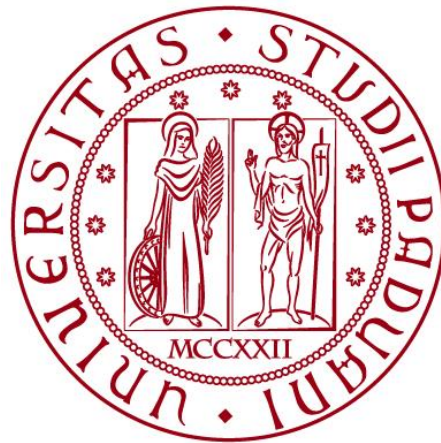


UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, EDILE E AMBIENTALE
Department Of Civil, Environmental and Architectural Engineering

Corso di Laurea in Ingegneria per l'ambiente e il territorio



TESI DI LAUREA

**Ricostruzione delle dinamiche del tirante in alcune
sezioni di un piccolo torrente alpino mediante
l'utilizzo di fototrappole**

Relatore: Chiar.mo Prof. Gianluca Botter
Correlatore: Ing. Nicola Durighetto

Laureanda: Teresa Longato
2013964

ANNO ACCADEMICO 2023-2024

INDICE

ABSTRACT	7
1. INTRODUZIONE	9
2. MATERIALI E METODI	11
2.1 Bacino di studio	11
2.2 Misura del tirante e sezioni critiche	14
2.3 Metodo di analisi delle immagini	19
3. RISULTATI	21
3.1 Criticità della procedura e fonti di incertezza	21
3.2 Analisi delle altezze idrometriche	25
3.2.1 Sezione 1	25
3.2.2 Sezione 6	27
3.2.3 Sezione 2	29
3.2.4 Sezione 3	31
3.2.5 Sezione 4	34
4. CONCLUSIONI	37
5. BIBLIOGRAFIA	38

INDICE FIGURE

<i>Figura 1: Ortofoto del rio Valfredda</i>	11
<i>Figura 2: Pluviometro Palmex Rain Sampler RS-1C</i>	12
<i>Figura 3: Disposizione dei pluviometri nel bacino</i>	13
<i>Figura 4: Fototrappola Robot D30 Bushwhacker</i>	14
<i>Figura 5: Ortofoto del bacino Valfredda con le sezioni di controllo selezionate</i>	15
<i>Figura 6: Disposizione della fototrappola localizzata nella sezione 1</i>	16
<i>Figura 7: Immagine della scatola sezione 6 durante la fase di installazione della fototrappola</i>	17
<i>Figura 8: Immagine della fototrappola posta nella sezione 2</i>	17
<i>Figura 9: Fototrappola localizzata nella sezione 3</i>	18
<i>Figura 10: Immagine della misura trovata nelle unità di Autocad</i>	19
<i>Figura 11: Esempio di misura dello specchio d'acqua ricavata per la sezione 2</i>	20
<i>Figura 12: Esempio della misurazione svolta sulle immagini ricavate dalla sezione 6</i>	20
<i>Figura 13: Sezione 3 con eccessiva esposizione alla luce</i>	21
<i>Figura 14: Sezione 3 con obiettivo della fototrappola bagnato</i>	21
<i>Figura 15: Sezione 3 e sezione 2 con precipitazione nevosa abbondante</i>	22
<i>Figura 16: Sezione 1 e sezione 2 nei mesi in cui è stata rilevata la presenza di ghiaccio</i>	22
<i>Figura 17: Inquadratura della fototrappola nella sezione 3</i>	22
<i>Figura 18: Inquadratura della fototrappola nella sezione 4 dal mese di novembre</i>	23
<i>Figura 19: Inquadratura della fototrappola nella sezione 5</i>	23
<i>Figura 20: Immagine leggermente sfocata della sezione 2</i>	24
<i>Figura 21: Confronto tra le precipitazioni registrate dalla stazione meteo di valle e la variazione del tirante misurata nella sezione 1 (grafico in alto) e tra la temperatura media misurata e la variazione del tirante misurato (grafico in basso). La mancanza di dati in questo caso è riconducibile alla presenza di ghiaccio durante gli intervalli di tempo nei quali la Tmedia risulta negativa.</i>	25
<i>Figura 22: Confronto tra le precipitazioni registrate dalla stazione meteo di valle e la variazione del tirante misurata nella sezione 6 (grafico in alto) e tra la temperatura media misurata e la variazione del tirante misurato (grafico in basso). Come si può notare, la posizione riparata ha portato ad una raccolta dati completa.</i>	27

<i>Figura 23: Confronto tra le precipitazioni registrate dalla stazione meteo di valle e la variazione del tirante misurata nella sezione 2 (grafico in alto) e tra la temperatura media misurata e la variazione del tirante misurato (grafico in basso). La mancanza di dati in questo caso è dovuta alla presenza di una quantità consistente di neve nel condotto.</i>	<i>29</i>
<i>Figura 24: Confronto tra le precipitazioni registrate dalla stazione meteo di valle e la variazione del tirante misurata in sezione 3 (grafico in alto) e tra la temperatura media misurata e la variazione del tirante misurato (grafico in basso). L'intermittenza di dati è data dalle basse temperature registrate che hanno generato la presenza di ghiaccio.</i>	<i>31</i>
<i>Figura 25: Focus sulla situazione nella sezione 3 nel periodo 25/10-05/11.....</i>	<i>33</i>
<i>Figura 26: Confronto tra alcuni dei fotogrammi analizzati tra i giorni 30 e 31 ottobre. Da sinistra: inquadratura della fototrappola nella sezione 3 il giorno 30/10 alle ore 21, il giorno 31/10 alle ore 3 e alle ore 21.</i>	<i>33</i>
<i>Figura 27: Confronto tra le precipitazioni registrate dalla stazione meteo di valle e la variazione del tirante misurata in sezione 4 (grafico in alto) e tra la temperatura media misurata e la variazione del tirante misurato (grafico in basso). La mancanza di dati è causata da un mal posizionamento della fototrappola.....</i>	<i>34</i>

ABSTRACT

Lo studio della variabilità spazio-temporale della portata di un corso d'acqua è di estrema importanza perché ci permette di ricavare informazioni utili alla previsione delle risorse idriche e degli eventi estremi. Tuttavia, misure sperimentali dell'evoluzione temporale della portata e del tirante idrico in diverse sezioni di un reticolo idrografico sono di difficile reperibilità. Nella presente tesi si è approfondito l'uso delle fototrappole per il monitoraggio di sei sezioni idriche del bacino del rio Valfredda, un corso d'acqua montano in provincia di Belluno. Per la raccolta di dati ci si è serviti di alcune fototrappole (modello Robot D30 Bushwhacker) appositamente fissate in ciascuna delle sei sezioni precedentemente selezionate. Come punti di riferimento per la definizione dei tiranti idrici sono stati scelti, in base alla posizione della sezione studiata, dei tasselli laddove fosse possibile fissarli e delle aste ancorate al suolo, nel caso di prati. I brevi video di 5 secondi effettuati dalle fototrappole sono stati registrati ogni sei ore e perciò hanno permesso anche lo studio di variazioni improvvise del tirante verificatesi nell'arco di poche ore. Le difficoltà emerse hanno riguardato principalmente la parte di analisi successiva alla raccolta dati. L'applicazione di fototrappole in campo ha consentito di osservare l'effetto di alcuni eventi di precipitazione locali e di modesta entità con una sufficiente continuità temporale. Le potenzialità di questi strumenti devono essere ancora completamente esplorate ma fin da subito le fototrappole si sono dimostrate affidabili alleati per l'osservazione del comportamento di piccoli corsi d'acqua nel loro ambiente naturale.

1. INTRODUZIONE

Da sempre le risorse idriche sono alla base di gran parte delle attività umane. Tuttavia, il loro valore è direttamente proporzionale alle quantità a noi accessibili. La grande varietà di impiego dell'acqua richiede dunque un'attenta distribuzione delle risorse e che questa sia coerente con le necessità di ciascun utilizzo. Per questo motivo, il monitoraggio e la tutela delle risorse idriche sono di primaria importanza nello sviluppo sostenibile della società moderna.

La portata, ovvero la quantità di acqua transitante per una sezione di controllo in un intervallo di tempo, è un parametro molto importante per la gestione di un bacino idrografico. La sua conoscenza ha lo scopo di delineare la risposta di un corso d'acqua agli eventi meteorici e legare questa al contesto paesaggistico in cui il bacino idrografico è inserito. Per esempio, nel caso di un torrente alpino, la portata è strettamente legata alla stagionalità del clima e alla morfologia del bacino.

