

UNIVERSITA' 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

STIMA DELLA SCALA DELLE PORTATE DEL
RIO VALFREDDA (BL) TRAMITE MISURE
SPERIMENTALI

Relatore: Chiar.mo Prof. Gianluca Botter

Correlatore: Ing. Nicola Durighetto

Laureando: Riccardo Della Corte Matricola: 1217883

Anno Accademico 2021/2022

Indice

Sommario	1
1. Introduzione	2
1.1 Idrometria	3
1.2 Tipologie di misurazioni per la portata idrica	4
1.3 Metodologie per ricavare la portata in un corso d'acqua.	5
1.4 Metodologie per ricavare l'altezza idrometrica in un corso d'acqua.	8
1.5 Metodologie per ricavare la velocità idrica della corrente.	12
2. Il bacino del Valfredda.	17
3. Metodo della diluizione salina per la stima della portata del Rio Valfredda	25
3.1 Procedura	26
3.2 Strumentazione	29
3.3 Limitazioni ed incertezze nella misurazione.	32
4. Risultati sull'esperienza.	33
4.1 Relazione tra conducibilità e concentrazione.	33
4.2 Dati raccolti e grafici dell'esperienza sul Rio Valfredda	34
4.3 scala delle portate	37
5. Conclusioni	41
6. Bibliografia e sitografia	43

Sommario

I torrenti sono un elemento fondamentale del paesaggio montano in quanto trasportano acqua e nutrienti verso valle e creano una varietà di habitat acquatici. La portata è una delle principali variabili idrologiche perché rappresenta il principale flusso d'acqua verso valle e regola il funzionamento dell'habitat torrentizio. In questa tesi è stato monitorato, tra giugno e agosto del 2022, il tirante in corrispondenza della sezione di chiusura del torrente Valfredda (area contribuyente pari a 5.3 km²) attraverso l'utilizzo di un trasduttore di pressione. È stata poi costruita la scala delle portate tramite una serie di misure per diluizione di sale, in corrispondenza di diverse condizioni idrologiche. Questo ha permesso di ricostruire l'idrogramma del torrente per l'anno 2022, e di eseguire una serie di analisi sulla variabilità dei deflussi nel bacino di studio.

1. Introduzione

La misurazione della portata idrica di un corso d'acqua e il suo continuo monitoraggio è fondamentale per qualunque tipo di politica che operi a livello ambientale e di protezione civile, permettendo quindi attività di prevenzione di fenomeni di piena e siccità, di difesa dall'inquinamento, di gestione della risorsa idrica, di protezione degli ecosistemi fluviali ecc.

La stima dei flussi idrici assume ancora maggiore importanza in questo periodo di forte siccità (estate 2022) che sta colpendo gran parte del territorio nazionale, con il conseguente e inevitabile razionamento delle risorse idriche a livello agricolo. La gestione di quest'ultime risulta quindi essere un aspetto assai importante per permettere una corretta distribuzione dell'acqua dolce per l'uso industriale, domestico, agricolo, ricreativo, estetico, energetico ecc. e per ridurre al minimo gli sprechi.

Secondo un aggiornamento dell'ISPRA del 2017, vi è però carenza di personale e fondi per l'esecuzione delle misure di portata e di manutenzione della strumentazione.

Esistono alcune regioni nella quale le misure di portata dei corsi d'acqua sono attuate in maniera regolare mentre in altre le misurazioni sono state ridotte al minimo con la conseguente diminuzione della conoscenza del corso d'acqua e della sicurezza.

Per far fronte a questa problematica, nel 2019 è stato organizzato dall'ARPA Veneto, dall'ISPRA, dall'ARPAE Emilia-Romagna, dalla Provincia autonoma di Bolzano e il Consorzio di Bonifica Veronese, il 1° Rally Nazionale di Idrometria, il cui principale scopo è stato quello di sottolineare l'importanza della misura di portata dei corsi d'acqua e della necessità che tali misurazioni siano svolte con regolarità sull'intero territorio nazionale.

1.1 Idrometria

Con Idrometria si intende quella branca dell'idraulica che si occupa della misurazione della portata idrica del flusso d'acqua, del livello del pelo libero in un canale, della velocità idrica ossia la velocità della corrente e di tutte quelle che sono le metodologie tecniche utilizzate per tali misurazioni.

Definiamo alcuni di questi parametri:

- Il *livello del pelo libero del canale* (livello idrometrico) sta ad indicare il livello di superficie libera dell'acqua, ossia la superficie superiore del fluido non confinata ma a contatto con l'atmosfera terrestre.
- Con *portata idrica del flusso d'acqua* si intende il volume di fluido V [l] che defluisce attraverso una determinata sezione nell'unità di tempo t . Generalmente il volume V si misura in [m³] mentre il tempo t in [s].

$$Q = \frac{V}{t} \quad [1]$$

- È possibile utilizzare però un'altra espressione per il calcolo della portata:

$$Q = v \cdot S \cdot \cos(\theta) \quad [2]$$

Il termine v [m/s] sta ad indicare la velocità idrica media al tempo t [s] sulla sezione del fluido, S [m²] rappresenta l'area della sezione bagnata sempre all'istante t .

Chiaramente si può considerare il flusso perpendicolare all'area considerata, arrivando quindi all'espressione semplificata:

$$Q = v \cdot S \quad [3]$$

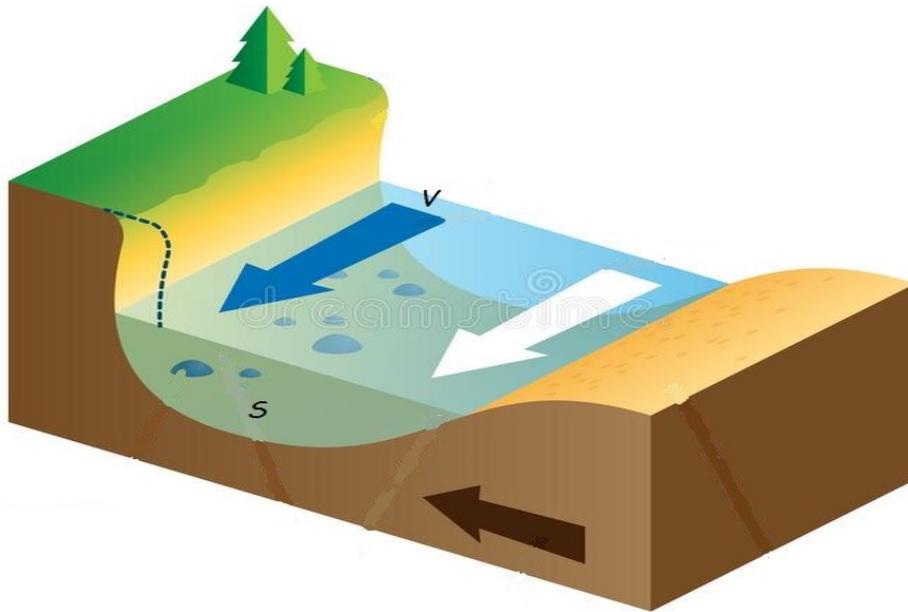


Figura 1: generica sezione di un corso d'acqua naturale

1.2 Tipologie di misurazioni per la portata idrica

Pensare di poter misurare la portata raccogliendo il volume d'acqua che attraversa la sezione in un dato intervallo di tempo è impensabile per fiumi o corsi d'acqua medio grandi, è però possibile solo nel caso di torrenti molto piccoli o sorgenti.

Esistono due grandi famiglie per la misurazione della portata:

- *Misurazioni dirette* che permettono di ottenere direttamente il valore numerico della portata.
Questo tipo di misurazione richiede un elevato numero di attrezzature e numeroso personale, sono quindi meno preferibili rispetto alle misurazioni indirette.
- *Misurazioni indirette* nella quale la portata idrica viene ricavata tramite operazioni matematiche a partire da misure diverse precedentemente effettuate.

Solitamente le misure indirette della portata hanno come fondamento l'assunzione che esista una relazione biunivoca tra portate e livelli, permettendo di trasformare le osservazioni di altezza dell'acqua in osservazioni di portata.

È inoltre interessante sottolineare che gli strumenti per la misurazione della portata sono suddivisi in “integrali” e “locali”.

I primi permettono essenzialmente di misurare l'intera portata del corso d'acqua, come ad esempio il cosiddetto “Venturimetro”, mentre i secondi non permettono di ricavare direttamente la portata idrica ma individuano prima la velocità del flusso d'acqua.

Una volta ottenute diverse misurazioni della portata in una certa sezione del corso d'acqua in esame è possibile associare ad ogni tirante il suo valore di portata idrica ottenendo un grafico denominato “scala delle portate”.

1.3 Metodologie per ricavare la portata in un corso d'acqua

È importante ricordare che attraverso la misurazione della portata, è possibile ottenere una gestione efficiente, ecologica e sostenibile delle risorse idriche, garantendo allo stesso tempo una maggiore sicurezza per le persone e per l'ambiente; un argomento che diventa sempre più importante nelle attività umane.

Si parla anche di sicurezza in quanto la stima della portata è necessaria nella progettazione di dighe e casse di espansione per contenere gli eventi di piena. Ma non solo, anche altre strutture come gli argini sono in molti casi pratici progettate sulla base della conoscenza della sola portata al colmo, così come le briglie ed altre strutture minori.

Per la misurazione della portata esistono diverse modalità. Nel testo che segue sono presentate brevemente alcune delle più frequenti.

• Prova con tracciante

La prova con tracciante è usata principalmente per corsi d'acqua di piccole dimensioni, dove il flusso idrico risulta essere abbastanza veloce e turbolento con un alveo irregolare. Questa metodologia consiste nell'inserimento in acqua di una precisa quantità di sostanza tracciante (esempio sostanza colorante fluorescente o sale da cucina).

Grazie alla turbolenza del flusso idrico la sostanza tracciante si mescola in acqua e più a valle ne viene misurata la concentrazione che permette di ricavare la portata.

Esistono tre diversi tipi di tracciamento:

- Il *Test di tracciamento semplice* prevede l'utilizzo di un solo tracciante, un solo punto di immissione e alcuni punti di rilevamento.
- Il *Test di tracciamento multiplo* utilizza diversi traccianti in differenti punti di immissione, mentre i punti di rilevamento sono gli stessi, in quantità, del test precedente.
- Il *Test di tracciamento comparativo* utilizza diversi traccianti ma nello stesso punto di immissione per confrontarne le diverse proprietà.

La prima tipologia di test verrà approfondito maggiormente in seguito in quanto è stato utilizzato in situ per il Rio Valfredda (BL).



Figura 2: immagine di tracciante fosforescente per ricavare la portata idrica

• Metodo della velocità areale

Questo criterio prevede di ricavare la portata tramite la velocità del flusso d'acqua e l'area della sezione trasversale.

Per il calcolo della portata tramite questa procedura si possono attuare diverse metodologie, a seguire ne è presentata una.

La sezione trasversale del corso d'acqua (che ovviamente non è una figura piana di cui l'area si può ricavare direttamente) viene scomposta in diversi rettangoli all'interno della quale, per semplicità, la velocità viene ritenuta costante e misurata per ciascuno di essi.

