreno e da un'asta che viene completamente inserita nel suolo.

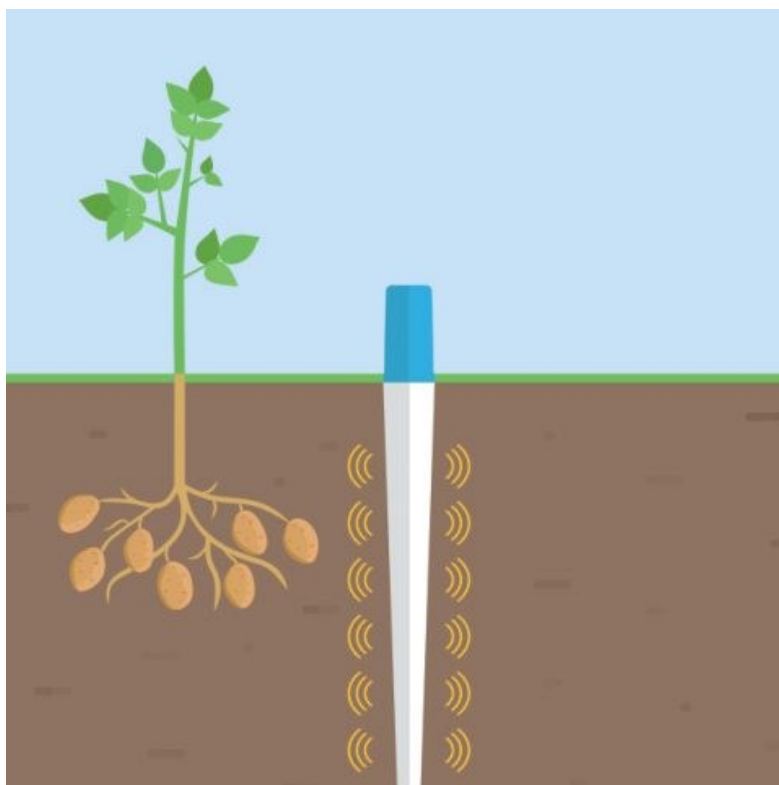


Figura 1: sonda Drill & Drop Bluetooth

La sonda è un dispositivo privo di cavi, alimentato da una batteria al litio che può durare fino a due anni prima della sostituzione e trasmette i dati a corto raggio allo smartphone e tablet tramite connessione Bluetooth. Questa tecnologia è ideale per l'uso in aree prive di ricezione mobile come può essere un bacino montano. La batteria e l'antenna sono contenute nel tappo sigillato posto nella parte alta della sonda, mentre i sensori e l'elettronica sono incapsulati all'interno dell'asta della sonda. Il materiale dell'asta è costituito da plastica dura *HDPE* che conferisce resistenza e fa sì che la parte elettronica risulti completamente sigillata all'interno. Inoltre, il diametro leggermente

inferiore nella parte bassa rispetto alla parte alta, infonde una forma affusolata alla sonda che facilita l'installazione e migliora l'aderenza al terreno. All'interno della sonda sono presenti i sensori per l'umidità del suolo e per la temperatura, posti all'interno dell'asta ogni 10 cm. L'errore nella misurazione dell'umidità del suolo è pari a 0,03% rispetto al volume d'acqua in millimetri. La precisione per la temperatura è di ± 2 gradi se misurati in intervallo compreso tra -20 e + 60°C.

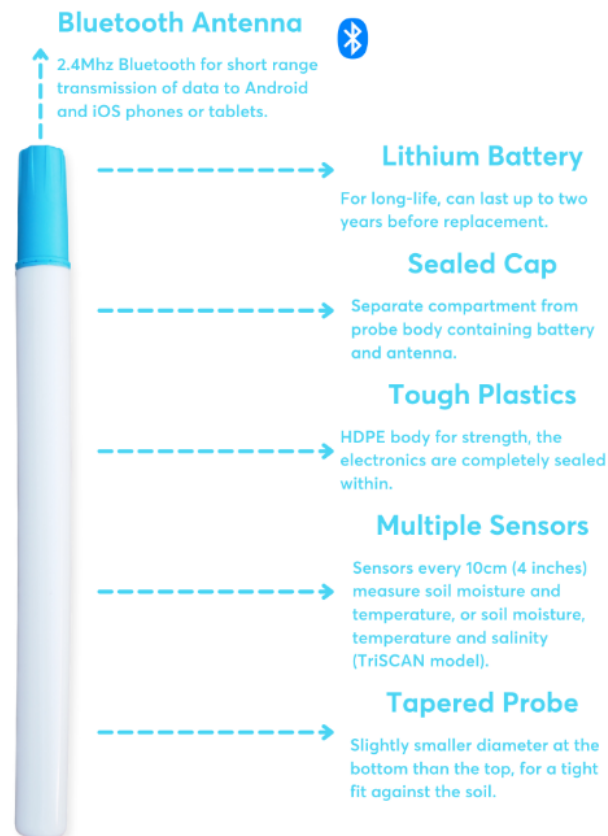


Figura 2: caratteristiche della sonda Drill & Drop Bluetooth

Poiché lo strato di terriccio a volte non è sufficientemente profondo e la sonda prima di essere inserita completamente incontra uno strato di roccia dura, una piccola parte di asta rimane al di fuori del terreno. Per evitare che la pioggia vada ad alterare le misurazioni entrando in contatto con i sensori che sono fuori dal terreno, la parte che affiora è stata prima rivestita con uno strato di plastica impermeabile e poi ricoperta da zolle di terreno.



Figura 3: dettaglio della sonda ricoperta con uno strato di plastica impermeabile



Figura 4: dettaglio della sonda ricoperta da una zolla di terreno

Solitamente la calibrazione di uno strumento di misura si effettua allineando le letture di tale strumento con i valori determinati da un metodo standard per la misurazione dello stesso valore. La procedura per la calibrazione della sonda per l'umidità del suolo avverrebbe confrontando le letture della frequenza scalare da un tubo di accesso installato sul campo o in un contenitore in laboratorio con i valori del contenuto volumetrico di acqua determinati gravimetricamente nelle

immediate vicinanze del tubo. Questi valori verrebbero successivamente tracciati su un grafico, formando una relazione descritta da un'equazione matematica. In questo modo i livelli di umidità inviati dal sensore sarebbero direttamente correlati ai valori reali determinati nel terreno.

Per la procedura sopra descritta sarebbe, inoltre, necessario eseguire una calibrazione specifica per il sito di interesse e bisognerebbe, quindi, considerare svariati fattori quali: il tipo di suolo, il clima, la varietà di piante e la loro salute, il sistema di irrigazione e la topografia.

Tuttavia, per la sonda di nostro interesse la calibrazione risulta essere poco importante, lunga e particolarmente onerosa. Per questo motivo, il costruttore raccomanda l'uso di equazioni di calibrazione predefinite, calcolate sulla base di una serie di tipi di terreno diversi, che possono essere utilizzate per mostrare le variazioni dell'acqua nel suolo per tutti i tipi di terreno. Inoltre, ogni sensore deve essere normalizzato in acqua e aria per stabilire i valori di AirCount e WaterCount che servono per il calcolo della frequenza scalare.

Per terricci organici, terricci sabbiosi e sabbia, il produttore fornisce le seguenti equazioni:

$$y = A x^B + C$$

dove y = frequenza scalare

x = volume d'acqua nel suolo in mm

A, B, C = parametri della calibrazione

$$y = SF = \frac{(\text{Air Count} - \text{Field Count})}{(\text{Air Count} - \text{Water Count})}$$

dove AirCount e WaterCount sono i valori della lettura grezza che corrispondono al sensore lasciato in aria o direttamente in acqua e FieldCount è la lettura raw dello strumento.

Raccogliendo sul campo i dati grezzi di Aircount, Fieldcount e Watercount si riesce a calcolare la frequenza scalare. Dopodiché, avendo i parametri della calibrazione costanti per ogni sensore, si può ricavare il valore x di interesse, ossia il volume in millimetri d'acqua nel suolo che risulta essere:

$$x = \left(\frac{y - C}{A}\right)^{\frac{1}{B}}$$

2.2 Correzione valori

Come visto in precedenza, la morfologia del terreno non ha permesso di inserire le sonde completamente nel suolo lasciandone sempre affiorare una parte. La porzione di asta che fuoriesce dal terreno si differenzia da sonda a sonda e, quindi, il numero di sensori da escludere nella rielaborazione dei dati cambia per ognuno di esse.

Per capire quanti sensori devono essere impiegati nell'analisi dei dati e per comprendere a quale profondità si trovano, si procede nel seguente modo:

- rilevare tramite GPS la quota prima di inserire la sonda nel suolo e dopo averla inserita in modo da poter fare la differenza e avere la lunghezza di asta che fuoriesce dal terreno



Figura 5: rilevazione della posizione sonda e dettaglio sulla quota da considerare

- misurare la distanza tra estremità superiore della sonda e primo sensore (12,5 cm) e, sapendo che ogni sensore dista 10 cm dal precedente, si riesce a ricavare la distanza di ogni sensore dall' estremità superiore

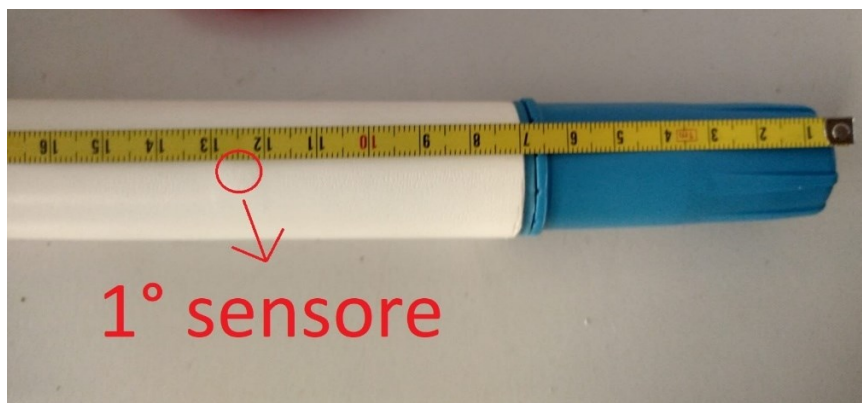


Figura 6: distanza tra l'estremità superiore e il primo sensore

avendo ricavato la lunghezza della parte esterna al terreno e avendo distanza di ogni sensore dalla cima, si riesce a capire quanti sensori sono fuori dal suolo. Infine, facendo la differenza tra le distanze dei sensori sottoterra con l'estremità superiore e la lunghezza della parte affiorante, si ricava la profondità effettiva di ogni sensore.