Per capire come varia la portata in base all'alveo del corso d'acqua è possibile metterla in relazione con l'altezza idrometrica. Infatti, in una data sezione del corso d'acqua solitamente è più facile misurare non direttamente la portata ma piuttosto l'altezza idrometrica o livello idrometrico, che rappresenta il livello del pelo libero dell'acqua misurato rispetto al fondo dell'alveo o ad una quota nota detta zero idrometrico.

A partire dalla combinazione di questi due parametri si ottiene la scala delle portate, una curva rappresentativa del loro legame. La conoscenza di valori di portata rilevata direttamente in campo è però necessaria alla sua costruzione.

Esistono vari metodi per risalire alla misura del tirante idrico in un corso d'acqua. Il più comune è l'asta idrometrica, un'asta graduata usata per misurare il livello di riferimento che può essere sia verticale che inclinata. La metodologia di misurazione eseguita nell'ambito di questo studio riprende il funzionamento di un'asta idrometrica adattandola al contesto in cui sono state svolte le osservazioni.

Nonostante la variegata disponibilità di strumenti, la conoscenza dell'altezza idrometrica non è sempre scontata perché dipende molto dalle caratteristiche del corso d'acqua studiato. In un contesto alpino, le condizioni in cui ci si trova a lavorare, sono influenzate in modo rilevante dall'ambiente esterno. La raccolta dati, in questi casi, dipende strettamente dagli eventi atmosferici che si verificano e che, molto spesso, condizionano i parametri fisici di interesse per la ricostruzione della scala delle portate quali il flusso idrico e il livello dell'acqua.

Inoltre, la raccolta di informazioni risulta assai complessa in ambienti montani a causa delle difficoltà che si possono riscontrare nell'attività in campo. Per prima cosa, i corsi d'acqua potrebbero non essere accessibili durante tutto l'anno riducendo le possibilità di raccolta dati. In secondo luogo, l'attività di ricerca dipende dalla disponibilità di ricercatori e attrezzature. Per questi motivi non è sempre possibile affidarsi ad una raccolta dati manuale, ma si stanno testando modalità e strumenti installabili direttamente in loco che permettano la raccolta di informazioni in modo continuo.

La soluzione esplorata in questa tesi coinvolge l'uso di fototrappole e può essere considerata la parte preliminare di una ricostruzione della scala delle portate.

L'impiego di fototrappole come strumentazione per monitorare la variazione del tirante di piccoli corsi d'acqua effimeri è in fase di sperimentazione, ma ha già fornito risultati promettenti, soprattutto laddove altre tecnologie non risultano efficaci (Noto et al., 2022). Ulteriori risultati positivi confermerebbero dunque la possibilità che le fototrappole entrino a far parte della cassetta degli attrezzi a disposizione di idrologi e professionisti (Noto et al., 2022).

2. MATERIALI E METODI

2.1 Bacino di studio

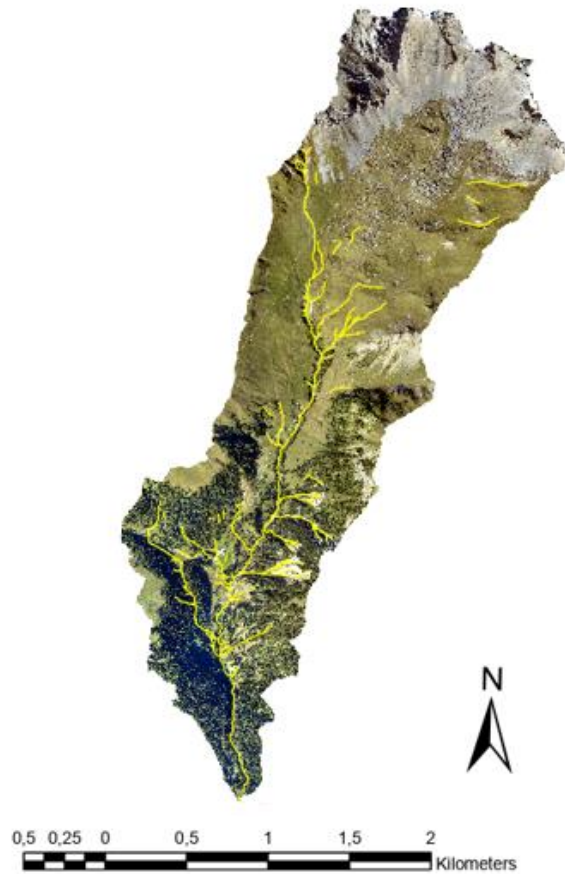


Figura 1: Ortofoto del rio Valfredda

Il bacino oggetto di studio è quello del rio Valfredda, situato nell'alta Val Biois tra le province di Trento e Belluno, vicino al passo San pellegrino, con comune di riferimento Falcade. Si trova ai piedi delle cime del gruppo della Marmolada, ha un'area contribuyente è di 5.3 km² e un'altimetria compresa tra i 1500 m e i 3000 m s.l.m. Il rio Valfredda, che scorre lungo quasi tutta la Valfredda, confluisce nel Biois, il principale affluente del Cordevole, a sua volta tributario del fiume Piave.

La conformazione dell'area è tale per cui vi è una notevole eterogeneità tra monte e valle e che quindi contribuisce a determinare l'attività del reticolo presentando tratti sempre attivi e porzioni che talvolta ospitano un flusso d'acqua e talvolta risultano asciutte.

A monte, il terreno è caratterizzato da depositi di ghiaia e detriti prodotti dall'erosione delle rocce circostanti ed è, per la presenza di pascoli, permeabile. Questa caratteristica comporta

l'infiltrazione di buona parte delle precipitazioni. Nella sua parte più meridionale, invece, il suolo è costituito da roccia sedimentaria e da una consistente presenza di alberi.

Il clima della zona è alpino, con precipitazioni durante tutto il corso dell'anno. In particolare, in inverno predominano precipitazioni di carattere nevoso che generano un manto di neve che persiste fino alla primavera. Le precipitazioni piovose, invece, sono principalmente presenti nel periodo compreso tra maggio e novembre. La stagionalità caratteristica di questo bacino influenza in modo rilevante il ciclo idrogeologico della zona: a elevati deflussi durante il periodo primaverile ed estivo si alternano scarsi flussi tipici del periodo invernale.

Le caratteristiche proprie del clima della zona sono ben evidenziate dai video raccolti. Molti di questi risultano essere penalizzati dal meteo poiché il periodo di osservazione si è concentrato nella seconda parte dell'anno, tra i mesi di ottobre e gennaio.

In media, ogni anno piovono circa 1100 mm di pioggia. I dati relativi alle precipitazioni sono raccolti tramite l'utilizzo di tre pluviometri, installati a tre differenti quote all'interno del bacino. Lo strumento utilizzato è un pluviometro modello Palmex Rain Sampler RS-1C, si compone di un box metallico dove viene raccolto il campione di pioggia con dell'olio di vaselina, per prevenire l'evaporazione di quest'ultimo. L'acqua entra nel box attraverso un imbuto, al di sopra del quale è posta una corona metallica appuntita per evitare danni da parte dei volatili. Inoltre, per impedire l'ingresso di corpi di grandi dimensioni nel box viene utilizzata una retina. In Figura 3 viene mostrata la disposizione dei pluviometri nel bacino del Valfredda. I pluviometri sono denominati A, B e C in base alla loro posizione all'interno del bacino e si trovano rispettivamente presso la stazione meteo di monte, stazione meteo di valle e alla sezione di chiusura.



Figura 2: Pluviometro Palmex Rain Sampler RS-1C

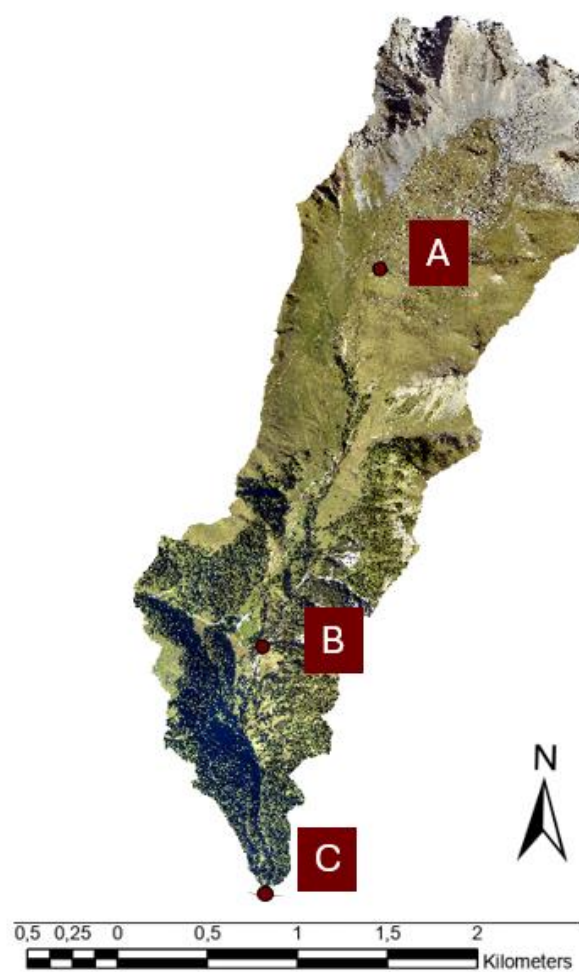


Figura 3: Disposizione dei pluviometri nel bacino

Nel seguente studio vengono considerati i dati di precipitazione raccolti presso la stazione meteo di valle situata alla quota di 1766,13 m e indicata in Figura 3 con la lettera B.