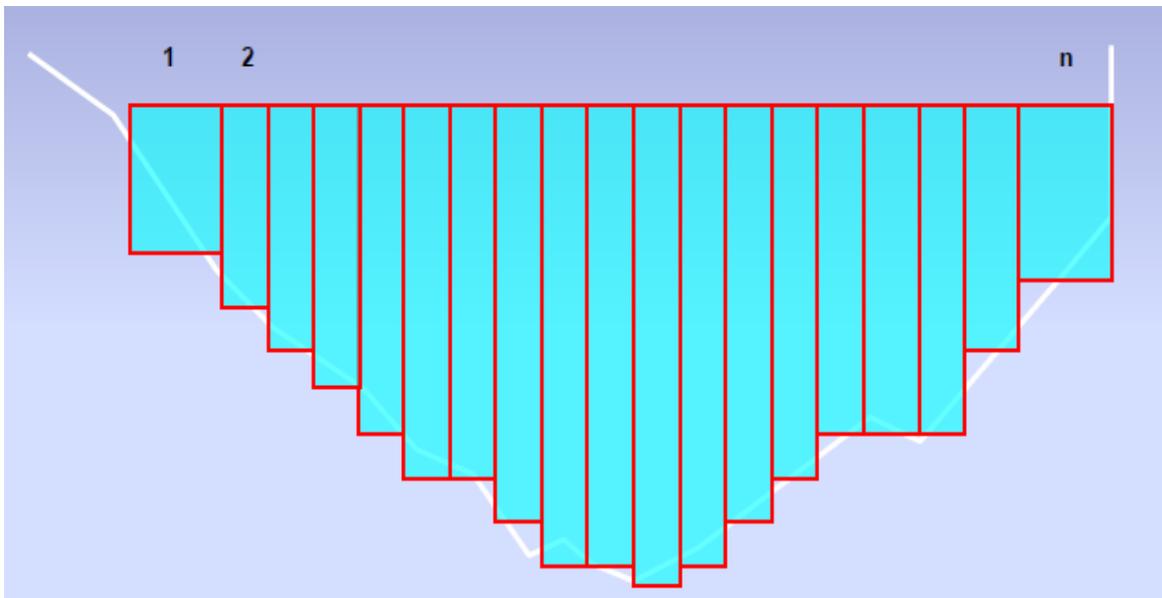


Figura 3: rappresentazione della suddivisione della sezione trasversale in rettangoli

La portata finale equivarrà alla somma delle portate nei singoli rettangoli.

$$Q_{\text{finale}} = (\text{Area } 1 \times \text{velocità } 1) + (\text{Area } 2 \times \text{velocità } 2) \\ + \dots (\text{Area } n \times \text{velocità } n).$$

Questa procedura presenta però dei requisiti per poter essere adottata:

- 1) le velocità locali misurate per ogni rettangolo devono essere maggiori a 0,025 m/s
- 2) assenza di vegetazione
- 3) letto prevalentemente regolare e stabile

Si assume inoltre che le linee di velocità siano parallele tra loro e perpendicolari alla sezione trasversale in esame.

• Metodo volumetrico

Questa metodologia prevede che il flusso venga convogliato in un recipiente di grandezza prestabilita e si misura il tempo necessario per riempirlo.

Per ricavare la portata basta semplicemente rapportare il volume del contenitore per il tempo di riempimento.

Il processo è attuabile solo per corsi d'acqua di dimensioni ridotte e stretti, oppure tramite l'uso di strutture come stramazzi.

1.4 Metodologie per ricavare l'altezza idrometrica in un corso d'acqua

In alcuni casi non è possibile ricostruire direttamente l'andamento della portata e conviene concentrarsi quindi sulla stima del livello idrometrico. Per la stima del livello esistono differenti metodi, alcuni di questi presentati nel seguito.

• Idrometro a punta

Consiste in un'asta rigida verticale alla quale è attaccata una punta che può scorrere su di essa. La punta viene portata al livello del pelo libero e la presenza di una scala graduata permette di leggere la quota rispetto allo zero di riferimento di quella scala.

Osservazione: uno dei problemi principali di questo strumento è la tensione superficiale dell'acqua che potrebbe creare un errore nella misurazione, per questo motivo l'operatore cala la punta il più vicino possibile al livello dell'acqua ma senza toccarla.

L' *Idrometro a punta* presenta però, dei limiti e delle problematiche:

- la misurazione è manuale e non automatica.
- l'asta potrebbe non essere completamente verticale.
- il materiale dell'asta può dilatarsi falsando il risultato.
- incertezza nell'arrestare la punta in corrispondenza del pelo libero.
- limitazione della lunghezza dell'asta graduata.

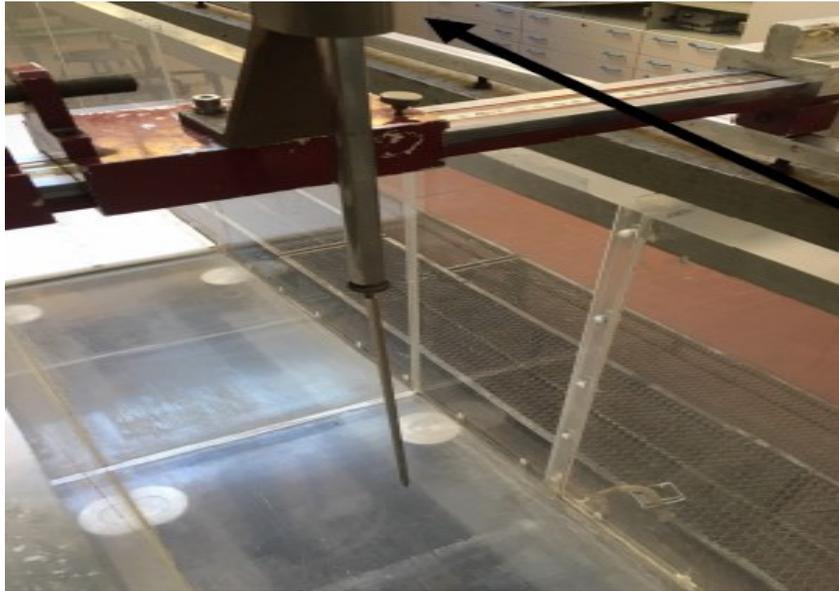


Figura 4: immagine di un Idrometro a punta in laboratorio

- **Asta idrometrica**

Questo strumento non è altro che un'asta graduata, solitamente posizionata in verticale, dove il livello stesso dell'acqua segna la sua quota.

Normalmente la gradazione è centimetrica ed è visibile dalla riva, l'asta inoltre deve essere georeferenziata altimetricamente.

A volte è presente anche un galleggiante di sughero che permette di indicare il valore del massimo livello raggiunto in quanto viene alzato dal pelo libero dell'acqua.



Figura 3: aste idrometriche

- L' Idrometrografo a galleggiante

L'idrometrografo a galleggiante è uno strumento che permette la misurazione continua del livello idrometrico del corso d'acqua d'esame.

Esso è costituito da tre elementi principali:

- un galleggiante che si muove col pelo libero dell'acqua.
- una puleggia che trasmette i movimenti del galleggiante.
- un cursore che permette di registrare le variazioni su un tamburo verticale mosso da un orologio.



Figura 4: vista esterna idrometrografo a galleggiante

Alcuni svantaggi di questo strumento sono il fatto che le numerose parti meccaniche che lo compongono creano attrito creando bassa sensibilità alle piccole variazioni, sono necessarie visite regolari per cambiare la carta e l'inchiostro si può dilatare.

Tuttavia, risulta essere abbastanza affidabile, facile da costruire e poco costoso.

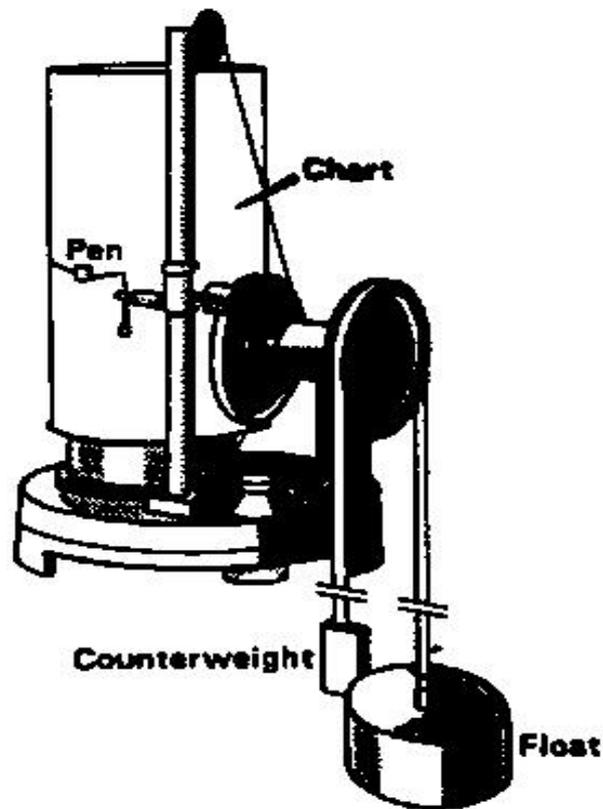


Figura 5: schema idrometrografo a galleggiante

Ci sono inoltre diversi strumenti più moderni, ossia dei trasduttori elettronici di livello che vengono chiamati *limnimetri*.

Tra i più semplici troviamo ad esempio *l'idrometro a galleggiante con un trasduttore* collegato all'albero della puleggia che girando crea un segnale elettrico che quindi viene associato poi alla variazione del livello del pelo libero dell'acqua.

Tuttavia, ci sono altri limnimetri più complicati ma molto precisi come ad esempio: *il limnimetro a variazione di resistenza* o *il limnimetro ad ultrasuoni*.

1.5 Metodologie per ricavare la velocità idrica della corrente

La velocità della corrente in un corso d'acqua è molto variabile e dipende da numerosi fattori, tra cui la sezione bagnata, la scabrezza, la conformazione dell'alveolo e la pendenza del corso d'acqua.

Ad esempio, i torrenti alpini contengono una grande quantità di rocce, massi, ciottoli e sedimenti, i quali aumentano l'attrito tra le molecole d'acqua con la conseguente diminuzione della velocità; mentre in un canale fluviale liscio l'attrito è ridotto e la velocità è maggiore.

Per una data sezione trasversale, la velocità sulla verticale ha un andamento logaritmico. Essa risulta avere modulo massimo in prossimità del pelo libero, anche se diminuisce leggermente in superficie per l'attrito dell'aria.

Procedendo verso il basso la velocità decresce lentamente per la presenza dell'attrito di fondo fino ad annusarsi completamente sul letto del torrente.