NOME SONDA	n° SENSORI ESCLUSI	PROFONDITA' SENSORI [cm]					
		1°	2°	3°	4°	5°	6°
M	3	/	/	/	8.5	18.5	28.5
C	3	/	/	/	6.5	16.5	26.5
V	3	/	/	/	4.5*	14.5	24.5
N	1	/	3.5*	13.5*	23.5	33.5	43.5
S	2	/	/	4.5	14.5	24.5	34.5

Dopo aver elaborato i dati relativi all'andamento temporale del volume d'acqua è stato necessario introdurre ulteriori correzioni ai valori indicati con un asterisco (*). La prima operazione è stata quella di scartare i dati relativi ai picchi improvvisi che non presentavano valori simili né nell'intervallo temporale precedente né in quello successivo. La seconda è stata di scartare i valori raccolti da alcuni sensori più superficiali in quanto alteravano il significato del grafico. Questo perché la copertura con uno strato di plastica impermeabile e una zolla di terreno a volte non è azione sufficiente per evitare di alterare le misurazioni. Sono stati così scartati i dati raccolti dai primi due sensori della sonda N e quelli raccolti dal primo sensore della sonda a V.

2.3 Contenuto d'acqua

Ricordiamo che dai dati grezzi raccolti sul campo, attraverso semplici equazioni, si riesce a ricavare il volume d'acqua in millimetri. Dato che ogni sensore misura l'umidità relativa ad una fascia di 10 cm di terreno, il volume d'acqua nel suolo in millimetri indica quanto spazio di quella fascia è occupato dall'acqua e corrisponde, quindi, al *contenuto d'acqua*. Questo è solitamente espresso come:

$$\theta(t) = \frac{V_w(t)}{V}$$

dove V_w = volume occupato dall'acqua

V = volume totale (componente solida + aria + acqua)

Idealmente, essendo la fascia di 10 centimetri, il volume d'acqua nel suolo in millimetri potrebbe variare da 0 mm a 100 mm. In realtà, questo valore è compreso tra un valore minimo pari a 0 mm e un valore massimo che corrisponde alla porosità del terreno. Se il volume d'acqua fosse pari alla porosità significherebbe che il terreno ha raggiunto la saturazione. La porosità è espressa come:

$$n = \frac{V - V_s}{V}$$

dove: V = volume totale

V_s = volume occupato dal solido

Questo valore dipende dalla morfologia del terreno: si potrà ottenere un valore diverso di porosità in base sia alla collocazione della sonda sia tra i diversi strati della stessa sonda.

3. CASO STUDIO

3.1 Localizzazione bacino idrografico del Valfredda

I dati di seguito analizzati sono stati raccolti in Valfredda. Questa località si trova vicino al passo San Pellegrino, sul confine regionale tra Trentino-Alto Adige e Veneto, precisamente in un'enclave del comune di Soraga e la municipalità di Falcade. A quest'ultima appartiene la maggior parte del bacino che si estende tra quota 1500 fino ai 3000 m s.l.m. per una superficie di drenaggio pari a 5.3 km². All'interno dell'area descritta scorre il Rio Valfredda, un piccolo torrente alpino alimentato da numerosi affluenti che si accendono e spengono durante tutto l'arco dell'anno. Dopodiché più a valle, il rio si immette nel torrente Biois, principale corso d'acqua dell'omonima valle che si origina in Trentino sulle cime che sovrastano il passo San Pellegrino. Il Biois entra in Veneto, esattamente dove affluisce il Rio Valfredda, attraversa i Comuni di Falcade, Canale d'Agordo, Vallada Agordina e Cencenighe d'Agordo dove si immette nel Cordevole, il principale affluente del Piave.



Figura 7: localizzazione bacino idrografico del Valfredda

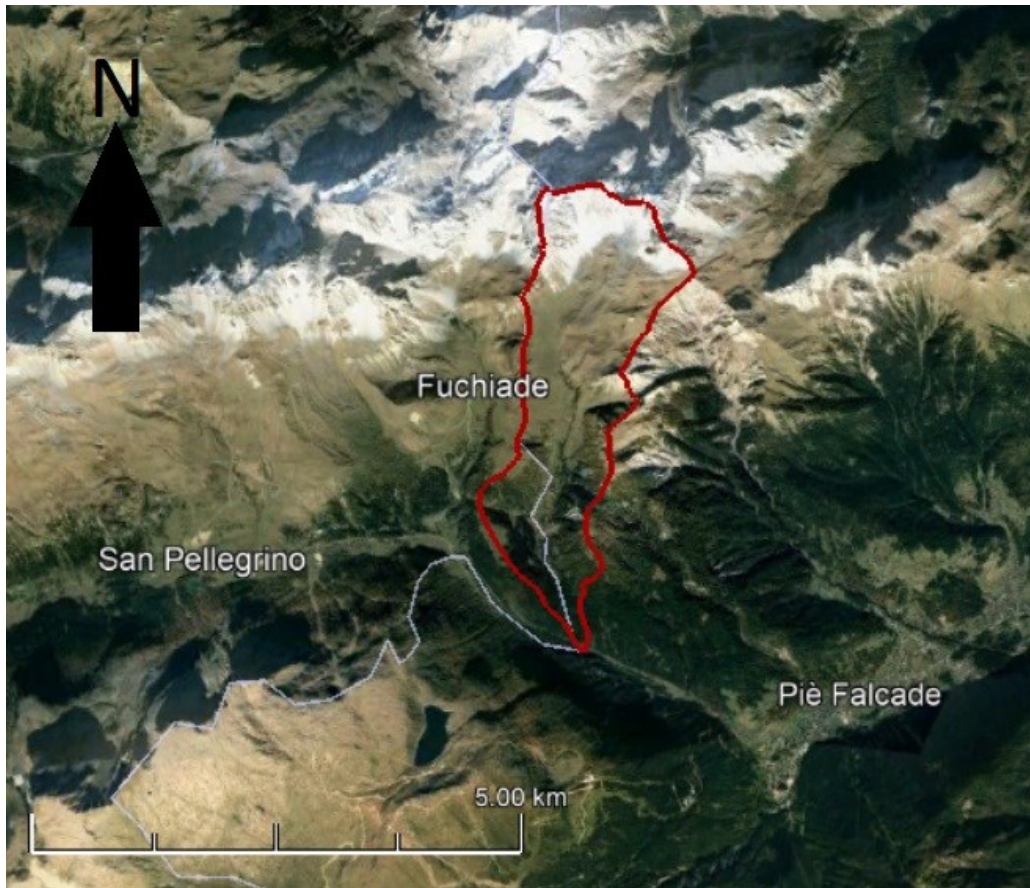


Figura 8: bacino idrografico del Valfredda tra il passo San Pellegrino e Falcade

Per la raccolta dati e, più in generale, per il progetto DyNet è stato scelto questo luogo, poiché ben riproduce le dinamiche di un bacino naturale ancora non antropizzato. Infatti, pur essendo presenti alcune opere di presa che garantiscono il fabbisogno idrico dell'intera area, il quantitativo d'acqua deviata può essere trascurato in quanto la portata complessivamente derivata è di due ordini di grandezza inferiore rispetto a quella misurata alla sezione di chiusura.

3.2 Localizzazione sito di studio



Figura 9: localizzazione sito di interesse all'interno del bacino del Valfredda

Gli strumenti descritti in seguito sono stati posati in prossimità di un affluente del Rio Valfredda ad una quota di circa 2120 m s.l.m. Per comodità chiameremo questo affluente come *affluente 1*, essendo il primo canale con una larghezza di almeno 10 cm che scorre sul versante sinistro del Rio Valfredda venendo da valle. La zona scelta si trova immersa tra pascoli alpini e per evitare che i cavalli presenti danneggino le apparecchiature, è stato costruito un recinto con filo spinato a protezione del sito.



Figura 10: recinto costruito per proteggere le apparecchiature



Figura 11: dettaglio del filo spinato del recinto

3.3 Regime idrologico

Il sito ha un clima naturalmente alpino, caratterizzato da molte precipitazioni, più di 1400 millimetri di pioggia all'anno, e da una variabilità termica molto elevata che porta le temperature fino ai 30°C in estate e ai -20°C in inverno. Durante la stagione invernale la neve si accumula nel bacino per poi sciogliersi nel periodo primaverile ed estivo. Il deflusso è, quindi, minimo nella stagione fredda, poiché il bacino è innevato e ghiacciato, mentre è massimo in primavera ed estate quando il ghiaccio e la neve iniziano progressivamente a sciogliersi, dalle quote più basse a valle fino a quelle più elevate a monte.

Nei periodi intra-stagionali, invece, la portata dipende dal quantitativo e dalla frequenza delle precipitazioni, ma, solitamente, è minore di quella primaverile e maggiore di quella invernale.