2.2 Misura del tirante e sezioni critiche

Per conoscere l'altezza idrometrica necessaria ai fini della scala delle portate sono state impiegate delle fototrappole Robot D30 della marca Bushwhacker, posizionate in alcune sezioni prescelte e installate in più giorni durante le varie uscite in campo, tra la fine del mese di settembre e l'inizio di ottobre.



Figura 4: Fototrappola Robot D30 Bushwhacker

L'intervallo di tempo intercorso tra la registrazione di un video di cinque secondi e quello successivo è stato impostato a sei ore.

Le sezioni studiate, selezionate in modo che fossero distribuite lungo il rio Valfredda, sono 6; sono state scelte allo scopo di ricostruire in modo completo la scala delle portate e soprattutto di analizzare accuratamente l'influenza degli eventi atmosferici e la sua correlazione con l'ubicazione delle sezioni. A ciascuna di queste, poi, è stato assegnato un numero identificativo per poterle riconoscere con facilità. In Figura 5 è possibile visualizzare la loro disposizione all'interno del bacino.

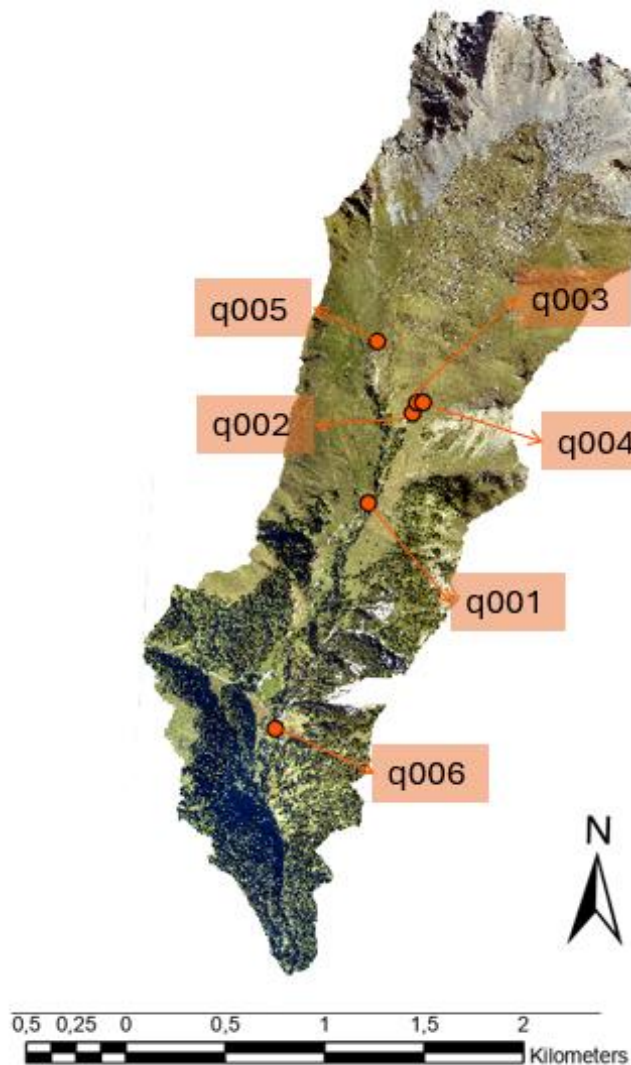


Figura 5: Ortofoto del bacino Valfredda con le sezioni di controllo selezionate

La fototrappola nella sezione 1 (in Figura 5 denominata q001) si trova a valle di un ponticello di legno, lungo il corso d'acqua principale. È fissata ad un albero e nella sua inquadratura viene ripresa una roccia alla quale sono stati fissati due tasselli di riferimento distanti tra loro 23,3 cm. Le problematiche legate a questa posizione si sono risolte direttamente in campo: per esempio, l'esistenza di rami che coprivano la visuale è stata facilmente aggirata tagliando i rami (Figura 6).



Figura 6: Disposizione della fototrappola localizzata nella sezione 1

Durante lo studio le difficoltà riscontrate hanno riguardato esclusivamente l'individuazione dei tiranti durante i mesi invernali a causa della presenza di ghiaccio e neve. La situazione nella sezione 6 (in Figura 5 denominata q006) è analoga alla sezione appena descritta. La fototrappola si trova vicino alla stazione meteo di valle, fissata all'interno dello scatolare del ponte (Figura 7). L'inquadratura è rivolta verso il basso in modo tale da inquadrare le viti fissate come riferimento per la misurazione. La posizione si può definire privilegiata per la mancanza di esposizione diretta agli eventi atmosferici e ciò è sottolineato dalla numerosità di dati raccolti, molto maggiore se confrontata con quella delle altre sezioni. La procedura seguita per ricavare i tiranti è stata la medesima della sezione 1.



Figura 7: Immagine della scatola sezione 6 durante la fase di installazione della fototrappola

La fototrappola nella sezione 2 (in Figura 5 denominata q002) è fissata all'interno di un tubo di scolo ed è orientata in modo tale da riprendere l'uscita del condotto. A causa di questa posizione, al momento della raccolta dati si sono considerati solo i video notturni, in quanto non risentivano dell'esposizione alla luce, eccessiva in quelli diurni. La procedura di stima del tirante è stata più elaborata rispetto alle altre sezioni perché si è ricorsi ad una misurazione indiretta. Come nel caso di altre sezioni analizzate, gli eventi di pioggia e neve e le basse temperature tipiche della stagione invernale hanno influito molto nella raccolta dei dati.



Figura 8: Immagine della fototrappola posta nella sezione 2

Infine, le ultime due sezioni considerate possono essere valutate in parallelo per la loro somiglianza nell'impostazione dell'area di lavoro, di acquisizione dei dati e per la loro vicinanza fisica. Le fototrappole posizionate nelle sezioni 3 e 4 appartengono allo stesso affluente, che converge nella sezione 2 e corrispondono rispettivamente ai rami di sinistra e di destra idrografica (in Figura 5 denominate rispettivamente q003 e q004).

Per la raccolta dati, vista la posizione in campo aperto e la mancanza di rocce di riferimento, sono state fissate due aste di colore bianco e di lunghezza nota, rispettivamente 40cm e 44cm, collocate in modo tale che rientrassero nel campo visivo delle fototrappole. Quest'ultime sono state fissate a dei paletti di metallo a poca distanza dai corsi d'acqua.

Queste fototrappole, trovandosi esposte in mezzo ad un prato, hanno risentito dei fenomeni atmosferici quali abbondanti nevicate e raffiche di vento. Le registrazioni in alcuni momenti sono state di scarsa qualità per i motivi suddetti, oltre alla presenza di umidità all'interno della fotocamera in alcuni giorni.



Figura 9: Fototrappola localizzata nella sezione 3

La sezione 5 (in Figura 5 denominata q005) è stata predisposta in modo simile alle sezioni 1 e 6, fissando due tasselli a distanza nota. Tuttavia, non è stato possibile approfondire la situazione a causa della scarsa qualità delle foto a sua volta generata dalla distanza tra la fototrappola e il corso d'acqua. I problemi riscontrati durante la fase di raccolta dati sono approfonditi nel paragrafo 3.1.

2.3 Metodo di analisi delle immagini

L'elaborazione dei dati raccolti in campo è avvenuta impiegando il software Autocad, per misurare le distanze tra i punti di riferimento e il pelo libero dell'acqua. I valori misurati sono stati successivamente elaborati su Excel.