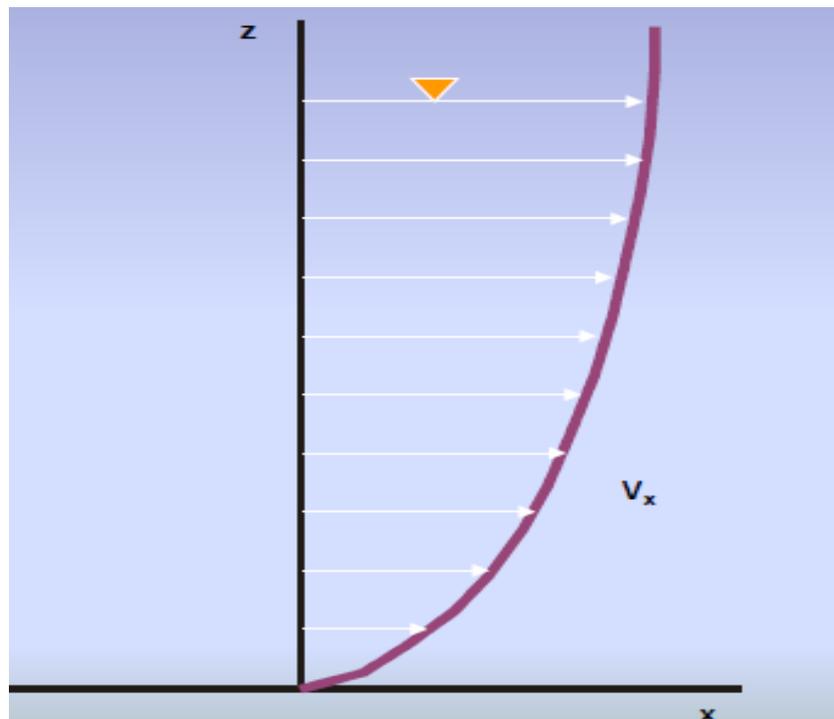


Figura 6: andamento della velocità dell'acqua sulla verticale

• Mulinello Idrometrico

Il mulinello idrometrico ha come scopo quello di ricavare la velocità idrica in canali artificiali o corsi d'acqua naturali.

Esso è costituito da:

- un *supporto fisso* che può essere sostenuto da un'asta o da un cavo (opportunosamente zavorrato) in quanto devo portarmi alla posizione che mi interessa.
- un *elica libera* montata sul corpo fisso e libera di ruotare colpita dalla corrente.
- un *sistema di rilevamento della velocità* con cui gira l'elica che permette di ricavare la velocità idrica puntuale.

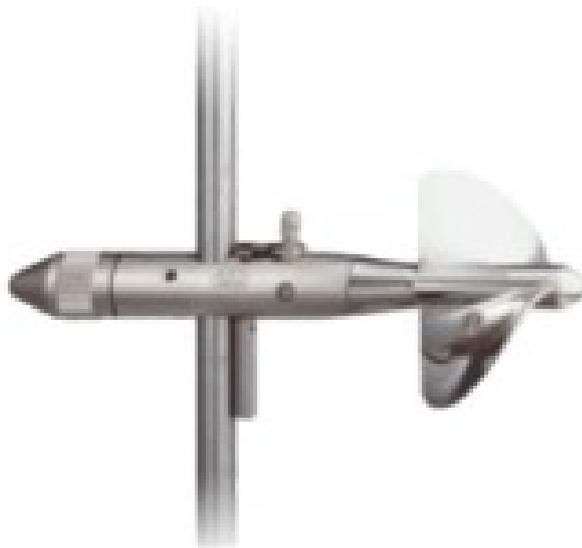


Figura 7: mulinello idrometrico classico

La presenza di un contatore permette di rilevare il numero di giri per unità di tempo dell'elica, ricavando così la velocità della corrente.

I mulinelli idrometrici sono di due tipi; in base alla tipologia dell'elica possono essere:

- *classici* se la velocità della corrente idrica colpisce in maniera assiale l'elica facendola girare.
- *a cappa* se l'asse di rotazione è ortogonale alla direzione della velocità idrica.

• Correntometri elettromagnetici

Questo tipo di strumenti si basano sul principio dell'induzione elettromagnetica e in particolare sulla *Legge di Faraday*, la quale afferma che: la tensione che un conduttore in movimento (in questo caso l'acqua) crea muovendosi ortogonalmente ad un campo magnetico risulta essere direttamente proporzionale alla velocità del conduttore stesso.

Solitamente questi strumenti sono dei tubi all'interno della quale scorre l'acqua, che risultano essere isolati magneticamente (con due avvolgimenti magnetici sui due lati del tubo) ed elettricamente.

Il flusso d'acqua scorrendo nel correntometro va a tagliare le linee del campo magnetico generando così una differenza di potenziale la cui intensità viene letta da due sensori posti sui lati del tubo.

In base al valore della differenza di potenziale, noto il campo magnetico, si determina la velocità dell'acqua tra i due elettrodi.

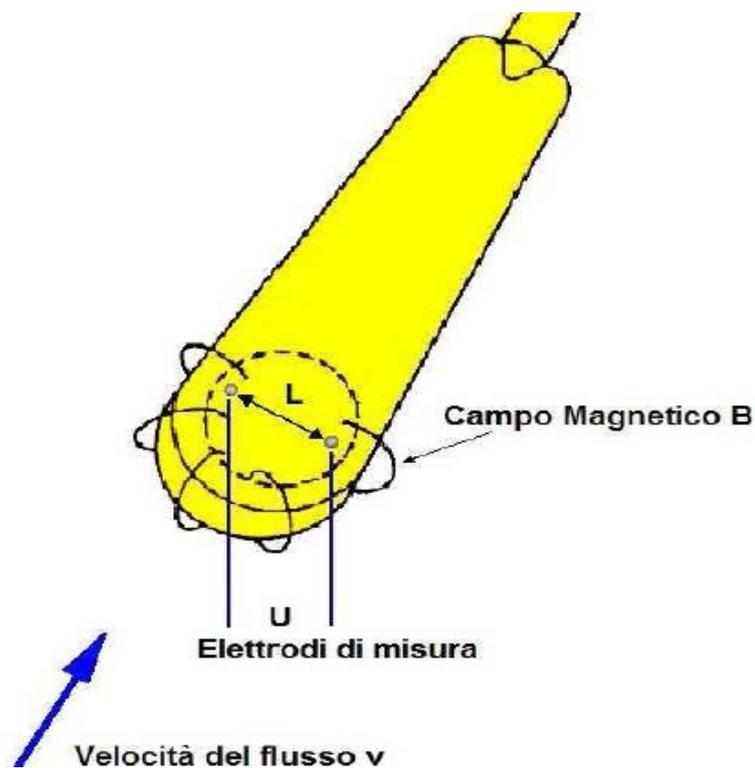


Figura 8: schema funzionamento correntometro elettromagnetico

I vantaggi di questo strumento sono che:

- non ci sono parti meccaniche in movimento, quindi non vi sono attriti ne è necessaria la calibrazione.
- è possibile misurare velocità molto basse (esempio 0,001 m/s).

Invece gli svantaggi sono che:

- sono limitati nel caso di acqua a bassissima conducibilità elettrica.
- non si possono effettuare misure vicino ad oggetti metallici.



Figura 9: immagine di un correntometro elettromagnetico

• Dispositivo ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler)

L'effetto Doppler consiste in una variazione apparente della frequenza o della lunghezza d'onda di un'onda percepita da un osservatore in moto rispetto alla sorgente che ha emesso l'onda.

Se consideriamo onde che si trasmettono in un mezzo (ad esempio aria o acqua), la velocità della sorgente emittente e quella dell'osservatore devono essere comparate in relazione alla velocità del mezzo in cui sono inserite.

I dispositivi ADCP si basano su questo principio e sono costituiti da un sensore acustico doppler sopra un apposito natante che viene trascinato ortogonalmente rispetto alla direzione del flusso, da una sponda all'altra.

Il sensore doppler invia ad intervalli regolari degli ultrasuoni che vengono riflessi dalle particelle in sospensione (si assume che la velocità delle particelle sospese eguagli quella idrica) permettendo così di ricavare la velocità del flusso.



Figura 10: immagine natante con dispositivo ADCP

2. Il bacino del Valfredda

La Valfredda è una località alpina situata nei pressi del Passo San Pellegrino, nell'alta Val Bois. Risulta essere una meta molto suggestiva e frequentata soprattutto per il contesto in cui è inserita, ai piedi delle cime del Gruppo della Marmolada e con vista sulle Pale di San Martino.

L'analisi sperimentale per il calcolo delle portate è stata effettuata alla sezione di chiusura del bacino del Rio Valfredda (BL).

Questo piccolo torrente alpino si estende a diverse altitudini variando dai 1500 m.s.m ai 3000 m.s.m, con un bacino idrografico di 5,40 km². Esso si riversa poi, a circa 1500 m.s.m nel corso d'acqua Bois che a sua volta confluisce nel fiume Piave.

