

1222•2022
800
ANNI



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI PADOVA

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

Dipartimento Territorio e Sistemi Agro-Forestali

Corso di laurea triennale in Tecnologie Forestali e Ambientali

**ANALISI DELLE CONDIZIONI CLIMATICHE E DEI FLUSSI
LIQUIDO-SOLIDI IN UN BACINO ALPINO: MONITORAGGIO
MULTISTRUMENTALE NELL'ANNO 2022**

*Analysis of climatic conditions, water- and sediment-fluxes in an alpine
basin: multi-instrumental monitoring of 2022*

Relatore

Dott. Riccardo Rainato

Correlatore

Dott. Giacomo Pellegrini

Laureando
Filippo Turra
Matricola n.
2007860

ANNO ACCADEMICO 2022/2023

INDICE

RIASSUNTO	7
ABSTRACT	9
1. INTRODUZIONE	11
1.1. Bacini montani	11
1.2 Afflussi e deflussi	13
1.3 Morfologia torrenti montani.....	15
1.4 Trasporto solido	19
1.5 Metodi di monitoraggio.....	19
1.5.1 Monitoraggio trasporto solido di fondo	20
1.5.2 Monitoraggio trasporto solido in sospensione	22
2. OBIETTIVI.....	23
3. MATERIALI E METODI	25
3.1 Area studio	25
3.1.1 Vaia	27
3.1.2 Analisi delle condizioni climatiche	27
3.2 Analisi condizioni idrologiche	28
3.3 Trasporto solido in sospensione	29
3.4 Trasporto solido di fondo.....	31
3.4.1 PIT.....	31
3.4.2 Antenna PIT.....	32
3.4.3 Distanziometro laser.....	33
3.4.4 Campionatore Bunte.....	34
4 RISULTATI	37
4.1 Condizioni climatiche	37
4.2 Deflussi liquidi	39
4.3 Trasporto solido in sospensione	39
4.4 Trasporto solido di fondo (PIT)	40
4.5 Trasporto solido di fondo (Bunte).....	41
5. DISCUSSIONI	43
6. CONCLUSIONI.....	47
7. BIBLIOGRAFIA.....	49

INDICE DELLE FIGURE

Figura 1 Idrogramma di piena (D'Agostino 2021).....	14
Figura 2 Cascade.....	15
Figura 3 Esempio di fondo d'alveo caratterizzato da step-pool (J.C. Curran, 2012)	16
Figura 4 Morfologia step-pool.....	16
Figura 5 Morfologia plane bed (Lenzi, 2020)	17
Figura 6 Morfologia riffle-pool	17
Figura 7 Dune ripple (Lenzi,2016)	18
Figura 8 Illustrazione delle morfologie dei corsi d'acqua montani descritte da Montgomery e Buffington (1997)	18
Figura 9 campionatore a canestro	20
Figura 10 Campionatori a trappola con setti di tipo Polvakov (Taffarelli, 2012)	20
Figura 11 Bacino di sedimentazione (Lenzi, 2004)	21
Figura 12 Metodo "organizzato" con aree colorate (Taffarello, 2012).....	21
Figura 13 Clasti colorati dotati di transponder (PIT) (Bertoncello, 2016).....	22
Figura 14 Disposizione tubo protettivo con Levellogger e Barologger all'interno (Martin, 2021)	28
Figura 15 Curva di portata con R2 di 0,925 (Martin, 2020)	29
Figura 16 Posizionamento sonda HydrolabHL04	29
Figura 17 Curva NTU/ g-l (Furlan, 2021)	30
Figura 18 Distribuzione granulometrica PIT e Rio Cordon	32
Figura 19 Schema funzionamento antenna PIT (Linnasaari et al, 2007)	33
Figura 20 Trupulse 200L.....	34
Figura 21 Schema campionatore Bunte (Bunte et al., 2007)	34
Figura 22 Pali metallici coperti da tubi in PVC (a) e da cappuccio plastico (b) (Bunte et al., 2007)	35
Figura 23 Ground plate (in alto a sinistra) e campionatore Bunte (in alto a destra)	35
Figura 24 Andamento della temperatura media mensile nell'anno 2022 e nel periodo 2012- 2022.....	37
Figura 25 Andamento delle precipitazioni nell'anno 2022 e nel periodo 2012-2022.....	38
Figura 26 Idrogramma relativo al Rio Cordon nel periodo 5/05/2022- 1/12/2022.....	39
Figura 27 Trasporto solido in sospensione (arancione) e portata (blu) misurati nel Rio Cordon 40	
Figura 28 Idrogramma con indicate data di installazione (freccia gialla) e date dei monitoraggi con relativa distanza media percorsa dai traccianti (freccie arancioni)	41
Figura 29 Idrogramma con indicate data di installazione del Bunte (freccia gialla) e date dei monitoraggi con relativa quantità di campione raccolto (freccie arancioni).....	42
Figura 30 Distribuzione dei valori di a, b e c nei 16 elementi di maggior dimensione raccolti dal campionatore bunte (monitoraggio del 23 giugno 2023). "x" indica la media, la linea orizzontale la mediana, il pallino gli outliers, i "baffi" il limite superiore e inferiore mentre all'interno della "scatola" sono racchiusi il 50% dei valori.	42