Per l'elaborazione dei dati dei tiranti è stato necessario selezionare da ciascuno dei video registrati dalle fototrappole dei fotogrammi che fossero rappresentativi del tirante idrico durante il momento in cui il video è stato registrato. In questo modo, è stato possibile analizzare le singole immagini e ricavare da ognuna di esse una misura stimata dell'altezza idrometrica (vedi esempio in Figura 10).

Le misure acquisite da Autocad sono state riportate in Excel e convertite in centimetri mediante delle proporzioni per poter ricavare le altezze idrometriche nella corretta unità di misura.

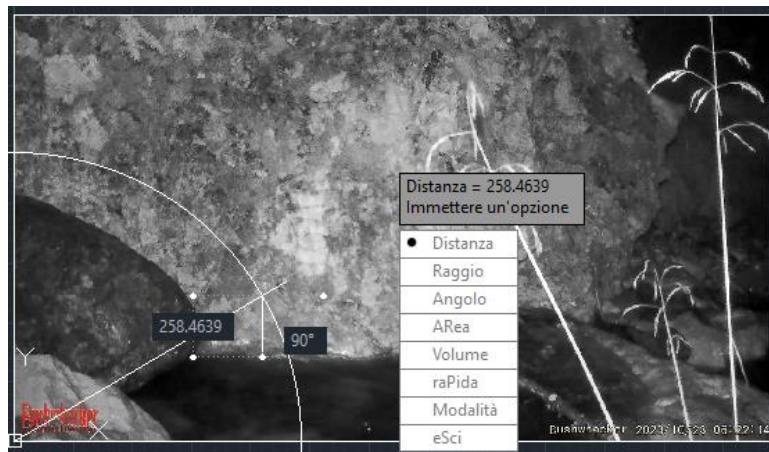


Figura 10: Immagine della misura trovata nelle unità di Autocad

Talvolta, è stato necessario svolgere dei calcoli al fine di stimare il tirante. Per esempio, nei casi delle sezioni 3 e 4 l'altezza idrometrica è stata ricavata per via indiretta, misurando la porzione di asta non immersa in acqua e sottraendo quest'ultima alla lunghezza dell'asta inquadrata dalla fototrappola.

Anche nel caso della sezione 2 il tirante è stato calcolato con delle operazioni algebriche. A partire dalle tabelle di elementi idraulici applicati a condotte circolari è stata ricavata la formula che ha permesso di ricavare l'altezza idrometrica, ovvero:

$$Y = \frac{D}{2} \left(1 \pm \sqrt{\left(1 - \frac{b^2}{D^2} \right)} \right)$$

dove b è larghezza dello specchio dell'acqua misurata (Figura 11) e D il diametro del condotto.



Figura 11: Esempio di misura dello specchio d'acqua ricavata per la sezione 2

Nelle sezioni 1 e 6, invece, la stima dei tiranti si è basata sul confronto con la posizione nota di alcune viti fissate durante le uscite in campo (Figure 10 e 12). La misurazione è avvenuta direttamente, ricavando la distanza dal tassello superiore al pelo libero e sottraendo il valore ottenuto alla distanza dal tassello superiore al fondo.

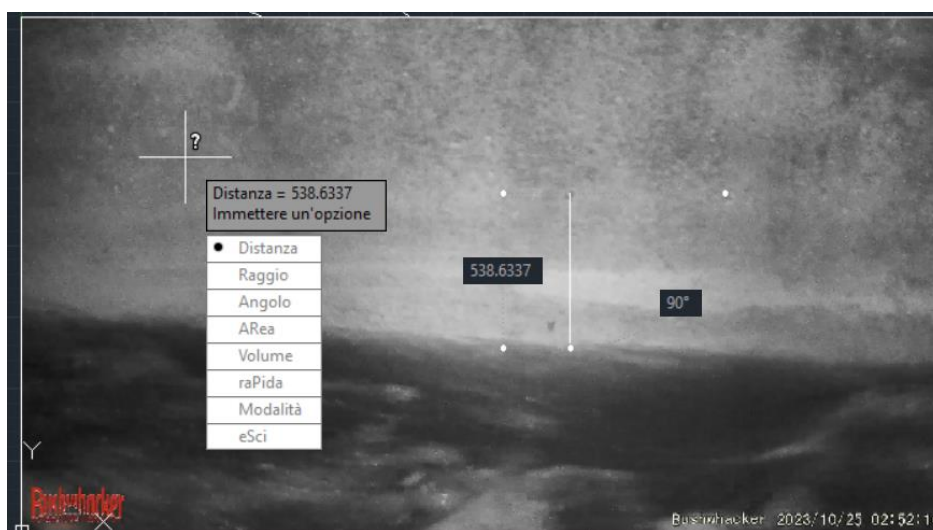


Figura 12: Esempio della misurazione svolta sulle immagini ricavate dalla sezione 6

3. RISULTATI

3.1 Criticità della procedura e fonti di incertezza

La raccolta dati si estende da 28/09/2023 al 05/01/2024. Durante il periodo di riferimento la raccolta dati presenta delle interruzioni a causa di alcune criticità riscontrate in campo.

Inoltre, non tutte le fototrappole sono state installate lo stesso giorno; perciò, la durata delle serie temporali raccolta non risulta uniforme fra tutte le sezioni.

Di seguito, vengono descritte le complicazioni riscontrate durante la fase di raccolta dei dati.

In Figura 13 è mostrata un'immagine relativa alla sezione 3, dove è evidente che l'eccessiva esposizione alla luce impedisce l'individuazione del pelo libero.



Figura 13: Sezione 3 con eccessiva esposizione alla luce

Durante alcuni eventi di precipitazione, l'obiettivo della fototrappola risultava bagnato, rendendo molto sfuocata l'immagine acquisita (Figura 14).



Figura 14: Sezione 3 con obiettivo della fototrappola bagnato

Nel caso di precipitazione nevosa, non è stato possibile misurare l'altezza idrometrica a causa dell'assenza di flusso (Figura 15)



Figura 15: Sezione 3 e sezione 2 con precipitazione nevosa abbondante

In Figura 16 vengono mostrate le sezioni 1 e 2 con la presenza di ghiaccio. Anche questo fenomeno ha causato l'impossibilità di misurazione del tirante.



Figura 16: Sezione 1 e sezione 2 nei mesi in cui è stata rilevata la presenza di ghiaccio

Al momento dell'analisi dei video delle sezioni 3 e 4 si sono riscontrate delle difficoltà per il fatto che l'inclinazione delle fototrappole tagliava una parte dell'asta di riferimento rendendo così più incerta la stima del tirante (Figura 17).



Figura 17: Inquadratura della fototrappola nella sezione 3

Inoltre, nel caso della sezione 4, durante il mese di novembre la fototrappola non ha ripreso la superficie dell'acqua e, di conseguenza, ha impedito la stima dell'altezza idrometrica.



Figura 18: Inquadratura della fototrappola nella sezione 4 dal mese di novembre

Infine, la fototrappola collocata nella sezione 5 è posizionata troppo distante dall'obiettivo, motivo per cui i punti di riferimento fissati non sono ben visibili.



Figura 19: Inquadratura della fototrappola nella sezione 5

Durante la fase di analisi è possibile che le misurazioni siano state caratterizzate da alcune imprecisioni. Infatti, tali misurazioni sono state effettuate tramite la funzione “Misura”, un comando che permette una rilevazione precisa ma allo stesso tempo è subordinata all'accuratezza di chi ha svolto le rilevazioni. Anche la scarsa nitidezza delle immagini ha influito in parte sui risultati. È il caso, per esempio, della fototrappola installata in sezione 2 (Figura 20).



Figura 20: Immagine leggermente sfocata della sezione 2

Inoltre, al momento della rilevazione dei tiranti si sono dovute applicare delle approssimazioni riguardanti la stabilità delle fototrappole. Infatti, l'analisi si è basata sull'assunzione che le fototrappole non si siano mosse significativamente nel tempo in modo che gli zeri di riferimento dei tiranti siano rimasti gli stessi per tutta la durata della campagna di misura. Si è assunta poi una profondità del fondo costante, escludendo dai calcoli un eventuale trasporto solido che avrebbe variato la forma dell'alveo nelle sezioni di riferimento.

3.2 Analisi delle altezze idrometriche

Questa sezione analizza gli andamenti temporali delle altezze idrometriche.