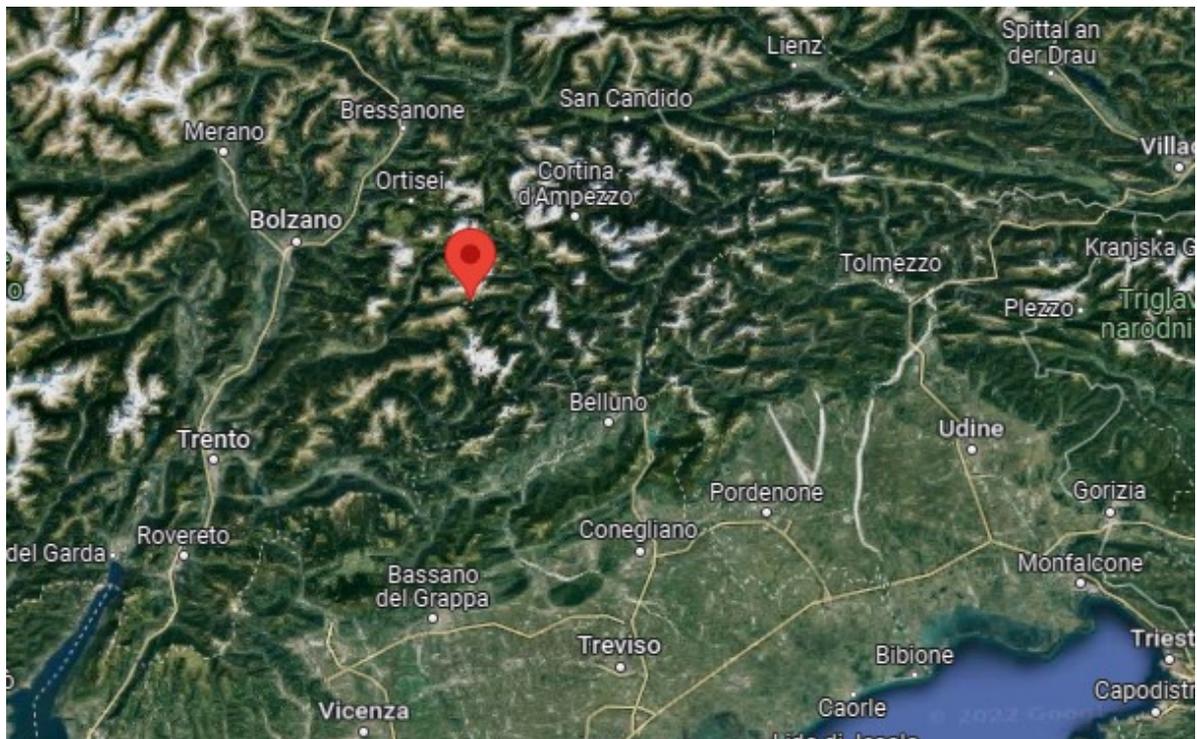


Figura 11: localizzazione Valfredda

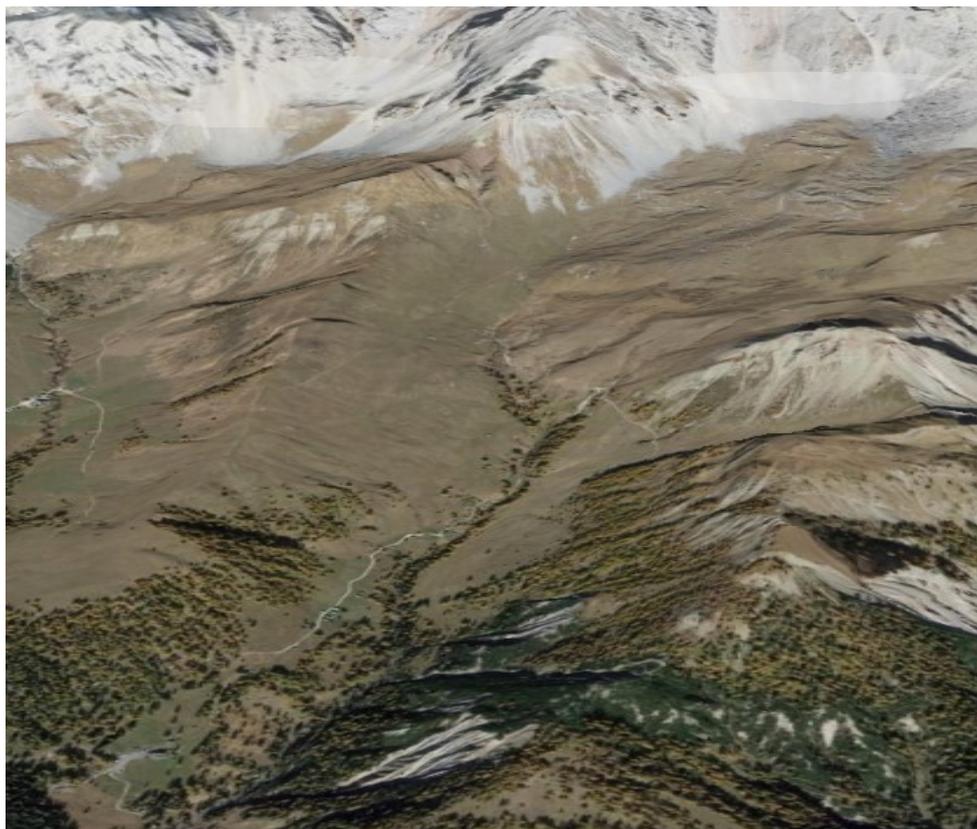


Figura 12: immagine satellitare della Valfredda

Territorialmente il bacino idrografico del torrente Valfredda risulta essere fortemente eterogeneo in base all'altitudine, con una variazione del tipo di vegetazione e della litologia (ossia lo studio degli aspetti chimico/fisici che definiscono l'aspetto e il tipo di roccia).

Vi è dunque una marcata differenza tra monte e valle:

- sotto i 2000 m.s.m è presente uno spesso strato piroclastico molto impermeabile il quale riduce le infiltrazioni d'acqua aumentando così il deflusso superficiale.
A livello vegetativo sono presenti numerosi pini e abeti, in concentrazione maggiore in prossimità del torrente.
- ad altitudini comprese tra i 2400 m.s.m e i 2000 m.s.m è presente uno spesso strato di roccia sedimentaria, cui spessore aumenta col diminuire dell'altezza sul mare.

- oltre i 2400 m.s.m il terreno risulta essere fortemente permeabile, grazie alla presenza di depositi ghiaiosi e detriti, creatisi dell'erosione delle rocce circostanti.

Infatti, nella zona di Falcade ci sono ad esempio rocce calcaree, rocce gessifere, rocce arenaceo-marnose, rocce carbonatiche ecc. che risultano avere un elevato indice erosivo.

Inoltre, l'elevata permeabilità facilita l'infiltrazione dell'acqua piovana nel terreno, portando quindi ad un elevato deflusso sub-superficiale.

La zona a monte inoltre presenta scarsa o quasi assente copertura vegetale, con estese zone di pascolo.



Figura 13: ortofoto del bacino del Valfredda



Figura 14: reticolo idrografico del Rio Valfredda

Il clima è di tipo alpino e ogni anno cadono mediamente 1400 mm di pioggia.

Le precipitazioni sono abbondanti durante tutto l'anno (anche se l'autunno è la stagione più piovosa), grazie alla presenza delle montagne circostanti che permettono la formazione di moti convettivi accumulando calore e umidità.

Inoltre, durante il periodo invernale, si verificano importanti nevicate che provocano un aumento del deflusso durante il periodo primaverile. Per quanto riguarda la relazione tra temperatura-altitudine, il gradiente termico è di 10 C° ogni 1000 m di dislivello.

Sono state installate inoltre due stazioni meteo: una a monte (quota 2206 m.s.m) situata in prossimità della parete rocciosa che racchiude la vallata mentre un'altra a valle (quota 1528 m.s.m).



Figura 15: stazione metereologica di monte



Figura 16: stazione metereologica di valle

La portata del Rio Valfredda non è costante durante l'intero anno ma chiaramente cambia al variare delle stagioni, infatti:

- durante l'inverno le temperature sono molto rigide e si possono raggiungere anche i 10 °C sottozero; ne consegue che gran parte dell'acqua del bacino si congela portando ad una forte riduzione della portata.
- nel periodo primaverile ed estivo lo spesso strato nevoso accumulatosi durante l'inverno si scongela. Il disgelo non avviene in maniera uniforme ma è maggiormente favorito a valle da temperature maggiori rispetto a monte. In questo periodo quindi si registra un marcato aumento della portata idrica, favorita anche dalle abbondanti piogge stagionali.

Per l'analisi della variazione della portata, in questo lavoro di tesi, ci si è basati sulla sezione di valle (*figura 17,18*).

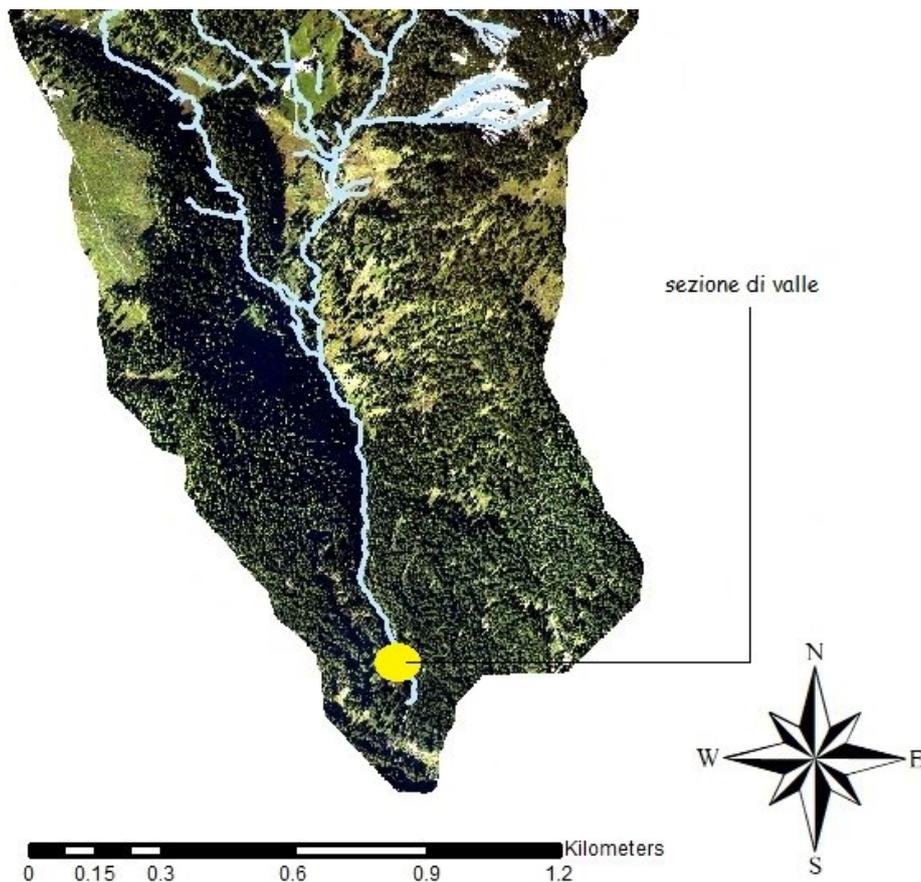


Figura 17: ortofoto della parte bassa del bacino con focus sulla sezione di valle

La sezione di valle è situata ad una quota di circa 1526 m.s.m con un'area sottesa del bacino a monte pari a 5,3 km². La larghezza dell'alveo è abbastanza variabile ma mediante risulta essere di circa 1,5 m.



Figura 18: immagine della sezione di valle

3. Metodo della diluizione salina per la stima della portata del Rio Valfredda

Il *Metodo della diluizione salina* si fonda sull' ipotesi che un tracciante (nel nostro caso NaCl) conservi la sua massa iniziale nell'intero tratto dal punto di sversamento nel flusso idrico a quello di rilevazione della conducibilità elettrica .

Una volta che il tracciante viene inserito nell'alveolo, esso si diluisce rapidamente e più a valle si misura la variazione della conducibilità tramite un apposito strumento chiamato *Conducimetro*, grazie alla quale poi si può ricavare algebricamente il valore della portata.

Questa procedura per il calcolo delle portate è ampiamente utilizzata soprattutto per corsi d'acqua naturali in luoghi impervi e difficili da raggiungere, dove non vi è la possibilità di utilizzare strumenti come sistemi ADCP o mulinelli idrometrici.

Tra i diversi pregi questo metodo ha anche il fatto di essere attuabile anche da un solo operatore, essere economico e rapido.

Le condizioni che deve rispettare il torrente però sono le seguenti:

- flusso costante senza la presenza di pozzi, salti di fondo, suddivisione in filoni che potrebbero non permettere un ottimale miscelamento del sale in acqua.
- possibilità di avere una zona di immissione del NaCl e una zona di analisi della conducibilità.
- valore costante della conducibilità base dell'acqua durante il tempo di misurazione.
- sufficiente turbolenza del flusso idrico nelle zone di immissione del tracciante per permettere il mescolamento.
- Portate non troppo elevate.

Nel sito di campionamento il flusso idrico non deve essere eccessivamente turbolento in quanto la presenza di bolle d'aria potrebbe alterare i valori della conducibilità.

Esistono due metodologie di immissione del tracciante:

- *Metodo ad iniezione costante*: prevede l'immissione di una quantità nota di tracciante che viene rilasciata nel flusso idrico a portata costante in una sezione a monte, a valle viene misurata poi la concentrazione.
- *Metodo ad iniezione istantanea* (solimante utilizzata col sale): prevede l'immissione di una quantità nota di tracciante che viene rilasciata in maniera istantanea nel flusso idrico a monte, a valle viene misurata poi la variazione della conducibilità.

Le principali differenze tra i due metodi sono principalmente relative alle procedure sul campo e alle strumentazioni, entrambi però risultano essere fortemente efficaci.