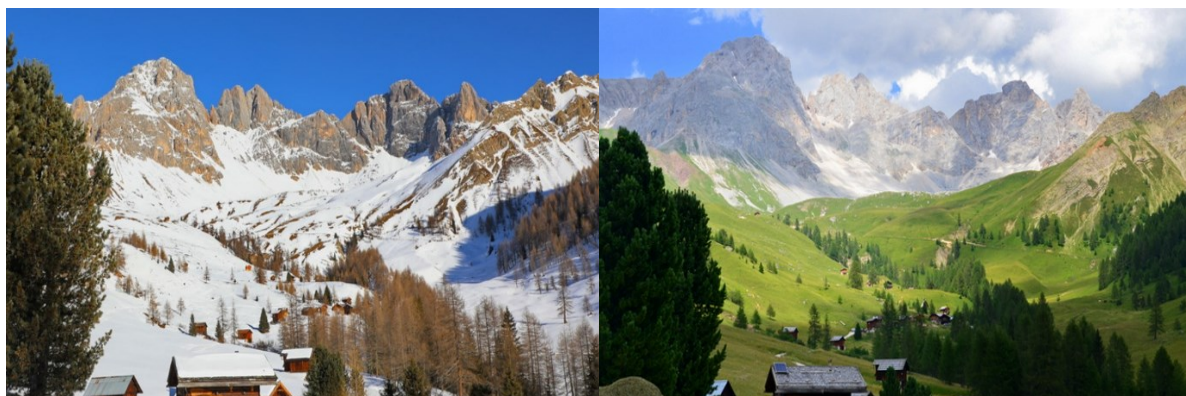


Figura 12: Valfredda in inverno ed estate

3.4 Stazione meteo



Figura 13: stazione meteo di monte

Poiché il bacino del Valfredda è molto esteso e presenta una grande differenza di quota tra monte e valle, si è deciso di installare due stazioni meteo dotate delle medesime strumentazioni.

A valle è stata installata a quota 1766 m s.l.m., mentre a monte a quota di 2206 m s.l.m.; i dati impiegati in questa tesi sono quelli della postazione a monte in quanto risulta essere la più vicina al sito oggetto dello studio.



Figura 14: localizzazione stazione di monte

La stazione meteo contiene numerosi sensori, tra i quali un termo-igrometro per l'umidità relativa, un anemometro a tazze per la velocità del vento, un radiometro netto per la radiazione netta e un barometro elettronico per la pressione ambiente.

In questo studio, si è utilizzato il pluviometro riscaldato a bascula poiché si è voluto mettere in correlazione i dati relativi all'umidità del terreno con i dati di pioggia. Questo sensore misura, infatti, le precipitazioni atmosferiche e ha un sistema di riscaldamento che serve per sciogliere e misurare le precipitazioni solide durante i periodi invernali.

Tutti i sensori sono collegati ad un data logger che registra le misurazioni ogni 10 minuti, mentre la raccolta dei dati viene eseguita in campo, manualmente. Per semplicità d'uso e di visualizzazione i dati di pioggia sono stati raggruppati su una scala giornaliera, come rappresentato dal seguente grafico (figura 21).

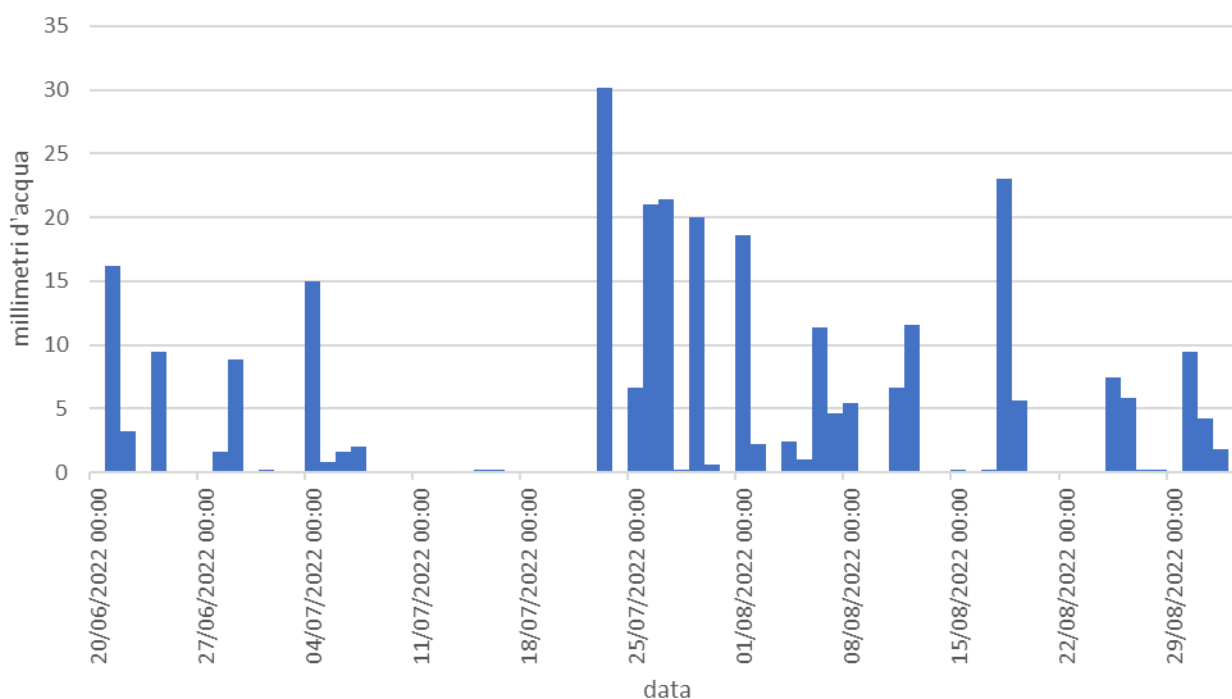


Figura 15: grafico sulle precipitazioni su scala giornaliera

3.5 Tipologie di suolo e vegetazione

Il bacino del Valfredda presenta una grande eterogeneità dei suoli al variare della quota:

- Nella zona oltre i 2400 metri s.l.m. il terreno è composto da depositi di colate detritiche e sporgenze rocciose, che formano le cime a coronamento del bacino. In questa zona la rete di drenaggio non è presente se non per la sporadica attivazione di qualche canale dovuto a

precipitazioni particolarmente intense. Infatti, il terreno roccioso, oltre ad avere un'elevata conducibilità idraulica che consente l'infiltrazione della maggior parte della precipitazione, è probabilmente caratterizzato da fenomeni di carsismo dovuti a fratturazioni del *bedrock*.

- Tra i 2000 e i 2400 metri s.l.m. è presente uno strato di terreno più spesso che copre la roccia sedimentaria. Questo substrato di "materiale fino" permette la radicazione e, quindi, la presenza di pascoli alpini.



Figura 16: esempio di roccia sedimentaria ricoperta da substrato di terreno

- Sotto i 2000 m s.l.m. tra i pascoli iniziano a crescere i primi larici che, scendendo di quota, si infittiscono fino a creare un denso bosco di abeti e larici. In questa zona il suolo è composto da depositi morenici più fini che diminuiscono la conducibilità idraulica del terreno rendendo il terreno meno permeabile. La rete di drenaggio, quindi, diventa molto attiva a queste quote.

- Nella parte centrale del bacino, ad est, si trova una particolare zona formata da *flysch* con gessi che, in seguito alla dissoluzione di quest'ultimi, hanno creato dei calanchi responsabili di frane e instabilità dei pendii. Questo terreno, molto permeabile e instabile, riesce ad ospitare il pino mugo e alcuni piccoli arbusti che, non crescendo molto in altezza, riescono ad aggrapparsi con le radici alla matrice ghiaiosa del terreno.