3.2.1 Sezione 1

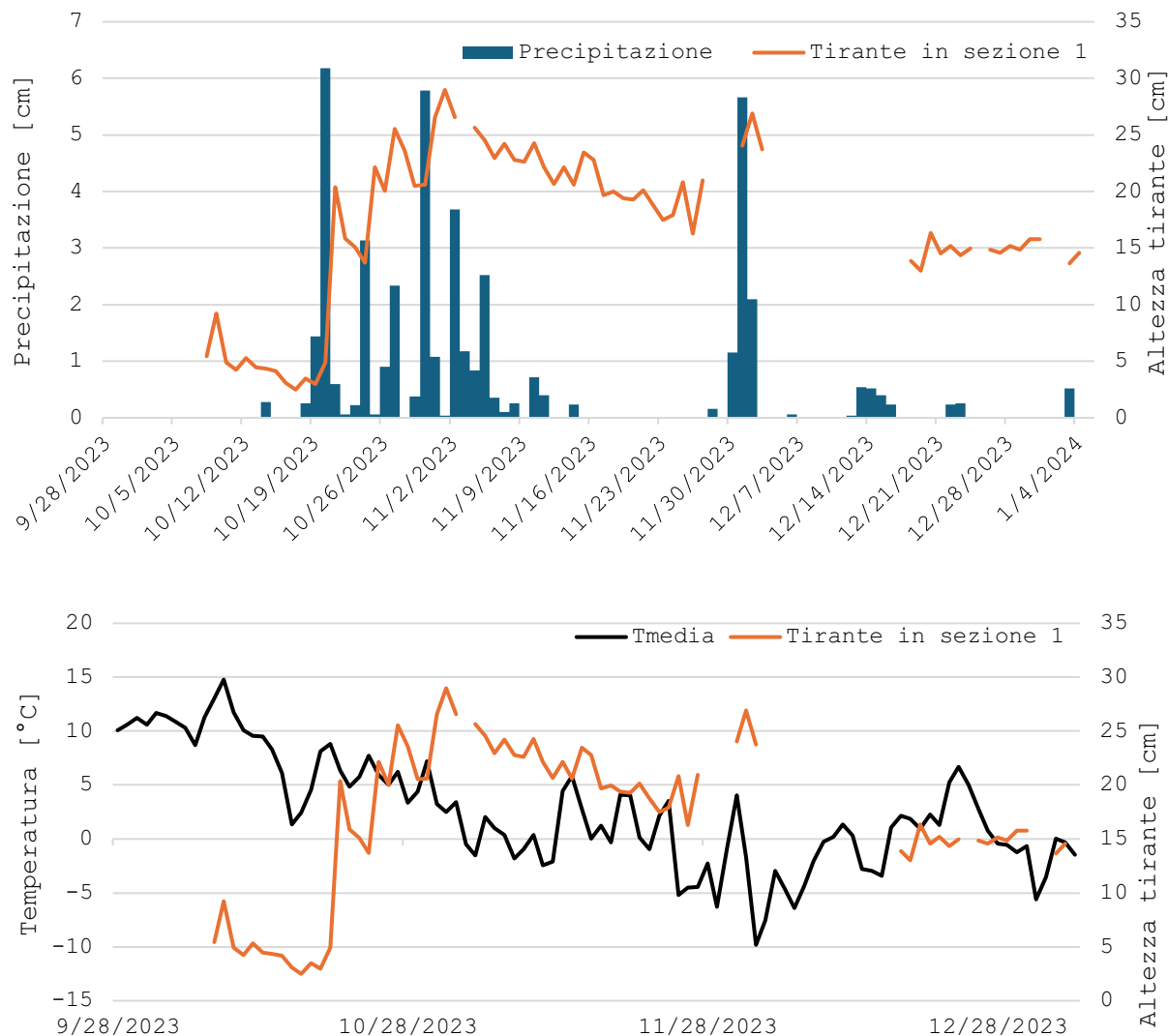


Figura 21: Confronto tra le precipitazioni registrate dalla stazione meteo di valle e la variazione del tirante misurata nella sezione 1 (grafico in alto) e tra la temperatura media misurata e la variazione del tirante misurato (grafico in basso). La mancanza di dati in questo caso è riconducibile alla presenza di ghiaccio durante gli intervalli di tempo nei quali la Tmedia risulta negativa.

In Figura 21 viene mostrato l'andamento del tirante idrico relativo alla sezione 1. In primis, si nota che nel mese di dicembre non è stato possibile rilevare i dati in modo continuo, a causa dell'abbassamento della temperatura che ha comportato la formazione di ghiaccio nella sezione 1. Nonostante la scarsa continuità temporale dei dati si nota un incremento del tirante durante

gli eventi registrati fra 19 e 21/10, quando la cumulata delle precipitazioni piovute ha causato un aumento dell'altezza idrometrica di circa 17,4 cm, e dopo gli eventi che si sono verificati fra 29 e 31/10. Il giorno 01/11, ovvero il giorno successivo a quello di conclusione dell'evento, il livello dell'acqua nella sezione 1 raggiunge la sua altezza massima in tutto il periodo di studio (28,98 cm). I valori registrati nei giorni 1, 2 e 3/12 sono la conseguenza diretta dell'aumento delle temperature. Tra i giorni 30/11 e 1/12, infatti, vi è un incremento della temperatura media di circa 3°C che comporta lo scioglimento di una parte del ghiaccio formatosi nei cinque giorni precedenti (25-30/11). Si notano anche delle fluttuazioni del tirante a scala più piccola, probabilmente legate ad errori di interpretazione.

3.2.2 Sezione 6

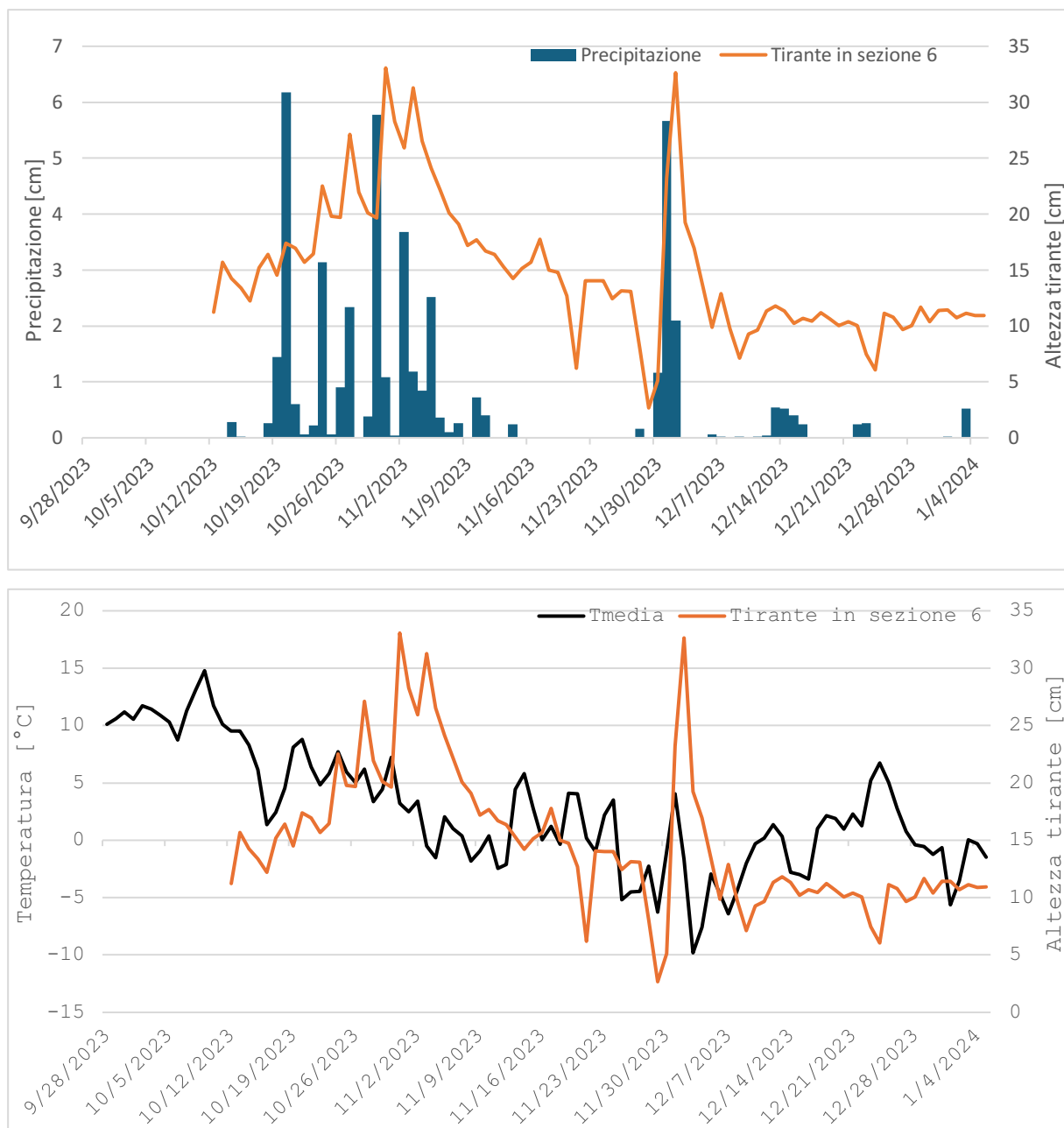


Figura 22: Confronto tra le precipitazioni registrate dalla stazione meteo di valle e la variazione del tirante misurata nella sezione 6 (grafico in alto) e tra la temperatura media misurata e la variazione del tirante misurato (grafico in basso). Come si può notare, la posizione riparata ha portato ad una raccolta dati completa.