Tuttavia, il primo metodo permette di capire la qualità della miscela tracciante-acqua iniziale e i possibili effetti che si potrebbero avere in seguito a variazione della miscela durante l'immissione.

3.1 Procedura

Prima di tutto è importante individuare un tratto del torrente che permetta un processo di miscelamento e rilevazione ottimale, in modo da rispettare quindi tutti i parametri visti precedentemente.

Inizialmente viene inserita una precisa massa m [kg] di sale da cucina (nel nostro caso circa 2 kg) all'interno di un contenitore di volume V [l], mescolando poi otteniamo così una soluzione con concentrazione di sale C_{iniz} [g/l].

Da analisi dell' Arpav in Veneto per piccoli corsi d'acqua montani è emerso che la quantità corretta di sale da utilizzare varia da 1 a 5 kg di sale per m^3/s .

Bisogna anche tenere conto che il sale ha un coefficiente di solubilità di circa 358 g/l (a una temperatura di 20 °C), è quindi fondamentale tenersi al di sotto di questo valore in modo tale da evitare la presenza di sale non disciolto che si deposita sul fondo dei barili compromettendo la validità della prova.

La miscela viene poi immessa istantaneamente nel flusso idrico, il più lontano possibile dai margini del torrente.

In seguito all'immissione, l'operatore a valle tramite il Conducimetro attua misurazioni a intervalli di 5 s della conducibilità elettrica, permettendo così di analizzarne la variazione.

La distanza tra immissione e campionamento è stata di circa 10 m, scelta fatta sulla base di:

- Larghezza media del corso d'acqua.
- Quantità di sale usato.
- Grado di mescolamento.

Come è stato già visto in precedenza la velocità del flusso idrico non è costante per tutta la sezione trasversale del canale ma risulta essere maggiore verso il centro e vicino alla superficie (*figura 19*), di conseguenza nel grafico il picco di acqua salata si allunga per effetto della dispersione longitudinale.

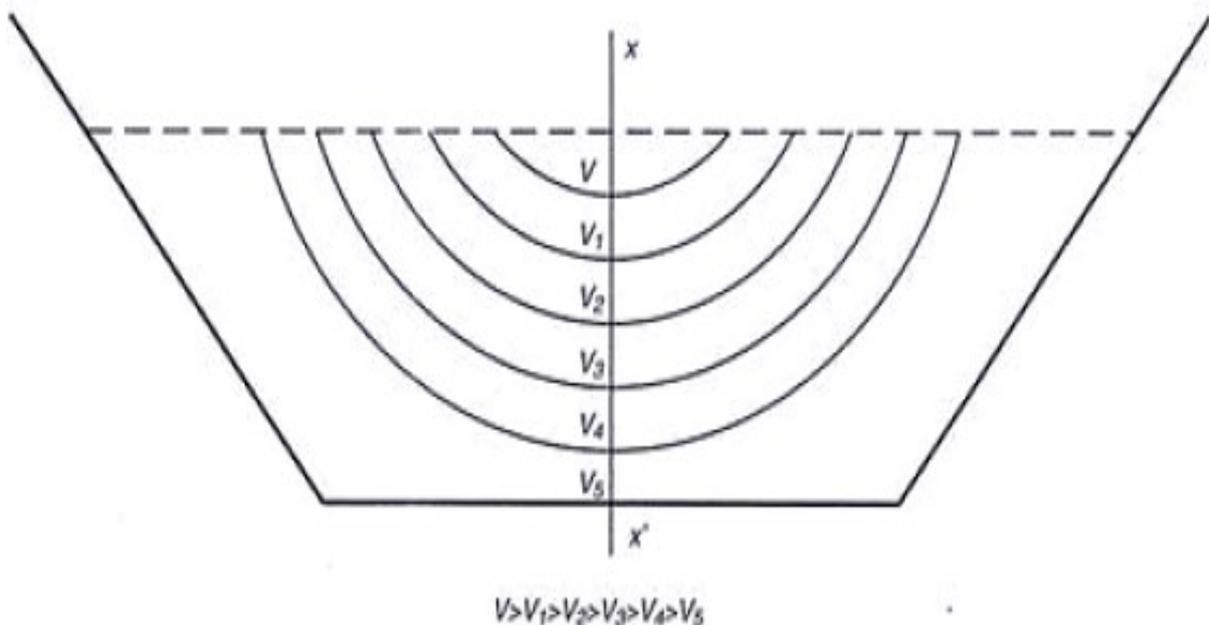


Figura 19: schema della variazione della velocità dell'acqua in sezione trasversale

I valori di conducibilità registrati sono stati poi convertiti in valori di concentrazione tramite un coefficiente calibrato.

Da qui poi è stato possibile ricavarsi la portata tramite la seguente espressione algebrica:

- m : massa di sale iniziale [g].
- C_{iniz} : concentrazione di sale nel contenitore [g/l].
- V : volume d'acqua del secchio.
- q : portata canale [l/s].
- c : concentrazione di sale in acqua [g/l].
- t : intervallo di tempo della misurazione.

$$m = (V \cdot C_{iniz}) = \int_0^t c(t) \cdot q(t) \cdot dt \quad [4]$$

La portata è stata per semplicità considerata costante durante la misurazione; per cui può essere portata fuori dall'integrale (*formula 5*).

$$m = q \cdot \int_0^t c(t) \cdot dt \quad [5]$$

Applicando la formula inversa:

$$q = \frac{m}{\int_0^t c(t) \cdot dt} \quad [6]$$

È quindi possibile stimare la porta sulla base della variazione della concertazione $c(t)$ nell'intervallo di tempo.

3.2 Strumentazione

Di seguito viene analizzata la strumentazione utilizzata durante l'esperienza sul rio Valfredda.

Per la misurazione della conducibilità è stata utilizzata una sonda multi-parametrica EX02 della YSI, la quale permette di raccogliere numerosi dati sulla qualità delle acque. Essa è equipaggiata con un massimo di quattro sensori, ciascuno dei quali analizza un determinato parametro attraverso modalità elettrochimiche, fisiche e ottiche di rilevamento, e un trasduttore di pressione integrato.

La comunicazione con la sonda da parte dell'utente per la visione dei dati in tempo reale e il download è possibile tramite:

- un cavo da campo collegato ad un palmare EXO.
- connessione wireless bluetooth ad un pc.
- connessione usb ad un pc (metodo utilizzato sul rio Valfredda).

Le sonde EXO 2 utilizzano due batterie alcaline per alimentarsi e la durata della carica dipende dal tipo di sensori e della frequenza della misurazione (ad esempio gli utenti possono aspettarsi circa 90 giorni di carica da una sonda che esegue il campionamento ogni 15 minuti).

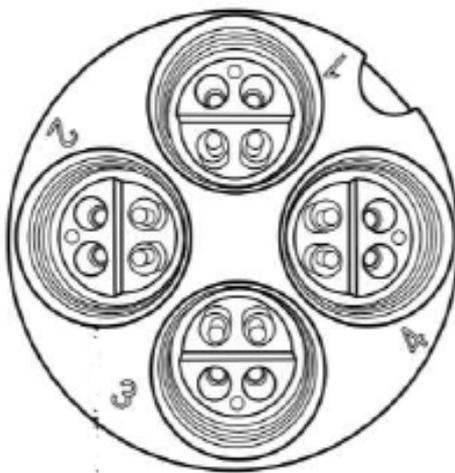


Figura 20: porte per inserimento sensori della paratia di EXO 2

Operating Environment <i>Depth Rating</i>	250 meters, 820 feet
Material	Xenoy [®] , Lexan [®] , titanium, 316 stainless steel
Internal Logging <i>Memory Capacity</i>	512 MB
Software	KorEXO Software
Communications <i>Sonde</i>	Wireless: Bluetooth Field Cable: RS-485
Adapters	RS-232, Mod Bus, USB, SDI-12
Power <i>External</i> <i>Internal</i>	9-16 VDC (2) D-cell batteries
Temperature <i>Operating</i> <i>Storage</i>	-5 to 50°C -20 to +80°C
Battery Life	90 days*
Dimensions <i>Diameter</i> <i>Length</i> <i>Weight w/ battery</i>	4.70 cm, 1.85 in 64.77 cm, 25.50 in 1.42 kg, 3.15 lb

Figura 21: specifiche della sonda EXO 2

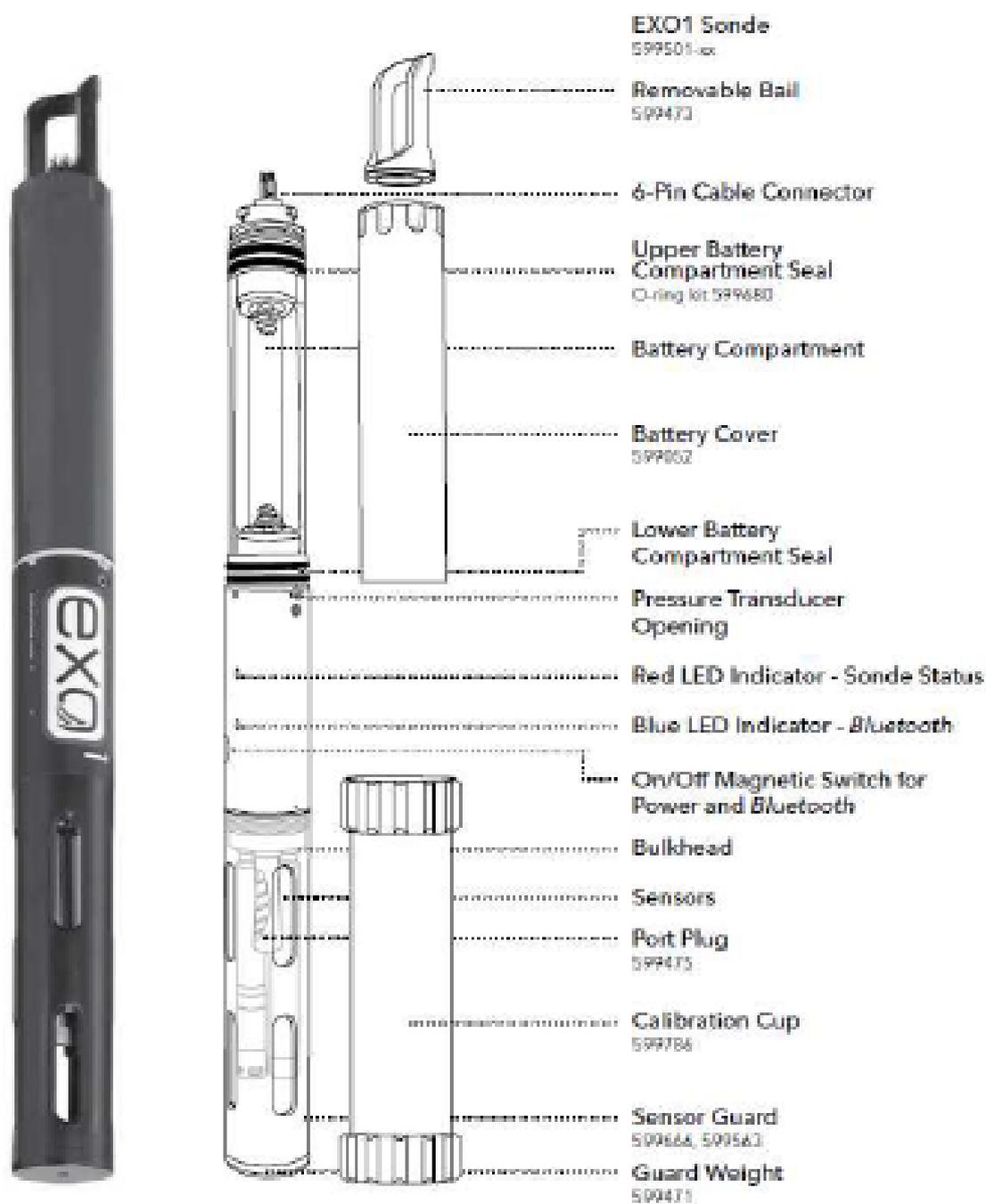


Figura 22: rappresentazione schematica sonda EXO con le sue componenti

Il sensore della conducibilità è combinato con quello della temperatura, permettendo così sia di avere dati sulla conducibilità per il calcolo della salinità, la conduttanza specifica, i solidi disciolti totali e la funzione non lineare conduttiva ma anche di fornire dati di temperatura precisi e veloci.