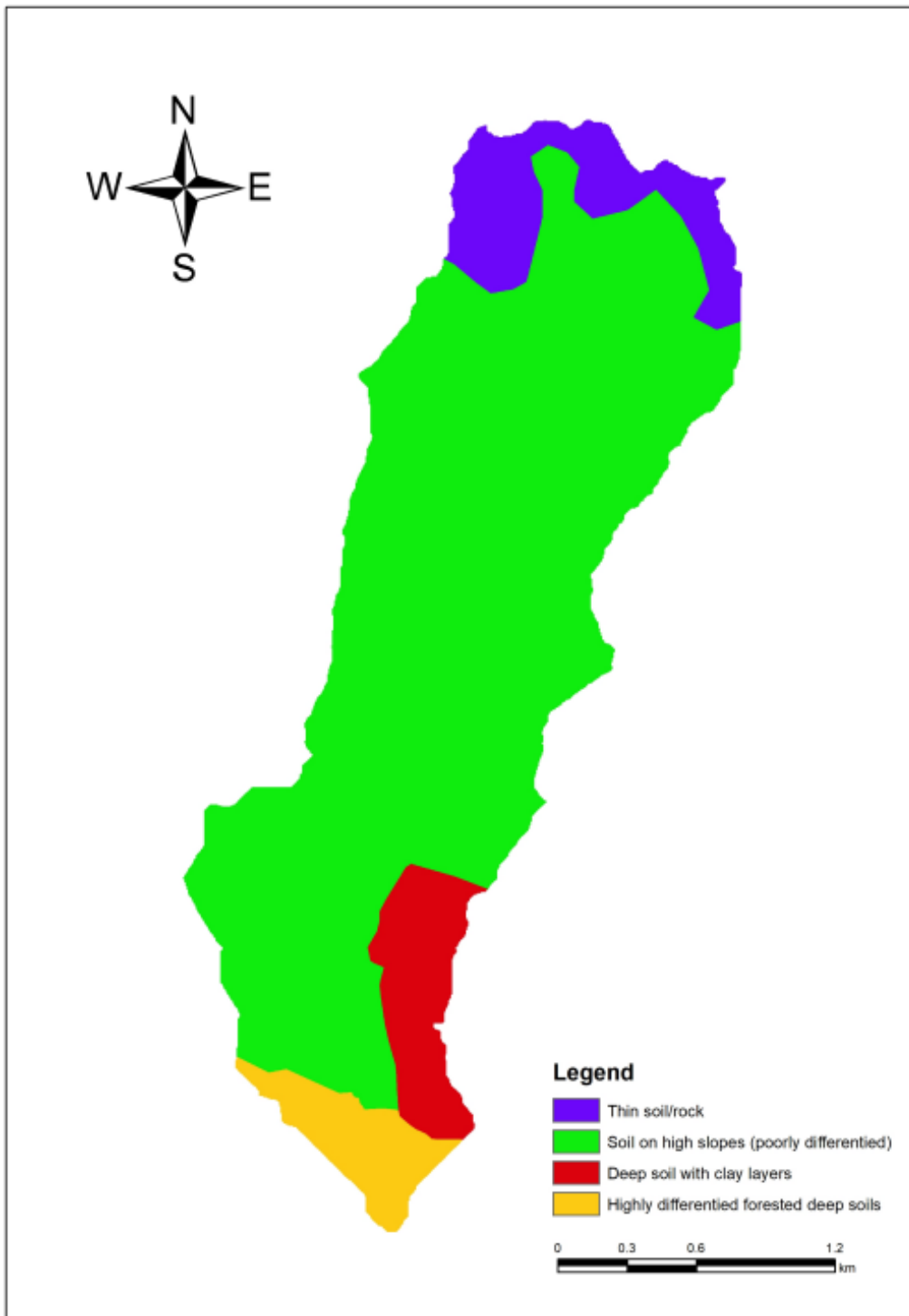


Figura 17: mappa dei suoli del Valfredda

4. RISULTATI

4.1 Posizionamento delle sonde

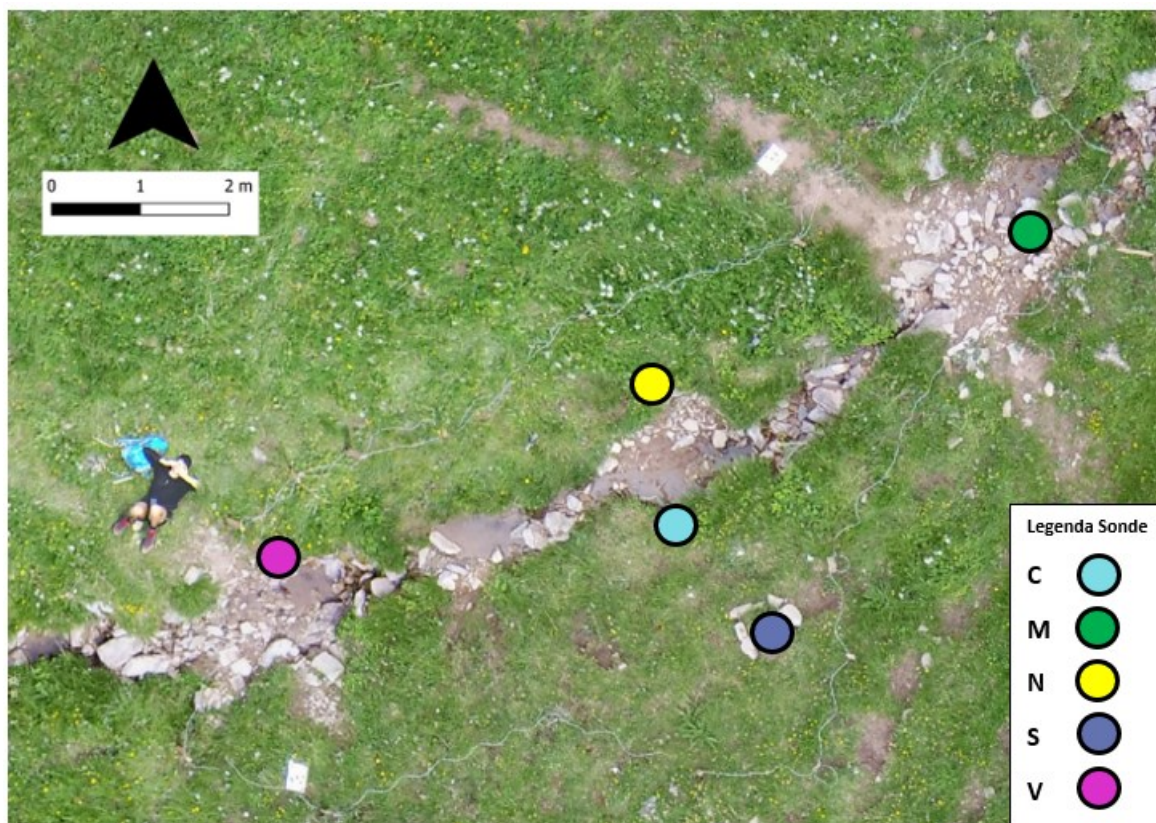


Figura 18: localizzazione delle sonde per l'umidità del suolo

Il sito di interesse si trova lungo l'affluente 1 del bacino del Valfredda, tra una quota di 2121 m s.l.m. della sonda M e i 2117 m s.l.m. della sonda V. Le sonde M, C e V sono state posizionate nell'alveo del canale e sono quelle che più affiorano dal terreno a causa della morfologia del suolo. Le sonde N e S sono state, invece, collocate nelle zone d'erba che costeggiano l'affluente e sono quelle installate più profondamente nel terreno.