La situazione nella sezione 6 permette un'analisi più ampia del periodo di osservazione per la posizione privilegiata di questa sezione.

Si noti come verso la fine del mese di ottobre sono distribuiti numerosi eventi di precipitazione, durante i quali il bacino ha ricevuto un input di pioggia in forma liquida, come confermato dalle

temperature registrate nel periodo. Questi, verificatisi in successione a partire dal giorno 29/10, hanno prodotto un'onda di piena che si è mossa da monte verso valle determinando un delay temporale fra i momenti in cui il tirante aumenta nelle diverse posizioni analizzate, con un ritardo associato alle sezioni poste più a valle.

Possiamo dunque affermare che la temperatura è indirettamente il principale driver (elemento chiave) delle variazioni del livello idrometrico. Per esempio, fra i giorni 21 e 23/11 non si sono verificati eventi di precipitazione, eppure, come è possibile osservare dalla Figura 22 (grafico in alto), l'altezza idrometrica aumenta in modo improvviso. Questo fenomeno può essere spiegato facilmente dalla Figura 22 (grafico in basso) che mette in relazione la temperatura media con l'altezza del tirante. La temperatura media, soprattutto quando questa risale sopra lo zero successivamente ad eventi nevosi (e.g. nel giorno 1/12), comporta lo scioglimento della precipitazione nevosa piovuta nelle settimane antecedenti.

3.2.3 Sezione 2

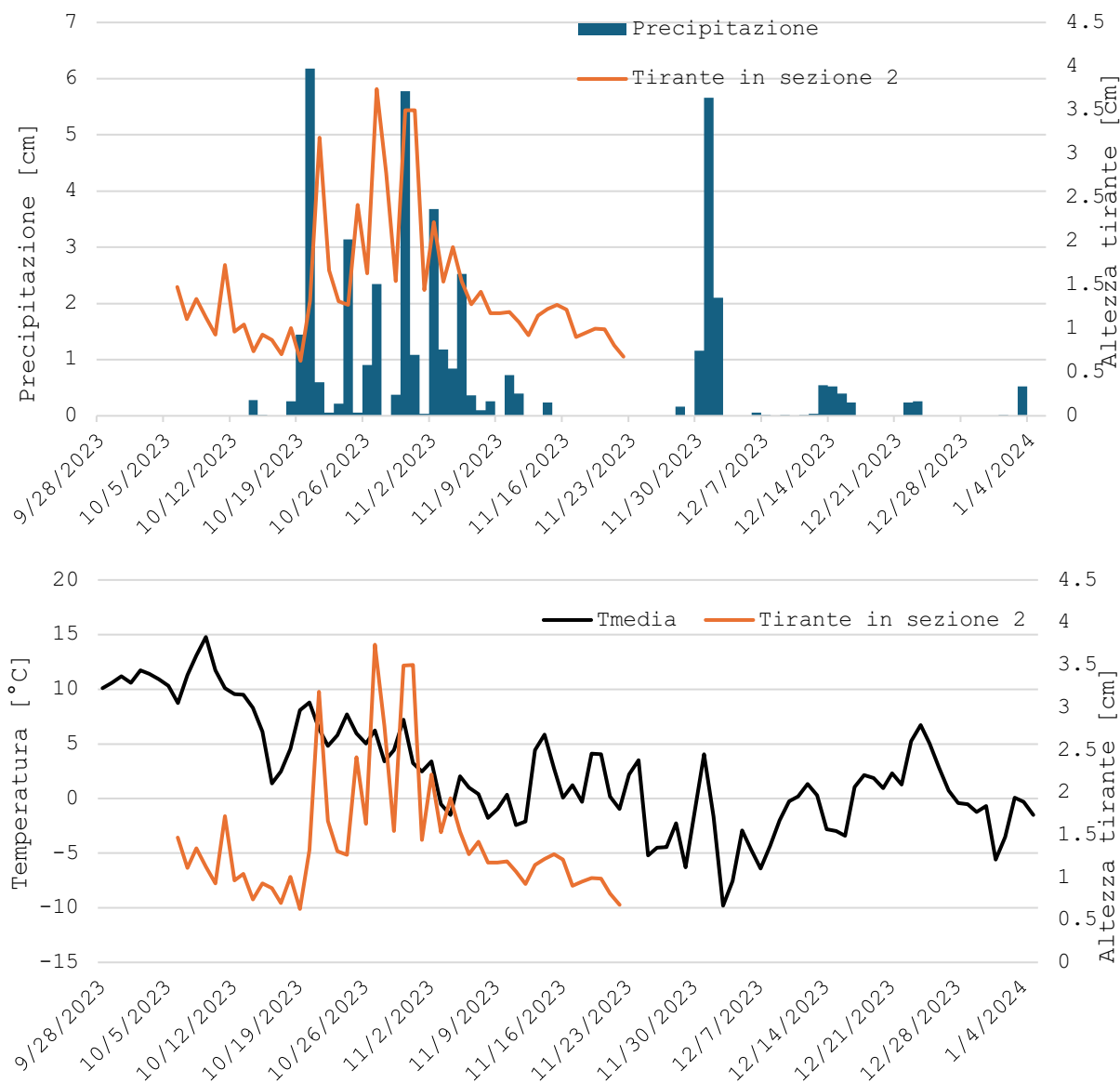


Figura 23: Confronto tra le precipitazioni registrate dalla stazione meteo di valle e la variazione del tirante misurato nella sezione 2 (grafico in alto) e tra la temperatura media misurata e la variazione del tirante misurato (grafico in basso). La mancanza di dati in questo caso è dovuta alla presenza di una quantità consistente di neve nel condotto.

La sezione 2 è stata osservata più o meno fino alla fine del mese di novembre, quando la temperatura media aveva un valore di circa 5°C. Questa sezione è stata soggetta ad un'elevata incertezza nella ricostruzione, che ha prodotto numerosi dati anomali. Per esempio, il giorno 27/10 è stato misurato un tirante idrico molto grande se confrontato con quelli misurati nelle sezioni 3 e 4, localizzate solo una decina di metri più in alto ed entrambe confluenti nella

sezione 2. Ciononostante, l'analisi dei dati ha consentito di risalire a delle misure utili per comprendere l'andamento generale dell'altezza idrometrica nella sezione 2.

A differenza della sezione 6, le fluttuazioni riscontrate in questa sezione sono strettamente correlate agli eventi di precipitazione. Ciò è visibile in Figura 23: l'oscillazione del tirante è presente finchè si verificano eventi di pioggia (grafico in alto). Successivamente, con l'abbassamento delle temperature tipico della stagione invernale, le precipitazioni nevose e il ghiaccio hanno ostruito la parte del condotto dove transitava l'acqua, impedendo in modo permanente la rilevazione dell'altezza idrometrica nel tubo.