Esso utilizza quattro elettrodi di nichel interni, due sono azionati dalla corrente mentre altri due per la caduta di tensione, la quale viene convertita in un valore di conduttanza tramite delle costanti di cella.

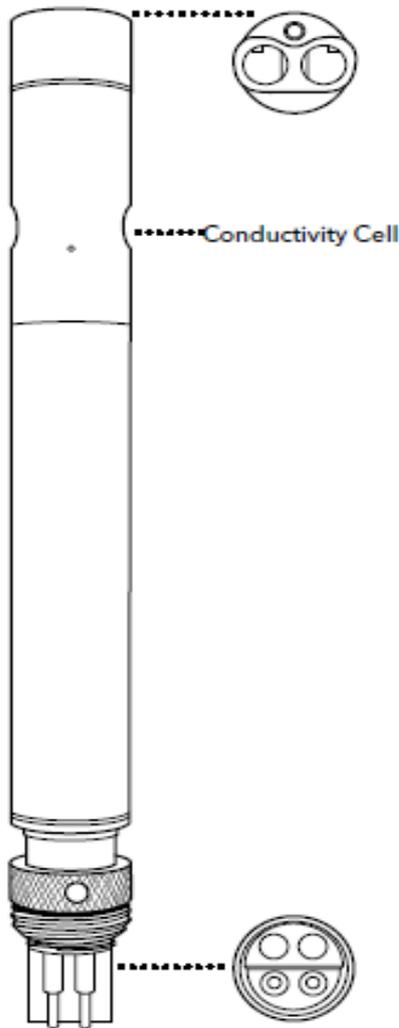


Figura 24 :rappresentazione schematica del sensore per conducibilità e temperatura

Default Units	microSiemens/centimeter
Temperature	
Operating	-5 to +50°C
Storage	-20 to +80°C
Range	0 to 200 mS/cm
Accuracy	0-100 mS/cm: ±0.5% of reading or 0.001 mS/cm, whichever is greater; 100-200 mS/cm: ±1% of reading
Response	T63<2 sec
Resolution	0.0001 to 0.01 mS/cm range-dependent
Sensor Type	4-electrode nickel cell

Figura 23: specifiche del sensore per la conducibilità

Default Units	°Celsius
Temperature	
Operating	-5 to +50°C
Storage	-20 to +80°C
Accuracy	-5 to 35°C: ±0.01°C 35 to 50°C: ±0.05°C
Response	T63<1 sec
Resolution	0.001°C
Sensor Type	Thermistor

Figura 25: specifiche del sensore per la conducibilità

3.3 Limitazioni ed incertezze nella misurazione

Questa metodologia dipende fortemente dalle condizioni della corrente e dalle sue caratteristiche, che potrebbero compromettere l'ottimale mescolamento del sale in acqua falsando così le misurazioni.

È infatti possibile che, nel caso in cui non si scelga un tratto dell'alveo adeguato, il sale possa depositarsi sulle sponde, essere assorbito dalla vegetazione circostante in piccole quantità oppure non miscelarsi in maniera ottimale.

Ma possono sorgere anche altre problematiche perché il sale può reagire con l'acqua oppure intrappolarsi nei sedimenti sospesi.

4. Risultati dell'esperienza

Come affermato precedentemente, grazie al Conducimetro e tramite il procedimento algebrico è stato possibile ricavare il valore della portata q in transito nella sezione d'esame.

L'arco temporale di raccolta dati è stato dal 10/06/2022 al 26/08/2022, per un totale di 4 uscite.

4.1 Relazione tra conducibilità e concentrazione

La sonda multi-parametrica EXO permette di ricavare il valore della conducibilità elettrica dell'acqua "COND" in campo, dato che poi può essere ricondotto al suo valore standard ad una T di 25°C nella variabile "spCOND".

Inizialmente però è fondamentale conoscere la quantità di sale e di acqua utilizzata per la miscela iniziale (il rapporto deve essere generalmente di 5:1 ossia per ogni 5 l di acqua un 1 kg di sale)

Prima di versare la miscela nel flusso idrico è però necessario misurare, tramite la sonda, quello che il valore base della conducibilità nel corso d'acqua e convertirlo inoltre nel valore a 25°C .

Giunti a questo punto, la soluzione di acqua e sale viene versata (10 m più a monte rispetto al punto di rilevamento) in una zona del torrente che permetta una miscelazione ottimale ed eviti che il sale si depositi sui margini (condizioni viste precedentemente).

Concentrazione e conducibilità sono legate tra loro linearmente in quanto maggiore è la quantità di sale disciolti in acqua, maggiore sarà la concentrazione di ioni (ovvero cariche elettriche) e maggiore sarà quindi la conduttività.

La relazione è la seguente:

$$y = bx + a \quad [7]$$

dove a e b sono dei parametri che si ottengono tramite regressione lineare semplice, a partire dalle informazioni sulla soluzione iniziale prima dello sversamento (calibrazione, figura 26).

Il coefficiente b è importante perché permette di passare dai valori di conducibilità a quelli di concentrazione.

Il termine R^2 (compreso tra 0 e 1) che comparirà nei grafici a seguire, è un indicatore della qualità della regressione (più è alto il suo valore più la regressione lineare ha approssimato in maniera corretta perché i punti sono sulla stessa retta).

A livello teorico la perfezione si ha quando $R^2=1$ ma a livello pratico è sufficiente che il valore di $R^2>0.95$.

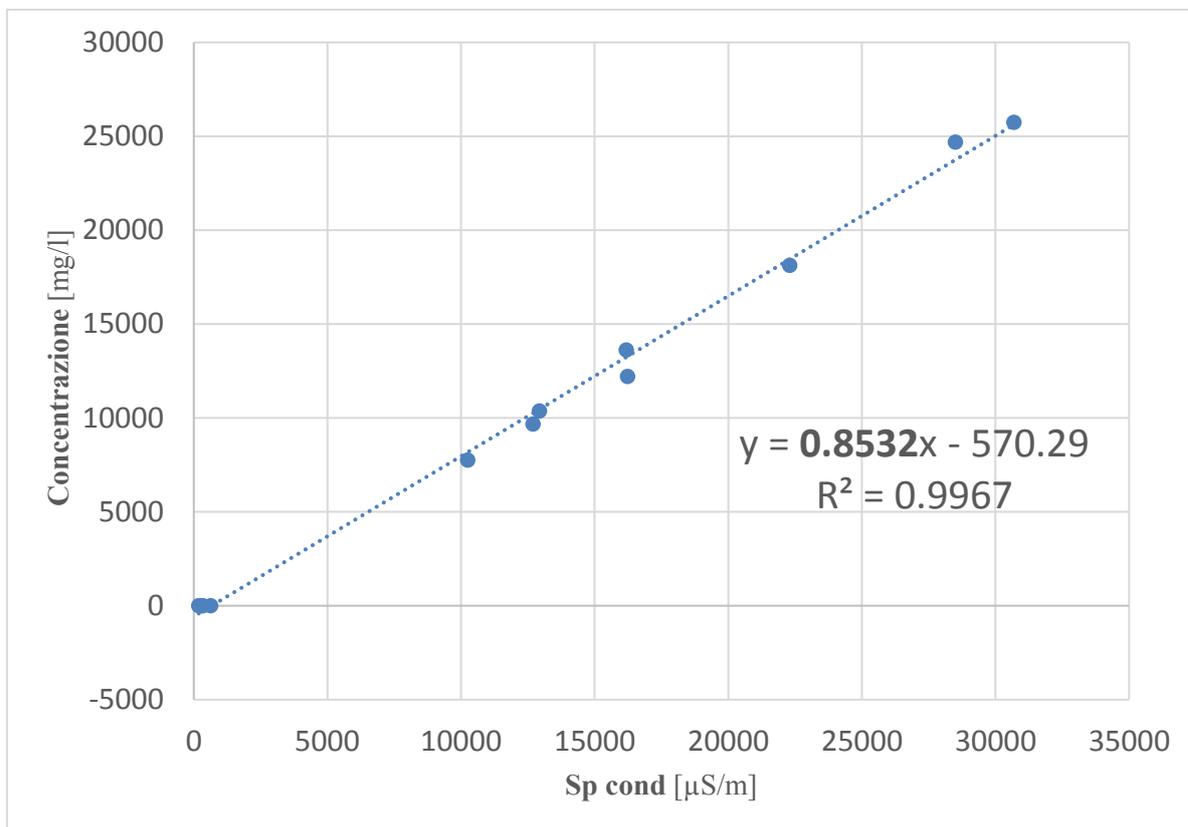


Figura 26: curva concentrazione – conducibilità standard ottenuta tramite la taratura della sonda EXO, combinando i dati di tutte le giornate di misurazione.

Utilizzando i dati della concentrazione e inoltre possibile graficare l'andamento di quest'ultima in funzione del tempo.

4.2 Dati raccolti e grafici dell'esperienza sul Rio Valfredda

A seguire sono presentati in dati raccolti in situ, il grafico concentrazione-tempo e il valore della portata per ciascun giorno di rilevazione sul campo.

La portata è stata ricavata algebricamente (vedi capitolo 3.2).