4.2 Analisi del contenuto d'acqua del suolo

4.2.1 Sonda M

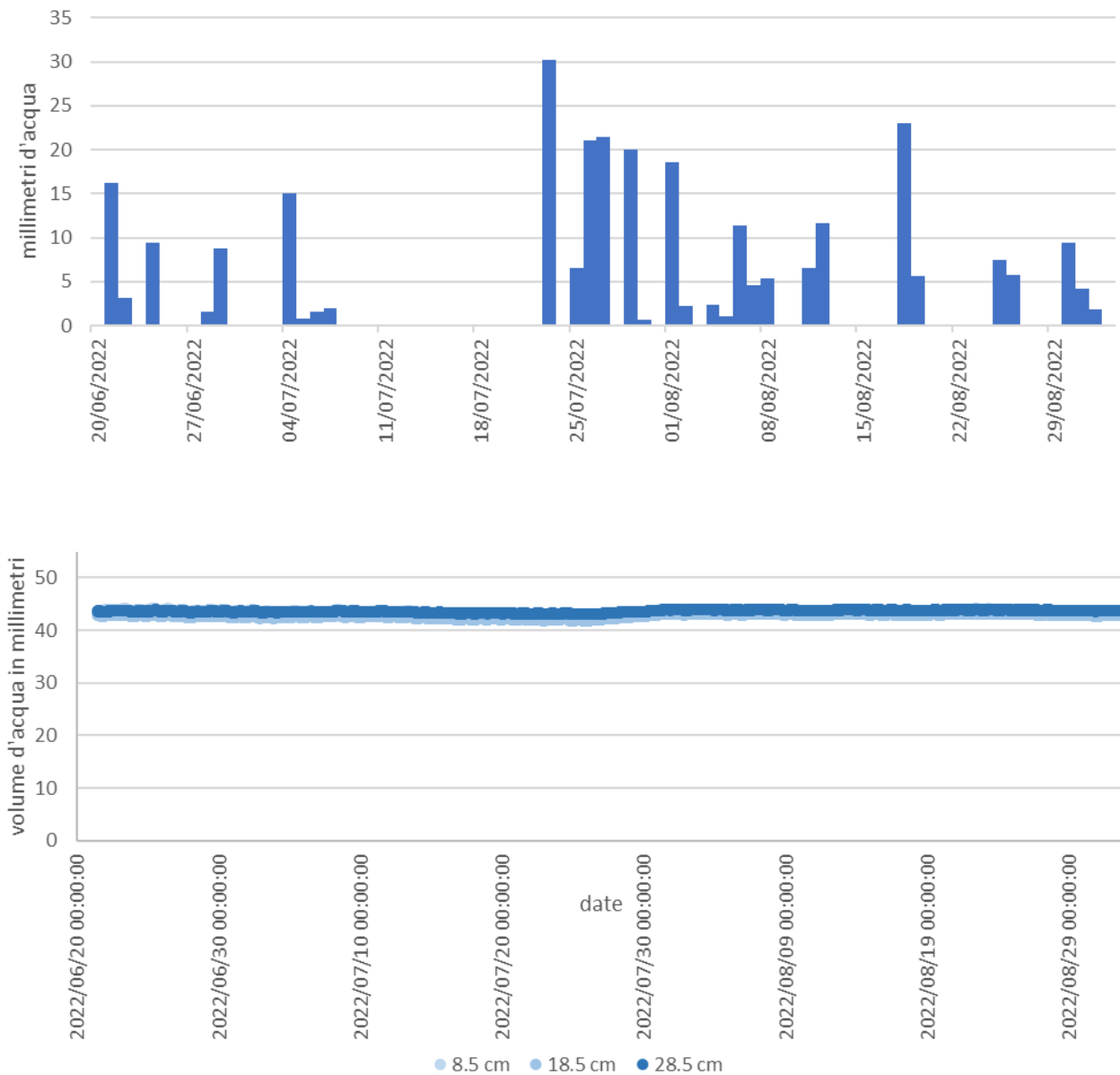


Figura 19: precipitazioni e andamento temporale dei dati raccolti dalla sonda M

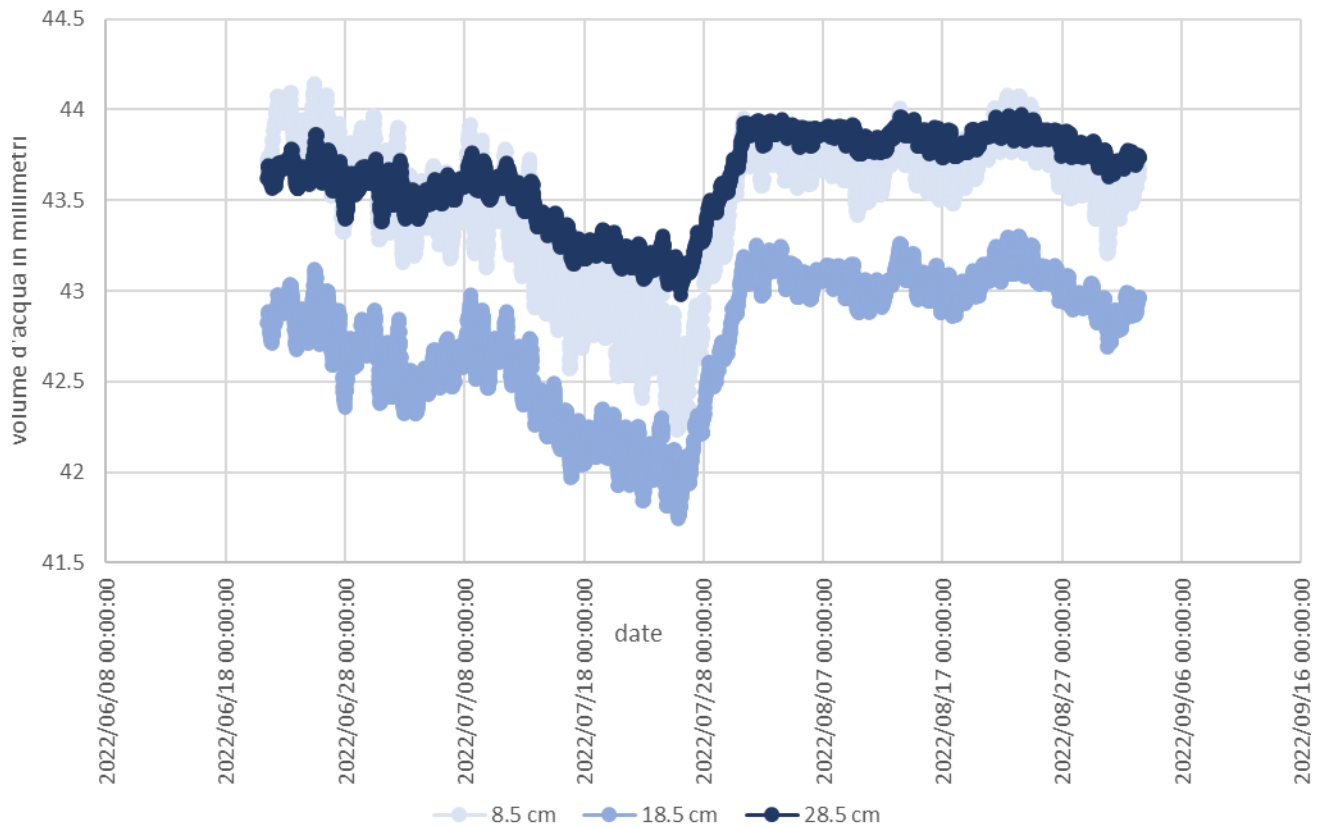


Figura 20: andamento temporale dei dati raccolti dalla sonda M su un range di ordinate più ristretto

Osservando nel dettaglio i dati sull'andamento dell'umidità si può notare come per tutte e cinque le sonde il contenuto d'acqua sia un valore fluttuante e si rileva come questa continua variazione, nonostante cambi di intensità, abbia dei cicli giornalieri. Il fenomeno può essere associato all'evapotraspirazione che avviene maggiormente durante le ore più calde.

Nel seguente grafico (figura 21), si nota come il valore d'acqua diminuisca durante il giorno per arrivare ad un valore minimo nelle ore serali, mentre si ricarica durante la notte per arrivare ad un valore massimo nelle ore mattutine.

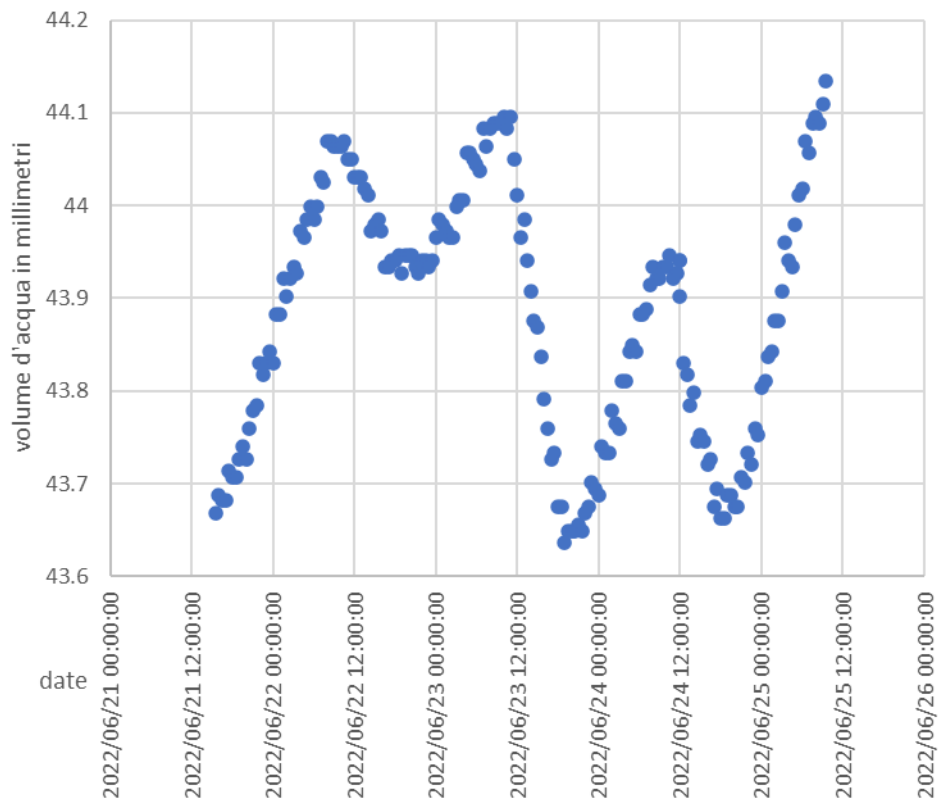


Figura 21: andamento umidità su scala temporale ridotta per il sensore ad una profondità minore

Inoltre, se si osserva il grafico sull'andamento temporale dei dati raccolti su un range di ordinate più ristretto (figura 20) si può notare, oltre ai cicli giornalieri, come la fluttuazione sia più accentuata per il sensore ad 8.5 cm, per diminuire man mano con la profondità. Questo perché la traspirazione coinvolge l'apparato radicale, che è maggiormente presente negli strati più superficiali.

Essendo il range di valori abbastanza omogeneo per tutte e tre le serie di profondità (figura 19) è difficile stabilire con esattezza quale sia il valore di porosità del terreno e, quindi, comprendere quando si sia raggiunta la saturazione. Questa omogeneità potrebbe essere dovuta al fatto che la sonda M è inserita più delle altre vicino al flusso idrico dell'affluente 1. Infatti, il dato che dovrebbe maggiormente influenzare il contenuto d'acqua sono le precipitazioni, ma la presenza di un canale potrebbe aumentarne l'inerzia, ossia la resistenza alle variazioni. Un'ipotesi che si

può avanzare è che, essendo nelle vicinanze di un corso d'acqua, l'omogeneità del valore umidità sia causata dal fatto che tutti e tre i sensori sono in una condizione vicina alla saturazione. In tal caso la porosità della prima e terza fascia di terreno sarebbe di circa 0,44, mentre per la seconda di circa 0,43.

Confrontando il grafico sull'andamento dell'umidità su ordinate ristrette (figura 20) con quello delle precipitazioni (figura 19) si evince che nel primo periodo che va dal 21 giugno al 7 luglio le piogge sono state abbastanza costanti e uniformi e il contenuto d'acqua medio giornaliero è rimasto pressoché invariato. Con il successivo periodo di siccità che va dal 7 luglio al 21 luglio il volume d'acqua è diminuito leggermente a tutte le profondità per poi ritornare a crescere con il ritorno delle precipitazioni. L'ultimo periodo, che ingloba tutto agosto, vede il ritorno alla costanza sia per le piogge che per l'umidità del suolo.

Proseguendo con l'analisi, si può osservare come non ci sia né un progressivo aumento dell'umidità con il crescere della profondità né, al contrario, una progressiva diminuzione dell'umidità scendendo con la profondità. Queste correlazioni torneranno spesso nei grafici delle altre sonde, ma, in questo caso si nota come il valore minimo di acqua appartenga al sensore a 18.5 cm, ovvero quello intermedio, mentre quello massimo si alterna tra il sensore a 4.5 cm e quello a 24.5 cm di profondità.

Infine, si osserva che, così come per i cicli giornalieri dovuti all'evapotraspirazione, il gradiente verticale del contenuto d'acqua nel terreno è maggiore per gli strati superiori e minore per quelli inferiori.