3.2.4 Sezione 3

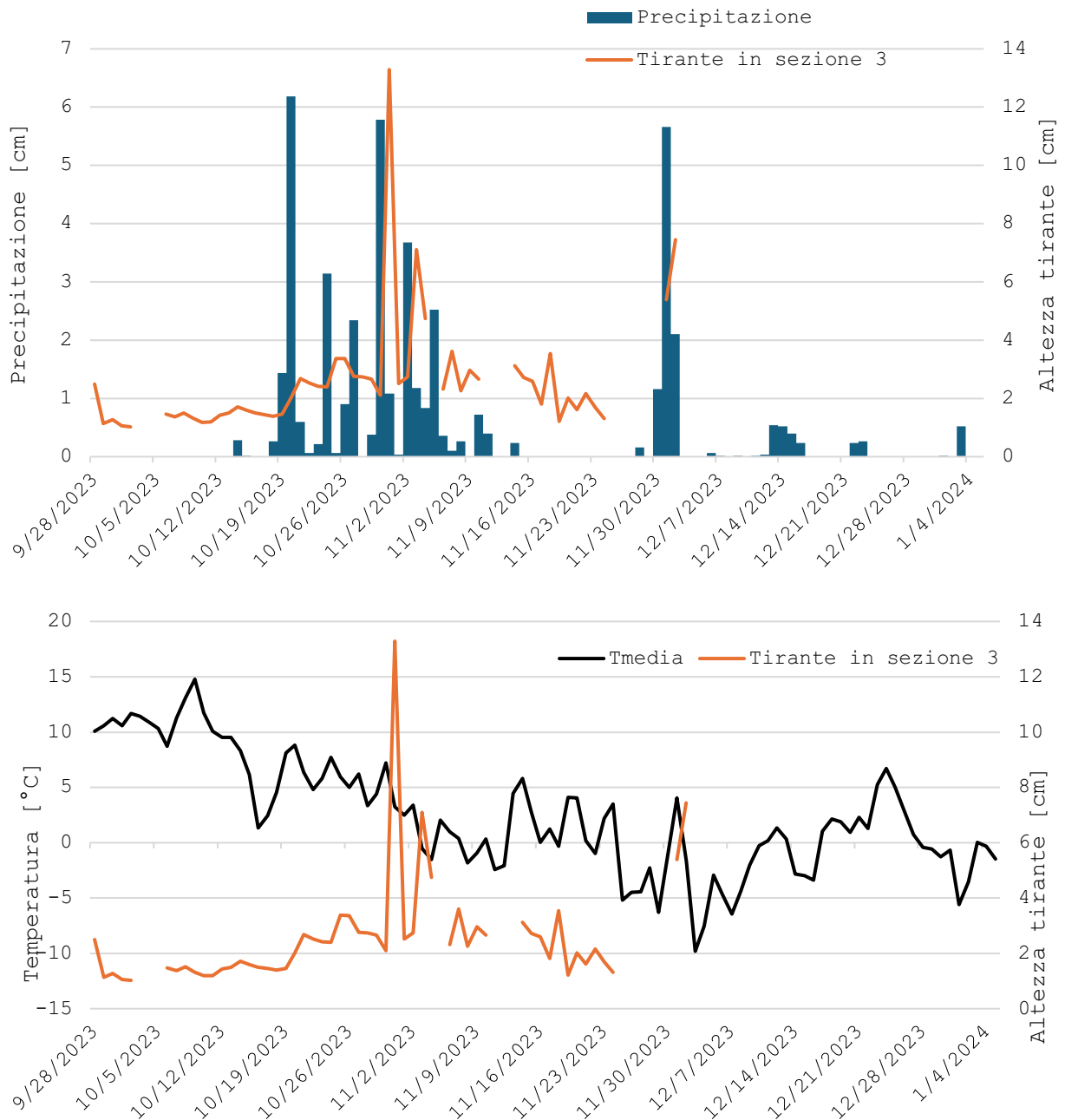


Figura 24: Confronto tra le precipitazioni registrate dalla stazione meteo di valle e la variazione del tirante misurata in sezione 3 (grafico in alto) e tra la temperatura media misurata e la variazione del tirante misurato (grafico in basso). L'intermittenza di dati è data dalle basse temperature registrate che hanno generato la presenza di ghiaccio.

Il caso della fototrappola posizionata nella sezione 3 risulta particolarmente interessante. Nell'arco temporale che va dal giorno 16/11 al giorno 24/11 si può notare la completa assenza di precipitazioni in Figura 25 (grafico in alto), ma un incremento nell'altezza del tirante. Inoltre,

confrontando l'altezza idrometrica con la temperatura, risulta difficile collegare questo fatto al rialzo della temperatura media. Poiché quest'ultima non è scesa significativamente sotto lo zero negli stessi giorni (16-24/11), il ghiaccio antecedente risulterebbe essersi sciolto all'inizio della settimana e non durante il periodo osservato. Una possibile spiegazione di questo fenomeno è riconducibile alla differenza di altitudine esistente tra la stazione meteo di valle che raccoglie i dati di precipitazione e la sezione ripresa dalla fototrappola nella sezione 3. La prima è situata a 1766m s.l.m., la seconda si trova a 2073m s.l.m.. Essendo l'aumento del tirante limitato, l'evento può essere associato ad una variabilità spaziale della pioggia per cui le precipitazioni verificatesi sono state circoscritte alla parte alta del bacino. L'andamento fluttuante del livello idrometrico rispecchia bene l'andamento temporale altrettanto variabile delle temperature. Quando queste hanno valori negativi, il flusso d'acqua cessa di scorrere perché coperto di ghiaccio e quindi anche il tirante sarà nullo. Al contrario, quando la temperatura media assume valori positivi, il tirante ne risente a causa dello scioglimento delle precipitazioni nevose e del ghiaccio accumulati nel bacino.

3.2.4 Sezione 3

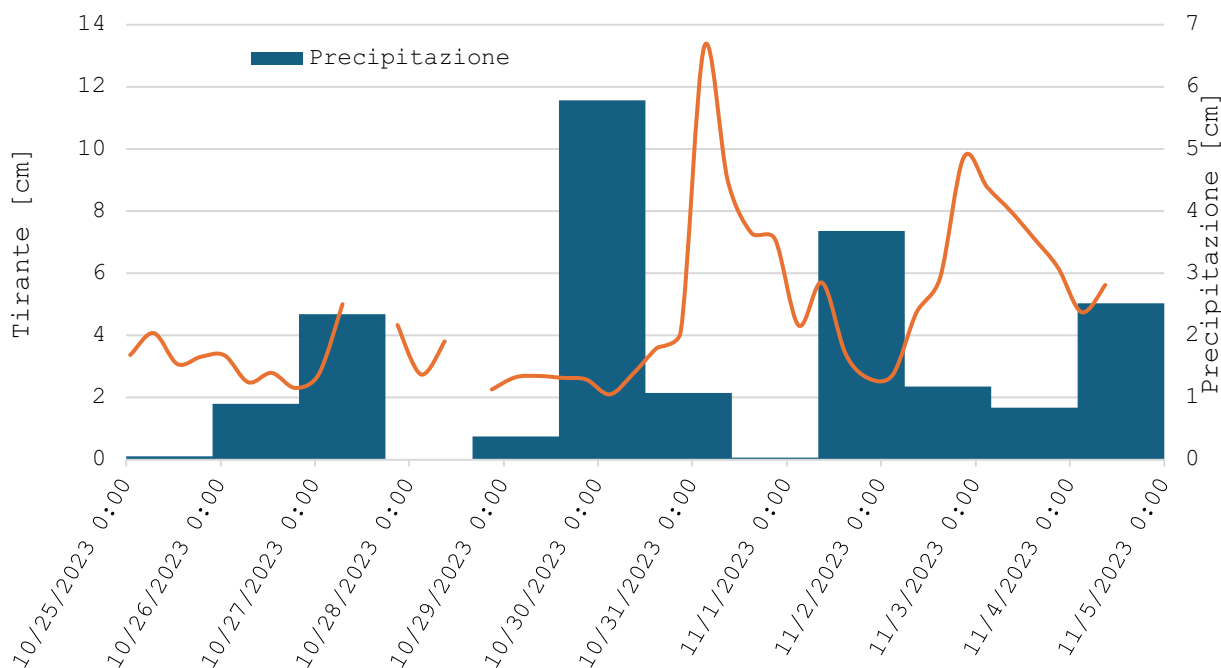


Figura 25: Focus sulla situazione nella sezione 3 nel periodo 25/10-05/11

Per evidenziare in modo completo la relazione esistente tra gli eventi di pioggia e l'altezza idrometrica e sottolineare la variabilità temporale del tirante, si propone uno zoom del periodo 25/10 e il 5/11.

In particolare, l'evento più significativo si è verificato tra i giorni 30-31/10, dove si può osservare un incremento del tirante fino a 13,29 cm, seguito da un rapido calo di 4,32 cm nell'arco di 6 ore (Figura 26). La causa di questa differenza nelle altezze idrometriche si può attribuire oltre che alle precipitazioni anche alle caratteristiche fisiche dell'alveo dell'affluente considerato: la larghezza ridotta della sezione (15 cm) risente maggiormente delle variazioni di portata, anche se minime.



Figura 26: Confronto tra alcuni dei fotogrammi analizzati tra i giorni 30 e 31 ottobre. Inquadratura della fototrappola nella sezione 3 il giorno 30/10 alle ore 21(a), il giorno 31/10 alle ore 3 (b) e alle ore 21(c).