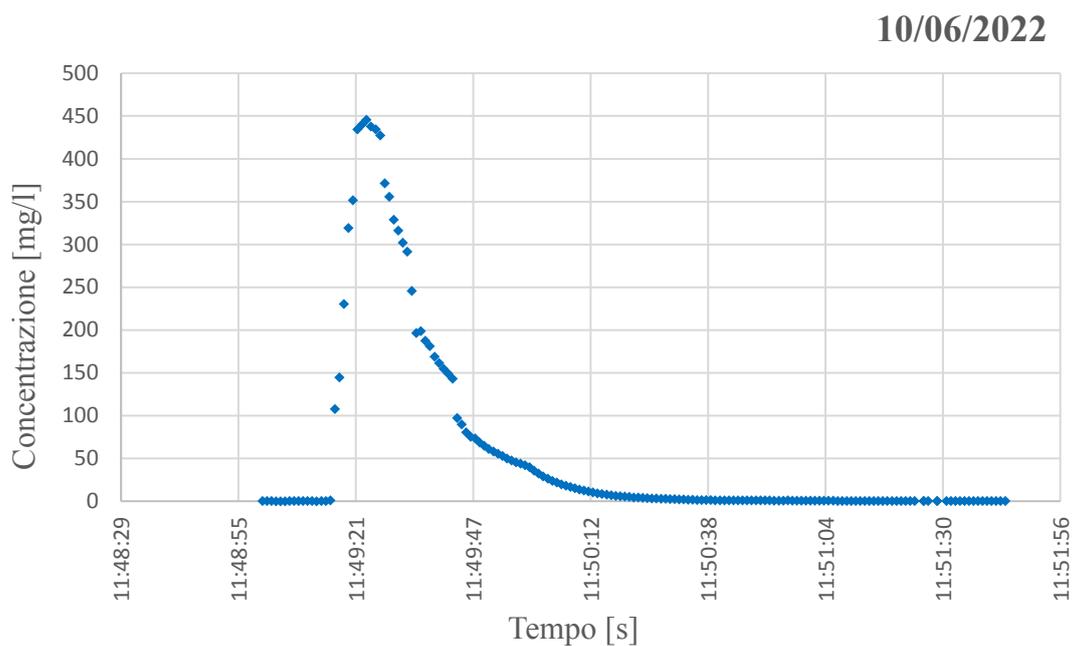


Figura 27: curva concentrazione nel tempo relativa al 10/06/2022.

La portata calcolata in data 10/06/2022 è stata di **222.071** l/s.

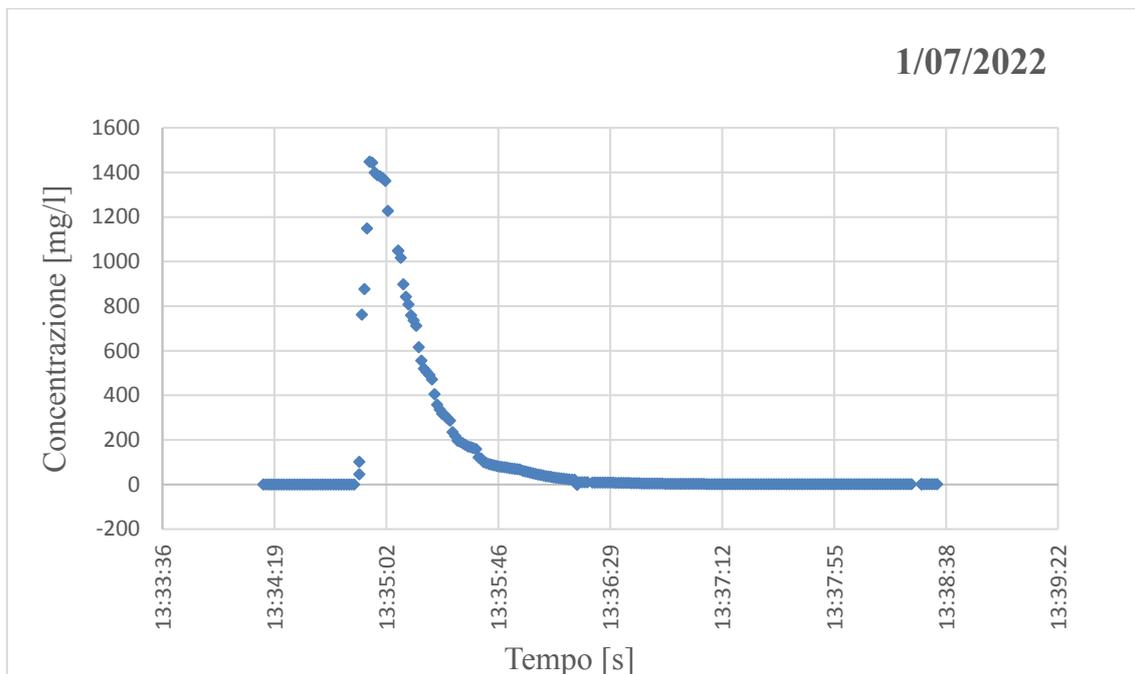


Figura 28: curva concentrazione nel tempo relativa al 1/07/2022.

La portata calcolata in data 1/07/2022 è stata di **63.162** l/s.

15/07/2022

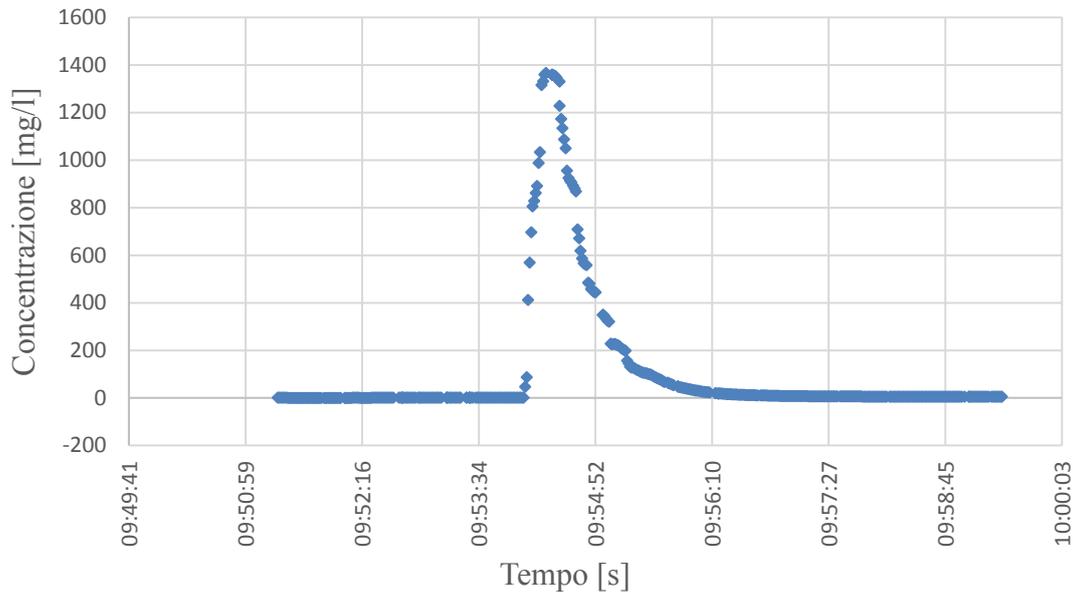


Figura 29: curva concentrazione nel tempo relativa al 15/07/2022.

La portata calcolata in data 15/07/2022 è stata di **39.221** l/s.

26/08/2022

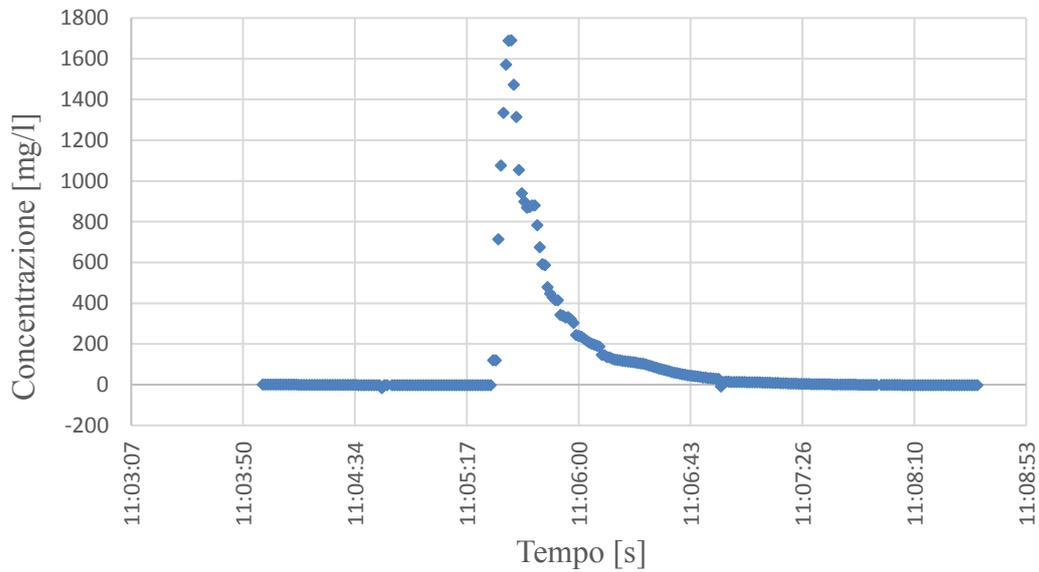


Figura 30: curva concentrazione nel tempo relativa al 26/08/2022.

La portata calcolata in data 26/08/2022 è stata di **65.956** l/s.

4.3 Scala delle portate

Dopo aver stimato il valore della portata q nella sezione d'interesse, è possibile legare la variazione della portata alla variazione delle altezze idrometriche tramite un grafico che prende il nome di *Scala delle portate*.

Nelle ascisse, infatti, sono presenti i valori della portata q mentre nelle ordinate i valori del tirante associato h .

La scala di deflusso si basa sulla legge proposta da Herschy nel 1985:

$$q = a \cdot (h - h_0)^b \quad [8]$$

dove:

- a e b sono dei coefficienti da stimare.
- h_0 indica una stima dello zero idrometrico [m].
- q è la portata [m³/s].
- h rappresenta l'altezza idrometrica [m].

Per ogni portata poi viene affidata la media dei valori dei tiranti rilevati durante l'intera misurazione.

Per ricavare i dati dei tiranti è stato utilizzato il *trasduttore di pressione* presente all'interno della sonda multi-parametrica EXO, il quale raccoglie dati ogni cinque minuti.

Si tratta in particolare di un *trasduttore estensimetrico differenziale* il quale permette di calcolare la profondità sulla base della pressione che viene esercitata dalla colonna d'acqua.

Numerosi elementi influenzano la misurazione della profondità, come ad esempio:

- la pressione barometrica.
- la temperatura.
- la densità dell'acqua.

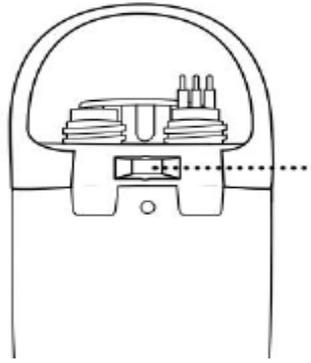


Figura 31: posizionamento del sensore profondità rispetto ad altri sensori della qualità dell'acqua

Per la creazione della curva dei deflussi è stato utilizzato il software “Excel” e sono stati seguiti i seguenti passaggi:

- si trascrivono i dati sulla portata q_{med} [m^3/s] e sui tiranti [m^3].
- si calibra h_0 in modo da massimizzare il valore del coefficiente di R^2 .
- si trovano i valori di $h=h-h_0$.
- si realizza per la sezione di valle il grafico della scala delle portate, dove nelle ordinate sono presenti i valori del tirante $h[m]=h_{med} -h_0$ e nelle ascisse quello della portata $q[m^3/s]$.

A seguire i dati per la stima della *scala delle portate* (figura 32) e la relativa rappresentazione grafica (figura 33).

DATA	q [l/s]	q [m^3/s]	$h-h_0$ [m]	h_0 [cm]
10/06/2022	222.071	0.222	0.253	0.09
01/07/2022	63.162	0.063	0.176	
15/07/2022	39.221	0.039	0.154	
26/08/2022	65.956	0.066	0.170	

Figura 32: Tabella contenente i dati da analizzare relativi alla sezione d'interesse.