4.2.2 Sonda C

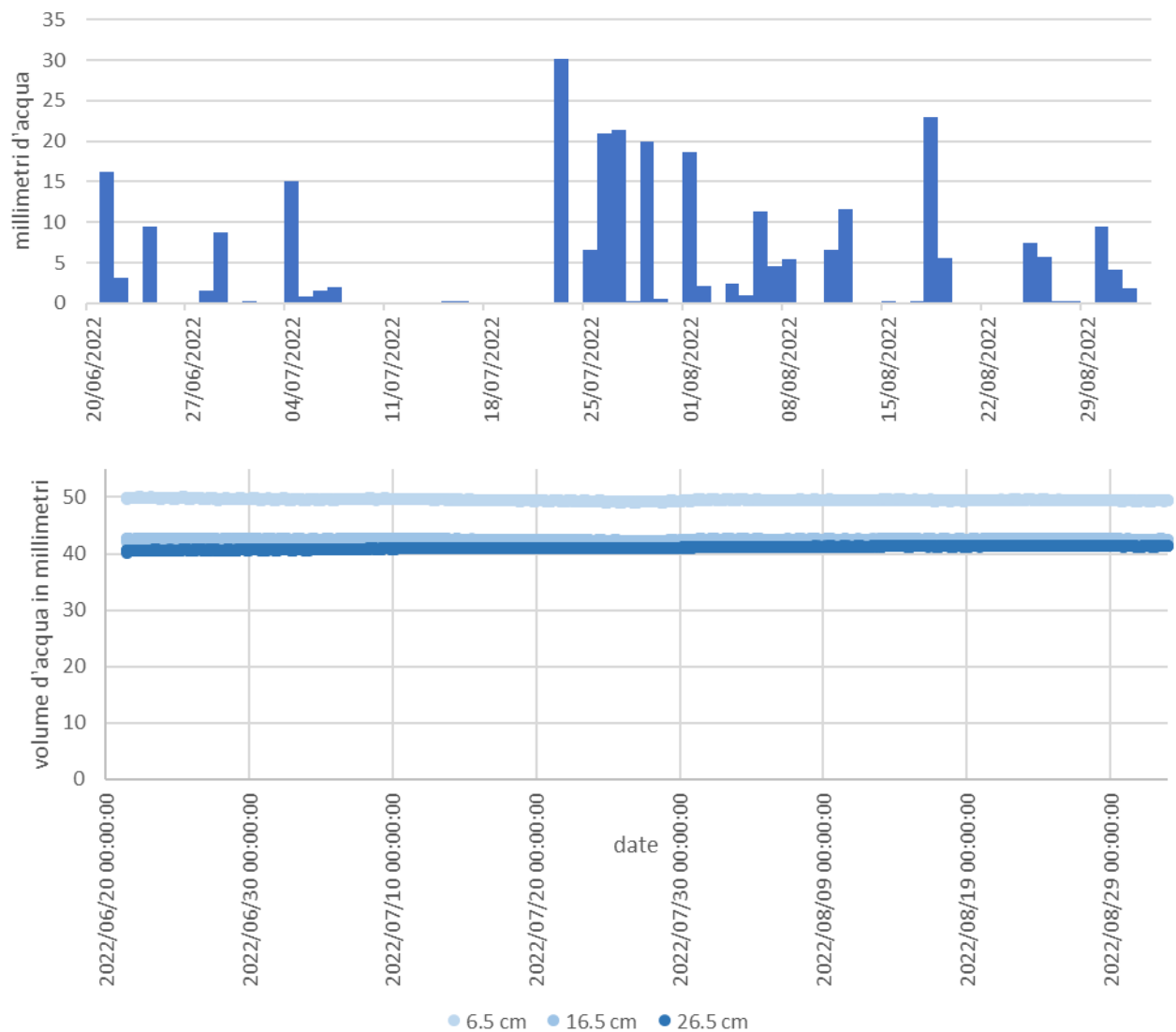


Figura 22: precipitazioni e andamento temporale dei dati raccolti dalla sonda C

Per quanto riguarda la sonda C, e la correlazione tra il contenuto d'acqua e le precipitazioni, si può notare come i primi due strati siano leggermente influenzati dal periodo di siccità presente dal 4 al 23 luglio. Al contrario, lo strato più profondo non risente, come atteso, delle variazioni di piogge.

Così come per la sonda M, il contenuto d'acqua medio giornaliero rimane per lo più costante per tutto il periodo di misurazione. Tale fatto può essere imputato alla posizione della sonda che

è stata installata nelle immediate vicinanze dell'*affluente 1*. Come visto in precedenza, il flusso d'acqua potrebbe aumentare la resistenza alle variazioni di contenuto d'acqua.

Così come per la sonda M, si può supporre che l'omogeneità di tali valori sia dovuta alla saturazione del terreno a causa della vicinanza al corso d'acqua. In questo caso, il valore di saturazione del primo strato di terreno sarebbe di circa 0.50, ossia il grado più alto registrato tra tutti i sensori delle cinque sonde.

Per la sonda C si osserva regolarità tra il contenuto d'acqua e la profondità per tutto l'arco delle misurazioni. Infatti, come si evince dal seguente grafico (figura 23), il volume d'acqua in millimetri diminuisce progressivamente con l'aumentare della profondità. Questo può essere imputato alla vicinanza del corso d'acqua che influenza il contenuto d'acqua negli strati superficiali, mantenendo un livello prossimo alla saturazione.

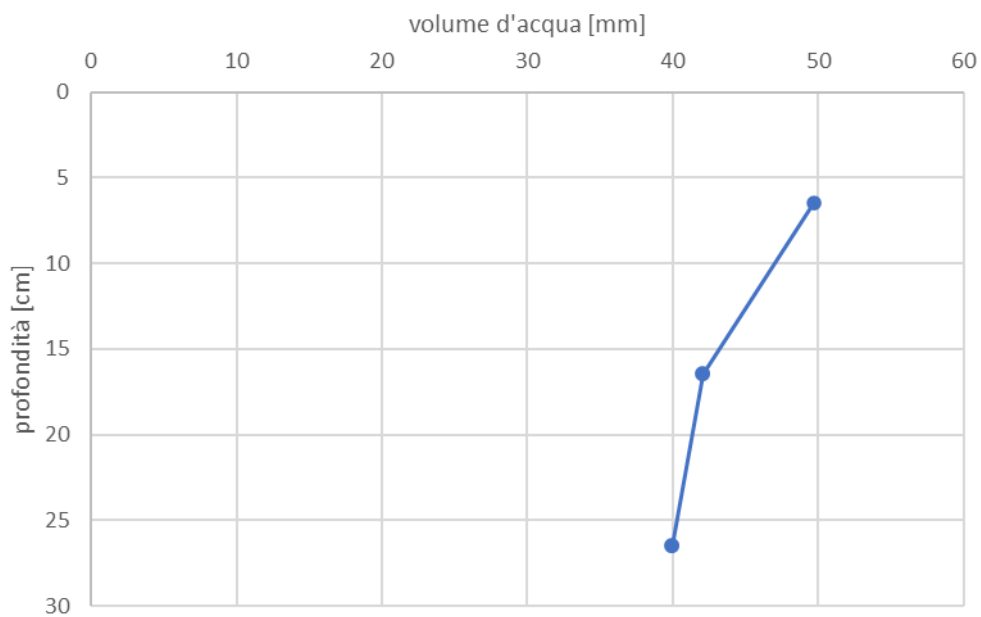


Figura 23: profilo umidità 21/6/22 11:30 per la sonda C

4.2.3 Sonda V

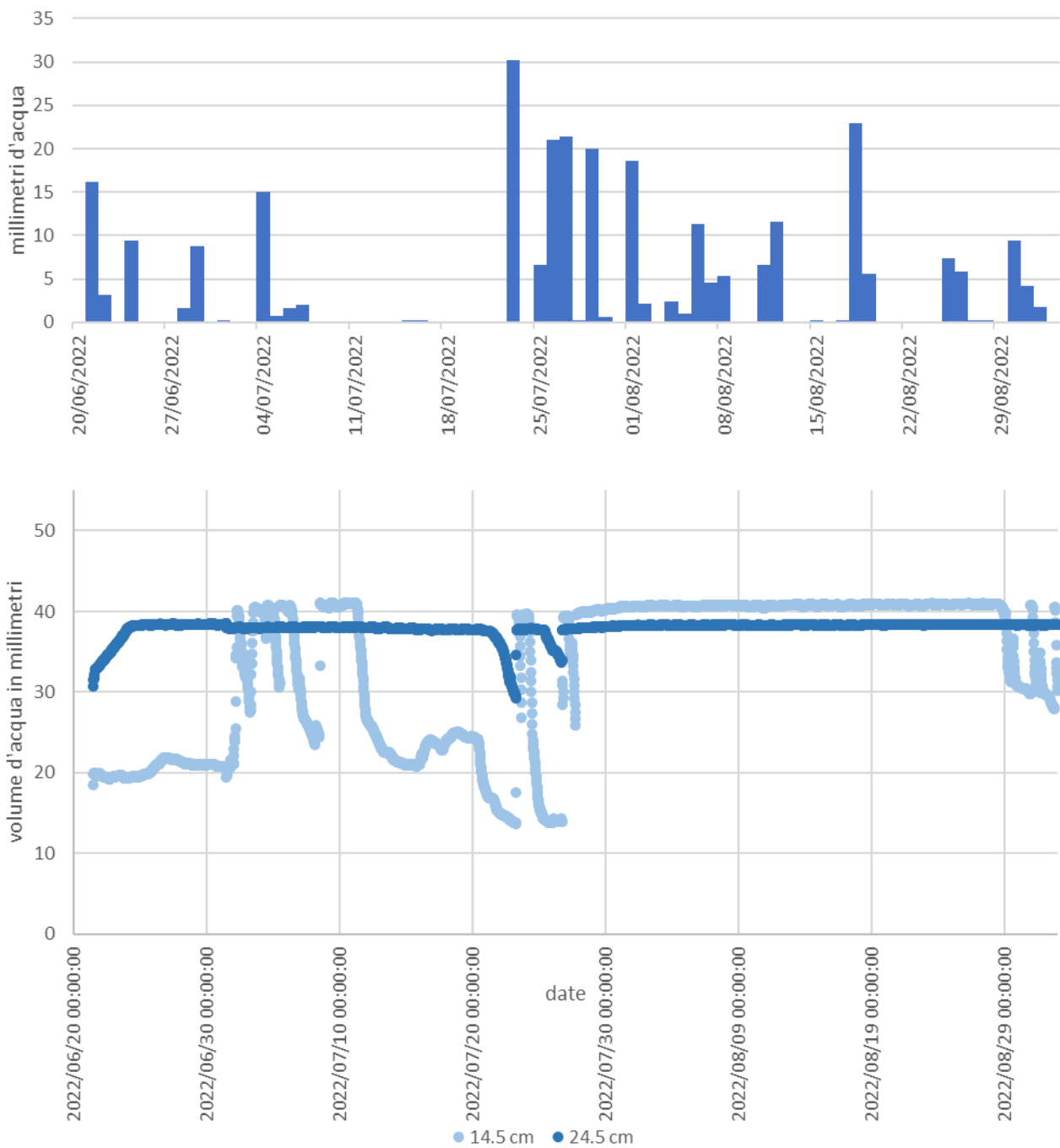


Figura 24: precipitazioni e andamento temporale dei dati raccolti dalla sonda V

Dal grafico riportato nella Fig.24 si può notare come l'andamento dell'umidità risente delle precipitazioni. Infatti, una diminuzione dei volumi d'acqua corrisponde al periodo di siccità.