3.2.5 Sezione 4

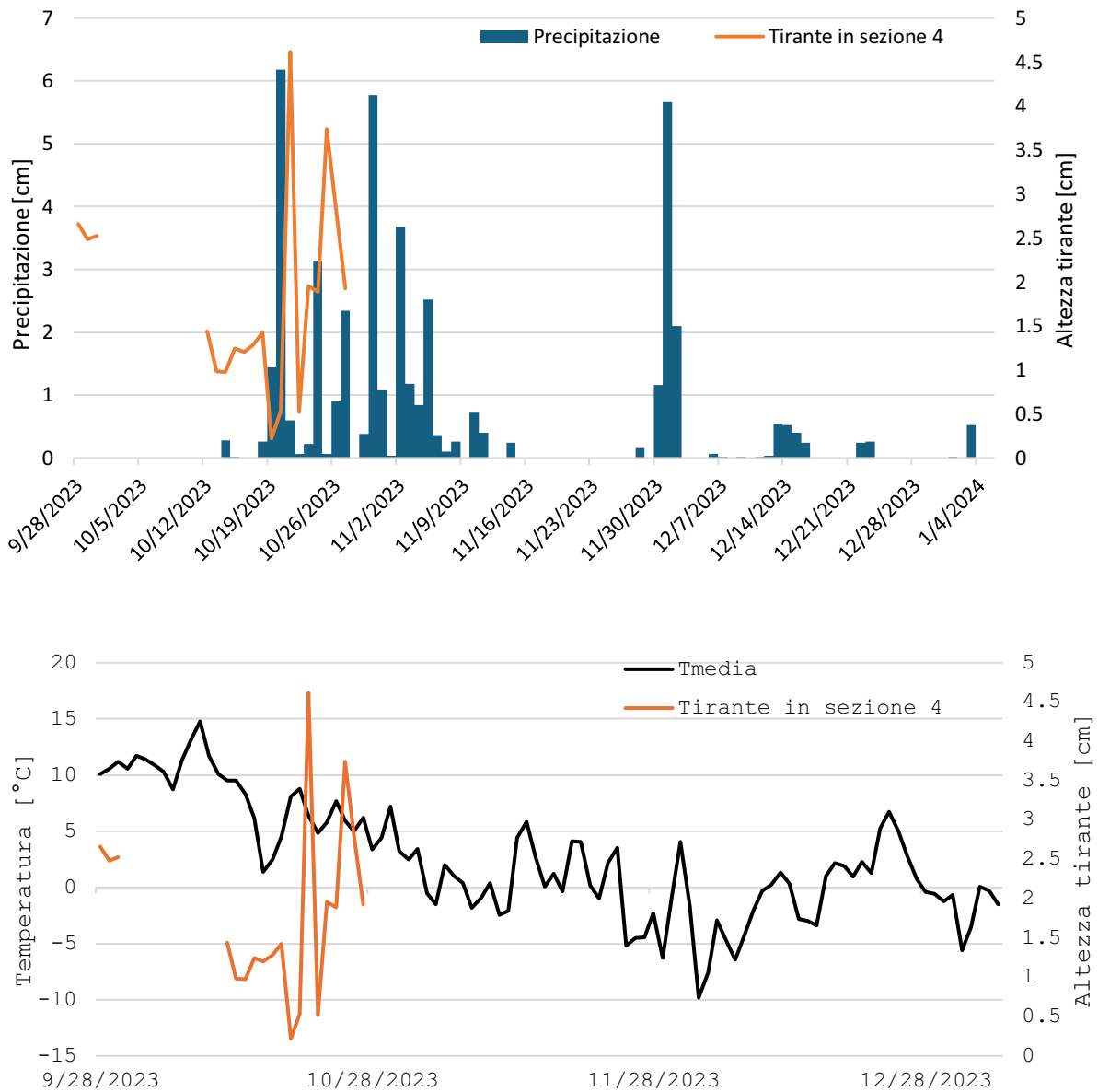


Figura 27: Confronto tra le precipitazioni registrate dalla stazione meteo di valle e la variazione del tirante misurata in sezione 4 (grafico in alto) e tra la temperatura media misurata e la variazione del tirante misurato (grafico in basso). La mancanza di dati è causata da un mal posizionamento della fototrappola.

La situazione nella sezione di sinistra idrografica (sezione 4) è analoga a quella descritta per la fototrappola collocata nella sezione 3. In questo caso però sono state riscontrate maggiori difficoltà nell'ancoraggio delle aste e nell'inclinazione della fototrappola. Perciò, è presente un

vuoto nella serie di dati all'inizio del mese di ottobre ed una interruzione prematura del rilevamento del tirante. Anche in questo caso l'altezza idrometrica risente degli eventi di precipitazione in modo evidente. Fra i giorni 20-21/10 il tirante aumenta improvvisamente, probabilmente a causa della grande quantità di pioggia piovuta il giorno 20/10 (6,18 cm). Il giorno 22/10 viene rilevata un'altezza del tirante pari a 0,5 cm. Tale dato risulta anomalo rispetto ai valori circostanti. Nonostante si riscontri un valore inferiore di precipitazione, questa è continua nel periodo considerato. Perciò, tale anomalia può essere attribuita ad un errore di misura effettuato durante la fase di analisi delle immagini. È possibile notare come l'ubicazione delle sezioni scelte e delle rispettive fototrappole abbia influito sulla raccolta dei dati. La differenza di numerosità di dati è evidente tra le sezioni 3, 4 e 6, infatti, quest'ultima è più riparata rispetto alle prime due e, di conseguenza, più affidabile per la stima in continuo delle variazioni dei tiranti idrici.

4. CONCLUSIONI

In questa tesi si è sviluppato un approccio empirico, basato sulle fototrappole per stimare il livello dell'acqua in alcune sezioni critiche collocate lungo un corso d'acqua di dimensioni ridotte. Una volta selezionate le sezioni di controllo all'interno del reticolo oggetto di studio sono state definite opportune metodologie per misurare il livello dell'acqua effettuando un'analisi delle immagini sulla base di alcune verità a terra (alcuni punti di riferimento di posizione nota inquadrati nelle immagini raccolte). La soluzione esplorata può essere considerata una buona premessa dell'uso di fototrappole ai fini di monitoraggio di corsi d'acqua, soprattutto in località non sempre facilmente raggiungibili. Le principali difficoltà si sono verificate durante l'analisi delle immagini che è avvenuta utilizzando due software semplici da usare e facilmente reperibili.

Lo studio svolto ha confermato i risultati attesi per quanto riguarda l'utilizzo di fototrappole nelle attività di monitoraggio in campo ovvero ne ha dimostrato l'affidabilità anche per periodi di rilevazione prolungati (novembre-gennaio) e la bassa invasività complessiva della tecnica oggetto di studio. Nel periodo di riferimento, tutte le sezioni hanno mostrato un generale aumento del tirante in seguito ad eventi meteorici, in linea con le aspettative. Sono anche stati registrati diversi periodi in cui non è stato possibile osservare il tirante idrico e piccole fluttuazioni temporali di questa grandezza probabilmente legate ad errori di misura o inaccuratezze del metodo di analisi. Lo studio ha permesso poi di valutare le problematiche esistenti nella ricostruzione empirica dei tiranti a partire da foto e video, offrendo spunti per delle eventuali soluzioni da adottare in futuro, in particolare confermando la necessità di focalizzare l'attenzione sull'elaborazione digitale delle immagini (Tauro et al., 2022). Nel complesso, la grande quantità di dati raccolti offre l'opportunità di monitorare la variabilità spazio-temporale del tirante idrico in un contesto alpino e di studiare la dinamicità del reticolo idrografico, un fenomeno molto spesso difficile da documentare in modo accurato.

5. BIBLIOGRAFIA

- Da Deppo, L., Datei, C., Fognature, Edizioni Libreria Cortina 1997
- Ghezzi Carolina, Misure sperimentali per la stima della scala delle portate in un bacino alpino, tesi triennale
- Simone Noto, Flavia Tauro, Andrea Petroselli, Ciro Apollonio, Gianluca Botter & Salvatore Grimaldi (2022) Low-cost stage-camera system for continuous water-level monitoring in ephemeral streams, *Hydrological Sciences Journal*, 67:9, 1439-1448, DOI: 10.1080/02626667.2022.2079415
- Tauro, Flavia, Simone Noto, Gianluca Botter, and Salvatore Grimaldi. 2022. "Assessing the Optimal Stage-Cam Target for Continuous Water Level Monitoring in Ephemeral Streams: Experimental Evidence" *Remote Sensing* 14, no. 23:6064. DOI: 10.3390/rs14236064
- Tonin Alessandro, Stima della scala delle portate con il metodo della diluizione salina in un bacino alpino, tesi triennale