SCALA DELLE PORTATE

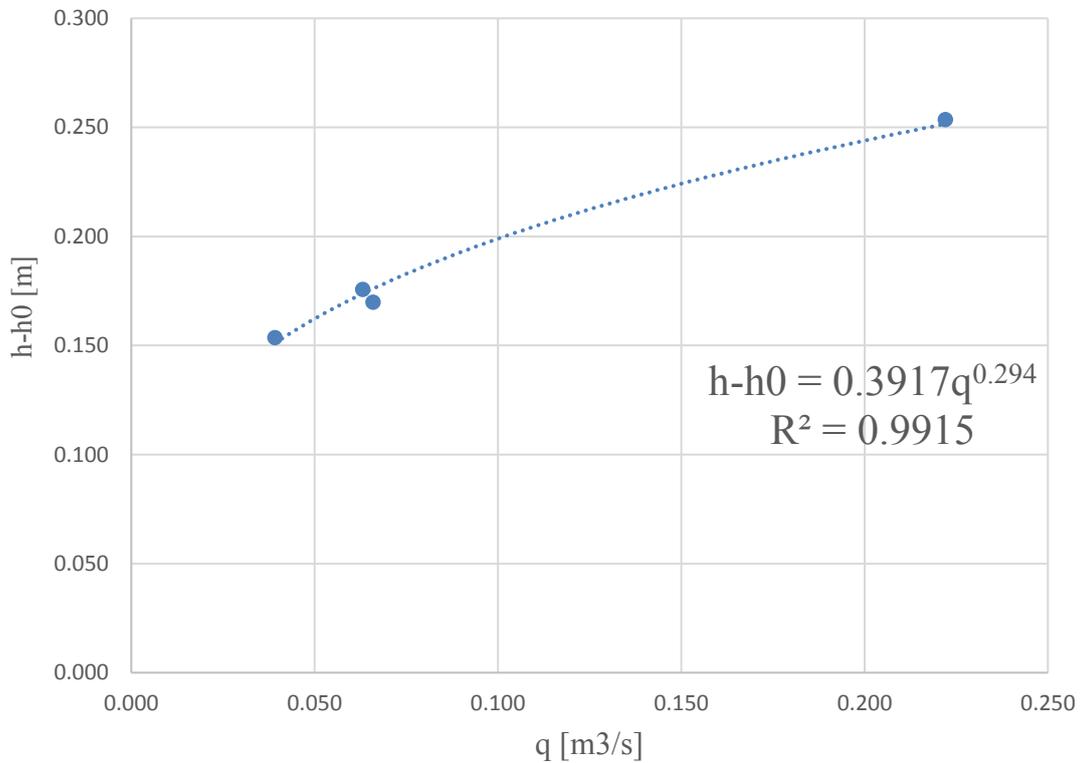


Figura 33: scala delle portate per la sezione d'interesse.

L'andamento della scala delle portate nella sezione d'interesse ha quindi la seguente forma:

$$h - 0.0009 = 0.3917 q^{0,294} \quad [9]$$

La formulazione inversa è la seguente:

$$q = 24,186 (h - 0.0009)^{3.399} \quad [10]$$

Utilizzando poi la formula 10, a partire dai valori del tirante analizzati dal *trasduttore di pressione* è stato possibile ricavare l'andamento della portata in sezione di valle da giugno ad agosto 2022. Il risultato è a seguire (figura 34).

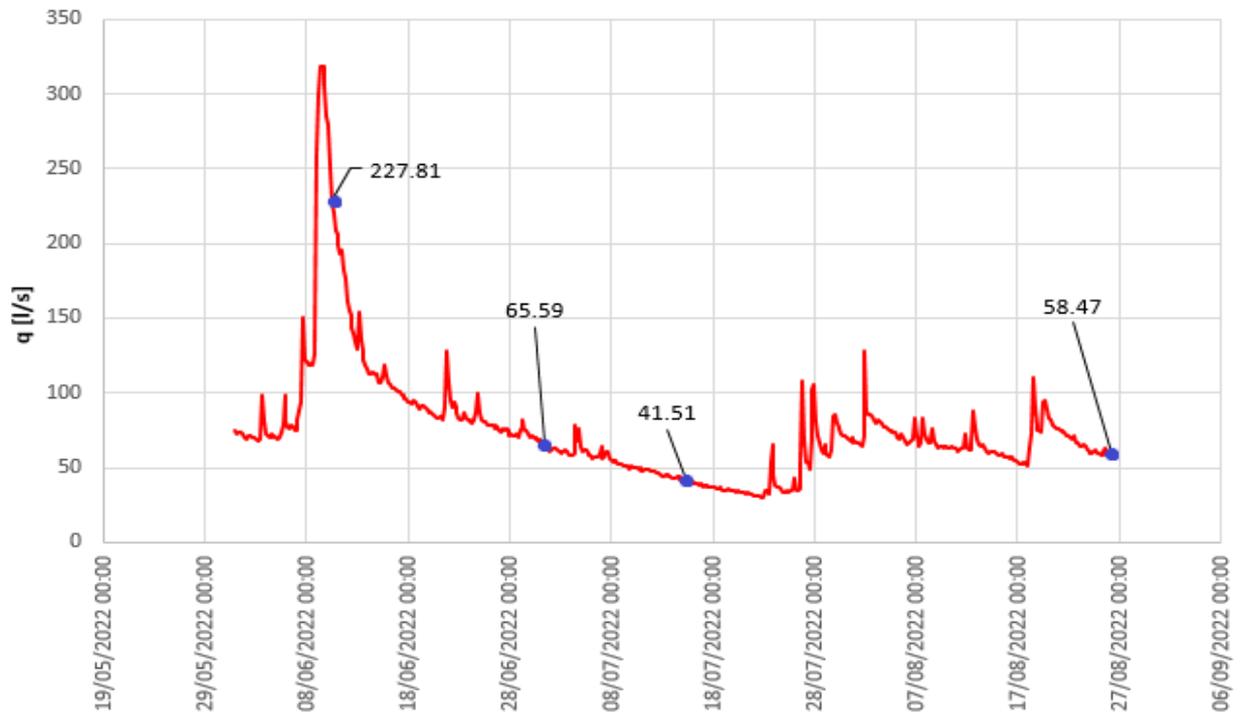


Figura 34: andamento delle portate da giugno ad agosto 2022

Come è possibile notare dal grafico precedente la portata in sezione di valle raggiunge un picco massimo intorno al 9 giugno 2022 per poi avere questo andamento decrescente che raggiungerà il valore minimo di circa 30 l/s intorno al 26 luglio 2022.

Da fine giugno comincia poi un lieve ripresa dei valori, seppure l'andamento sia molto altalenante, fino ai 58,47 l/s del 26 agosto 2022.

Sono ben visibili quindi il periodo di piena evidenziatosi a inizio giugno e il lungo periodo di magra di luglio 2022.

5. Conclusioni

Tramite l'utilizzo degli strumenti presentati e delle misurazioni effettuate è stato possibile realizzare la *Scala delle portate* per la sezione d'interesse (sezione di valle) del Rio Valfredda (BL), nel periodo che va dal 10 giugno al 28 agosto 2022.

È possibile notare come la stima dei deflussi della presente tesi interpoli i dati raccolti tramite una legge di potenza, la quale è tipica della scala delle portate dei corsi d'acqua.

Un altro aspetto interessante è il fatto che le varie portate calcolate registrino un forte calo durante le misurazioni di luglio e agosto, a testimonianza del forte periodo di siccità che ha interessato il territorio nazionale (figura 34).

Uno degli aspetti più importanti di questo lavoro di tesi è che, grazie alla scala delle portate realizzata, sarà possibile in futuro stimare l'andamento continuo delle portate reali del torrente semplicemente analizzando la variazione dei tiranti h in sezione d'esame.

Tuttavia, possono presentarsi delle condizioni per la quale i dati non rientrino nel range di quelli raccolti in questa esperienza, come nel caso di: 1) Variazioni morfologiche del letto del torrente nelle sezioni di misurazione, in quanto porterebbero ad una variazione del livello idrometrico. 2) Alluvioni, piene o condizioni di estrema siccità che porterebbero a dei valori estremi non ancora interpolati.

6. Bibliografia e Sitografia

- Barchesi F. 2014. Analisi sperimentale della portata del fiume Esino in una sezione a Jesi (Ancona, Marche).
- Bolognesi A. 2006. Indagine sperimentale sulle misure di portata mediante tracciante nelle correnti a pelo libero ed applicazioni ingegneristiche a sistemi fognari.
- Dipartimento di scienze della terra e regione Piemonte- direzione agricoltura 2011. Definizione di linee guida per la valutazione delle perdite nei canali irrigui.
- Exo user manual, Advance Water Quality Monitoring Platform.
- Gatto F. 2020. Variabilità spazio-temporale delle precipitazioni in un bacino alpino.
- Ghezzi C. 2019. Misure sperimentali per la stima della scala delle portate in un bacino alpino.
- Idraulica e idrologia lezione 3 (pdf)
https://samv.elearning.unipd.it/pluginfile.php/16706/mod_resource/content/1/Lezione%203%2011032014.pdf
- I traccianti (pdf)
https://moodle2.units.it/pluginfile.php/402419/mod_resource/content/1/Traccianti.pdf
- Ispra 2020. Le attività del Tavolo Nazionale per i Servizi di Idrologia Operativa.
- Marcon F. 2019. Variabilità spazio-temporale della precipitazione in un contesto alpino.
- Mochiutti A. 2013. Le misure di portata, tecniche a confronto.
- Montanari A 2020. Misura dei dati idrologici.
- Montanari A. 2020. Stima della portata e idrogramma di piena.
- Misure delle portate e probabilità di piena (pdf)
https://www.info.gin.admin.ch/dam/bafu_gin/it/dokumente/PDF-messungen-vorhersage-IT.pdf.download.pdf/PDF-messungen-vorhersage-IT.pdf
- Scussel G.R, Saccardo I. 2006. Applicazione di diverse tecniche di misura delle portate eseguite in relazione alla valutazione della risorsa idrica: infiltrazioni dell'alveolo, DMV, apporti sorgentizi.
- Tonin A. 2020. Stima della scala delle portate con il metodo della diluizione salina in un bacino alpino.
- <http://pcfarina.eng.unipr.it/dispensearch01/fontanili139767/fontanili139767.htm#:~:text=Gli%20strumenti%20di%20misura%2C%20si,Venturi%E2%80%9D%20o%20%E2%80%9CVenturimetro%E2%80%9D.>
- https://didattica-2000.archived.uniroma2.it/MCDSE/deposito/mcdse_5a_portata.pdf

- <https://areeweb.polito.it/strutture/cemed/mea/documenti/IPERTESTO%20BARRUERA/portata.htm#:~:text=PORTATA%20%3D%20VELOCITA%20X%20SEZIONE&text=Per%20calcolare%20la%20portata%20specifica, millimetrata%20per%20ricalcarne%20la%20superficie.>
- <https://docplayer.it/54022446-Lezione-n-vi-traccianti-in-idrogeologia.html>