Nonostante il sensore a 14 cm di profondità non misuri due picchi veri e propri, si osserva come il valore del contenuto d'acqua, che varia notevolmente, si assesti più volte su un valore massimo di circa 41 millimetri. Anche in questo caso si può supporre che quel valore sia la saturazione e che, quindi, la porosità sia pari a 0,41. Per la seconda fascia, essendo l'andamento abbastanza uniforme, se non si considera il periodo di siccità, si può ipotizzare, come per le prime due sonde, che l'omogeneità sia imputabile alla raggiunta saturazione dello strato di terreno.

Nonostante la sonda V sia installata in prossimità del terreno, il grafico, con grandi variazioni di umidità, richiama maggiormente l'andamento dei grafici che si vedranno più avanti delle sonde N e S, posizionate fuori dall'alveo *dell'affluente 1*. Questo potrebbe essere dovuto al fatto che la sonda V sia stata installata un po' fuori dall'alveo, su una porzione di pendio appena al di sopra del canale. Questo spiegherebbe anche la costanza del contenuto d'acqua della seconda fascia di terreno, che sarebbe influenzata dalla presenza *dell'affluente 1* appunto presente ad una quota inferiore rispetto alla sonda.

Infine, come è logico aspettarsi, è evidente come la saturazione avvenga prima negli strati più profondi. Infatti, guardando il grafico, si nota come la seconda serie di valori si assesti su un valore massimo costante sempre in anticipo rispetto alla seconda serie.

4.2.4 Sonda S

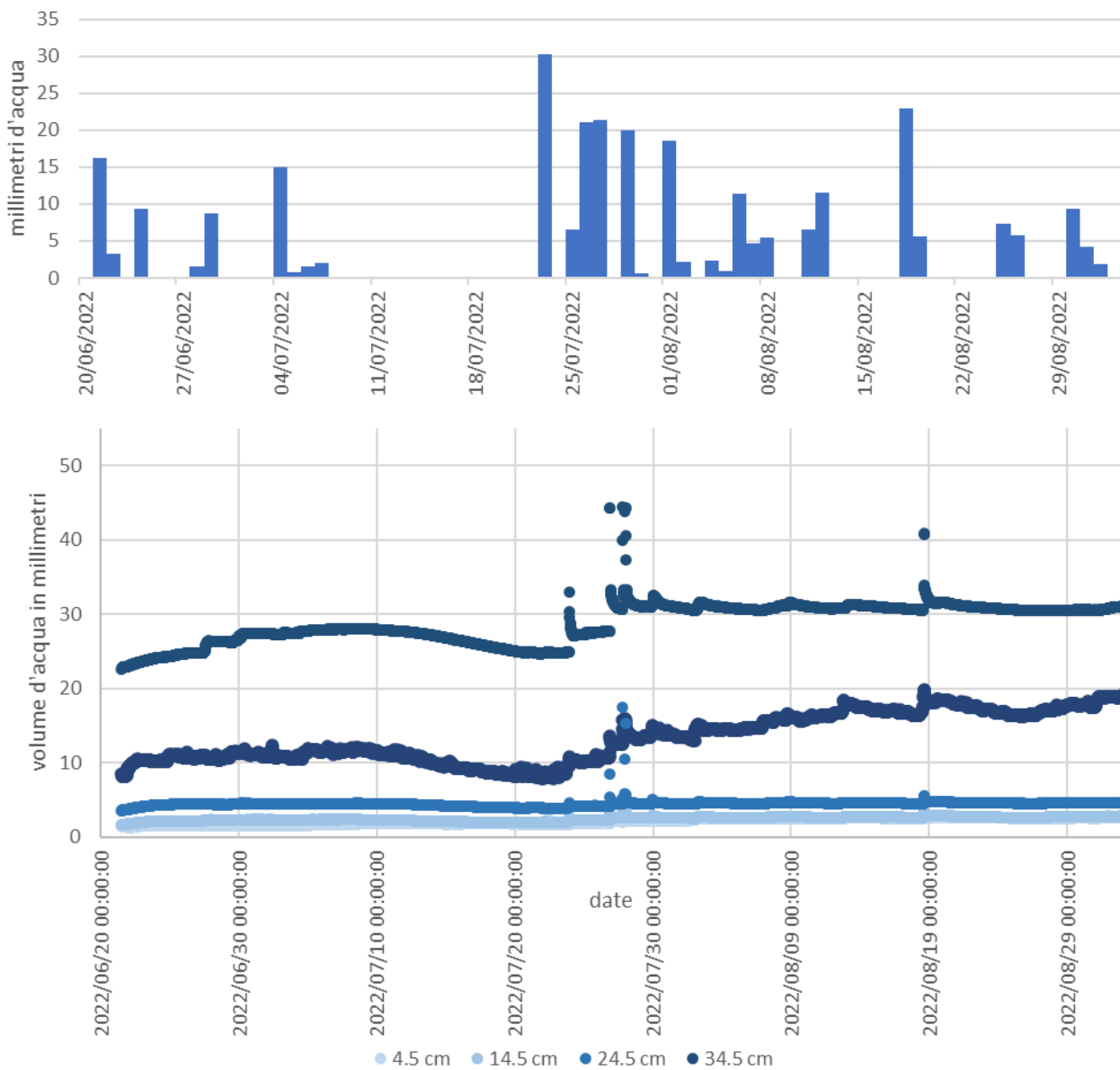


Figura 25: precipitazioni e andamento temporale dei dati raccolti dalla sonda S

Dal grafico sull'andamento temporale dei dati raccolti dalla sonda S (figura 25) si può osservare un legame tra il contenuto d'acqua e le precipitazioni. I picchi registrati dal terzo e quarto sensore coincidono con le precipitazioni di fine luglio e con quelle del 18-19 agosto. Inoltre, i sensori posti a 34.5 cm e 24.5 cm riportano una diminuzione del volume d'acqua in corrispondenza del periodo di siccità.

Per lo strato di terreno a 34.5 cm di profondità, avendo due picchi che si assestano all'incirca sullo stesso valore di 44 mm possiamo supporre che tale valore equivalga alla raggiunta saturazione. Questo ragionamento non si può riproporre per la terza fascia in quanto, in primo luogo, è presente solamente un picco, e, in secondo luogo, perché il valore di porosità sarebbe eccessivamente basso in modo inverosimile. Inoltre, l'ipotesi che la costanza del volume d'acqua equivalga alla saturazione non può essere proposta neppure per le prime due fasce di terreno in quanto il valore di porosità risulterebbe anche in questo caso eccessivamente basso.

Osservando il grafico sul profilo dell'umidità (figura 26), si nota come volume d'acqua aumenta con la profondità del terreno. L'andamento è l'esatto contrario di quello che accadeva per la sonda C. In questo caso, il profilo è il risultato dei normali processi di infiltrazione che fanno sì che le acque si accumulino maggiormente negli strati più profondi.

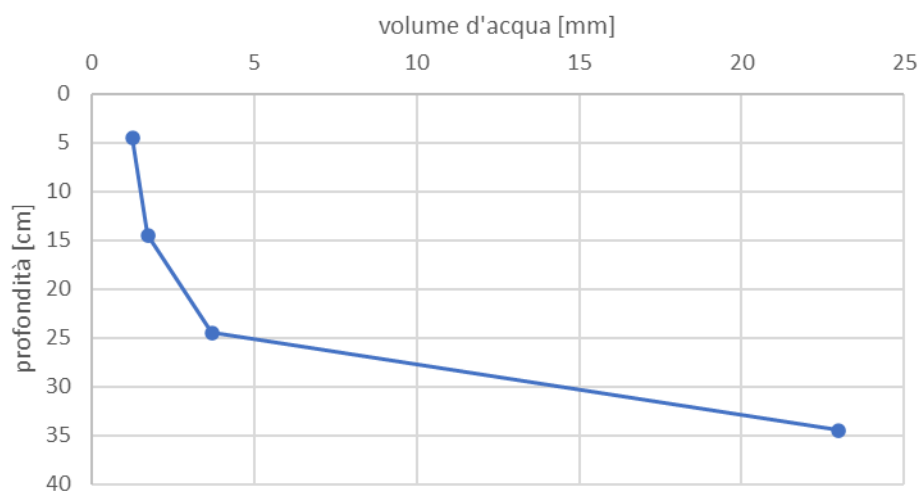


Figura 26: profilo umidità 21/6/22 23:43 per la sonda S

Infine, si può rilevare come il range in cui ricadono i valori del volume d'acqua sia molto maggiore rispetto a quelli misurati dalle sonde M e C. Tale evento può essere riconducibile alla lontananza della sonda S dall'affluente 1, essendo il terreno maggiormente esposto alle variazioni imposte da fattori esterni, come pioggia e siccità

4.2.5 Sonda N

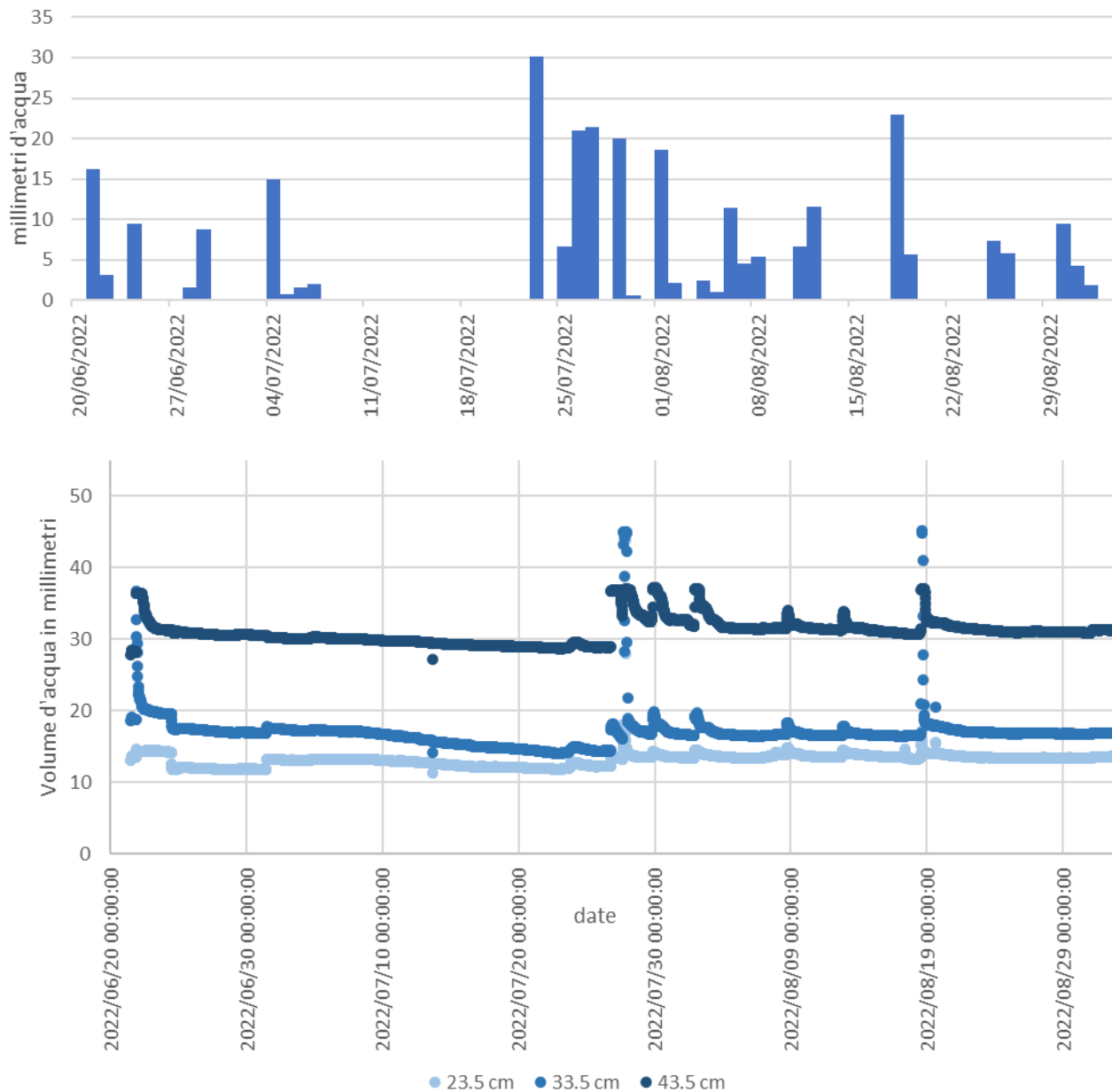


Figura 27: precipitazioni e andamento temporale dei dati raccolti dalla sonda N

L'andamento temporale dei dati raccolti dalla sonda N risulta molto simile a quello già mostrato dalla sonda S. In questo caso, con riferimento al grafico (figura 27), emerge in modo ancora più evidente la corrispondenza tra le piogge di fine luglio e del 18-19 agosto e i picchi del contenuto d'acqua. Si riesce così a ipotizzare una porosità di circa 0.37 per l'ultima fascia e di 0.43 per la

seconda. Evidente per tutti e tre i sensori, invece, la diminuzione di volume d'acqua nel periodo di siccità.

Anche in questo caso la distanza tra la sonda *l'affluente 1* potrebbe essere la causa dell'alta variabilità dei valori di volume d'acqua che sono compresi tra un minimo di circa 12 mm ed un massimo di 45mm. Come per la sonda S, il contenuto d'acqua aumenta con il crescere della profondità, eccetto che per i picchi della seconda fascia che superano i valori massimi della fascia di terreno più profonda. Questo fatto può essere ricondotto ad un grado di porosità maggiore nel terreno a 33.5 cm rispetto a quello a 43.5 cm.

Infine, fatto comune a tutte le sonde, ma evidente soprattutto nella sonda N, si osserva come l'andamento di umidità a diverse profondità sia simile ma sfalsato nel tempo. Infatti, come si può vedere dal seguente grafico sull'andamento temporale del contenuto d'acqua su un intervallo di valori ristretto (figura 28), la variazione avviene sempre prima negli strati meno profondi per poi essere seguita, dopo una certa quantità di tempo, dagli strati più profondi.

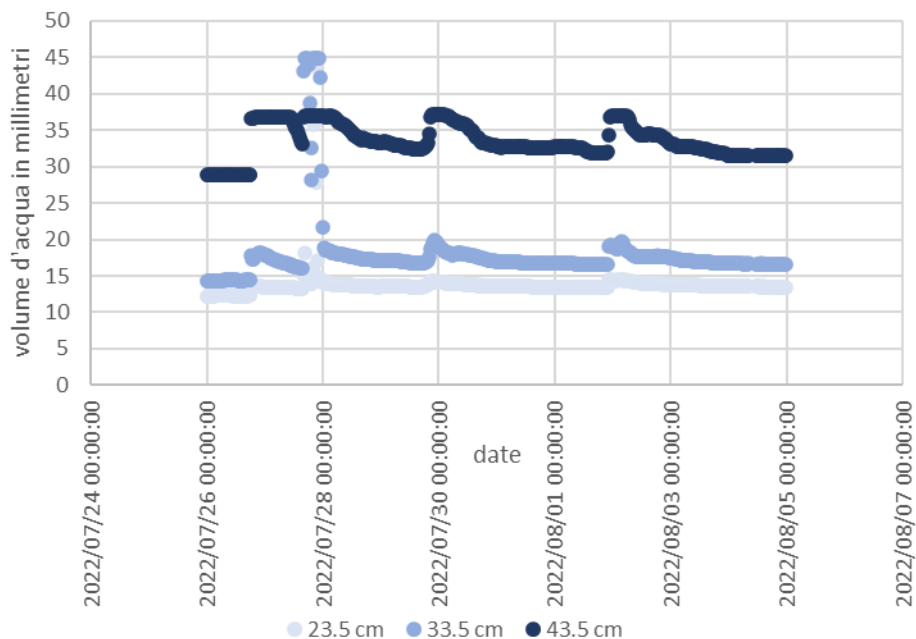


Figura 28: andamento temporale dei dati raccolti su un intervallo di tempo ridotta

5. CONCLUSIONI

Nella presente tesi è stato analizzato l'andamento spazio-temporale di contenuto d'acqua del terreno nelle immediate vicinanze di un corso d'acqua temporaneo. Il risultato del lavoro di analisi ha consentito di formulare le seguenti conclusioni:

- i) la vicinanza ad un canale aumenta l'inerzia del sistema. Infatti, la presenza d'acqua aumenta la resistenza alle variazioni di contenuto d'acqua mantenendo il terreno in condizioni omogenee e vicine alla saturazione;
- ii) le fluttuazioni giornaliere del contenuto d'acqua sono dovute all'evapotraspirazione;
- iii) le fluttuazioni dovute all'evapotraspirazione sono meno intense con l'aumentare della profondità;
- iv) la presenza di più picchi che si assestano sullo stesso valore indicano la raggiunta saturazione. È così possibile risalire alla porosità del terreno;
- v) la porosità del terreno varia per ogni sonda, ma anche tra i vari strati della stessa sonda;
- vi) la saturazione avviene sempre prima negli strati più profondi per poi raggiungere quelli via via più superficiali;
- vii) le variazioni di contenuto d'acqua avvengono prima negli strati superficiali per poi essere seguiti da quelli a maggior profondità;

Da evidenziare, inoltre, la difficoltà che può presentare un lavoro con dati raccolti direttamente "sul campo": nel caso specifico, a causa della morfologia del suolo non è stato possibile inserire completamente le sonde nel terreno comportando la raccolta di dati insignificanti sia da parte dei sensori rimasti all'esterno sia da parte di alcuni sensori prossimi alla superficie.

Infine, estremamente critica è risultata l'attività di scrematura dei dati significativi: i sensori presenti nel sottosuolo hanno fornito dati che presentavano due tipi di errori. Il primo tipo di errore, isolato e casuale, è stato individuato in quanto il dato si discostava notevolmente dai valori precedenti e successivi e, una volta eliminato, non ha inciso sulla veridicità delle altre misurazioni; il secondo tipo, sistematico, è stato riscontrato in particolare nei sensori posti in prossimità della superficie: tale tipo di errore, più difficile da individuare, ha comportato l'eliminazione dell'intera serie di misurazioni.

6. BIBLIOGRAFIA

Alessi Filippi – Tesi di Laurea: Geomorphologic analysis of the dynamical stream network of the Valfredda catchment (BL);

Artuso Andrea – Tesi di Laurea: Modellazione idrologica integrata superficiale-sotterranea del Rio Valfredda;

Calibration Manual For Sentek Soil Moisture Sensors – Sentek technologies

Faccin Alex – Tesi di Laurea: dinamiche spaziotemporali dell'ossigeno e del carbonio organico disciolti nei deflussi del Rio Valfedda

<https://sentektechnologies.com/>

<https://www.appsheet.com/newshortcut/d1a2d32c-deb4-4cab-b245-117ca758a28f>

<https://www.erc-dynet.it/>