INDICE DELLE TABELLE

Tabella 1 Percentili relativi al materiale superficiale del Rio Cordon.....	27
Tabella 2 Caratteristiche generali sonda Hydrolab HL04.....	30
Tabella 3 Percentili relativi ai PIT e al Rio Cordon.....	32
Tabella 4 Caratteristiche generali Trupulse 200L.....	33
Tabella 5 Temperature medie mensili per l'anno 2022 e per il periodo 2012-2022.....	37
Tabella 6 Precipitazioni mensili nell'anno 2022 e medie mensili nel periodo 2012-2022.....	38

RIASSUNTO

In questo elaborato verranno analizzate le condizioni climatiche e i deflussi liquido-solidi osservati nel bacino del Rio Cordon nell'anno 2022. In particolare, verrà posta attenzione sulle possibili correlazioni che possono sussistere tra i fenomeni presi in analisi e verranno fornite delle ipotesi sulle cause degli eventi registrati. Sono state inizialmente descritte le caratteristiche dei bacini montani e le morfologie che possono contraddistinguere i corsi d'acqua montani. In seguito, sono state presentate le tipologie di trasporto solido e i metodi per monitorarlo. È stata poi presentata l'area studio, che corrisponde al bacino idrografico del Rio Cordon, posto nel comune di Selva di Cadore (BL) ad un'altitudine media di 2200 m, pesantemente interessata dalla tempesta Vaia nell'ottobre 2018. Nell'area studio è presente una stazione meteorologica gestita dall'ARPAV dalla quale è stato possibile ricavare i dati di temperatura e precipitazione utilizzati per le analisi climatiche. Sono stati poi descritti i metodi di monitoraggio delle condizioni idrologiche, del trasporto solido in sospensione e del trasporto solido di fondo. Per l'analisi delle condizioni climatiche, sono stati confrontati i dati di temperatura e precipitazione del 2022 con la decade 2012 – 2022. Dall'analisi è stato possibile osservare come il 2022 sia stato più caldo (temperatura media annua superiore del 13,0%) e poco piovoso (precipitazione annua inferiore del 31,4%) rispetto alla decade presa in analisi. L'analisi dei deflussi liquidi è stata svolta da un *Levelogger* i quali risultati sono stati poi descritti tramite un idrogramma dal quale è possibile osservare un solo evento avvenuto a maggio. Il monitoraggio del trasporto solido in sospensione, effettuato con una sonda multi-parametrica, ha evidenziato un solo grande picco di concentrazione nella seconda metà di maggio 2022. Le analisi del trasporto solido di fondo sono state effettuate tramite dei traccianti PIT, e un campionatore Bunte. Sono state poi formulate ipotesi su possibili correlazioni tra gli eventi accaduti e discussi i risultati ottenuti effettuando confronti con elaborati simili.

ABSTRACT

In this thesis, the climatic conditions, water- and sediment- fluxes of the Rio Cordon basin in the year 2022 will be analyzed. Attention will be focused on the possible correlations that may exist among the phenomena investigated, and hypotheses about the causes of the recorded events will be provided. Initially, it will describe the characteristics of mountain basins and the morphologies that can distinguish mountain watercourses. Subsequently, the types of sediment transport and methods for monitoring them were presented. The study area corresponds to the Rio Cordon basin, located in the municipality of Selva di Cadore (BL) at an average altitude of 2200 meters. This basin was heavily affected by the Vaia storm (October 2018). In the study area, there is a meteorological station managed by ARPAV from which temperature and precipitation data used for climatic analyses were obtained. Then, the thesis will describe the methods for monitoring hydrological conditions, suspended sediment, and bedload transport. For the analysis of climatic conditions, the temperature and precipitation data for 2022 were compared with the decade 2012 - 2022. The analysis revealed that 2022 was warmer (annual average temperature 13.0% higher) and less rainy (annual precipitation 31.4% lower) compared to the decade analyzed. The analysis of water flows was carried out using a Levelogger, and the results were then described with a hydrograph, from which only one event in May could be observed. Monitoring of suspended sediment transport, performed with a multiparameter probe, showed a single large concentration peak in the second half of May 2022. The analysis of bedload transport was carried out using tracers (PITs) and a Bunte sampler. Hypotheses about possible correlations between the events that occurred were formulated, while the results obtained were discussed by comparing them with similar studies.

1. INTRODUZIONE

1.1. Bacini montani

Il bacino idrografico rappresenta la porzione di territorio che raccoglie le acque superficiali provenienti da eventi meteorici e dallo scioglimento nivale per confluire in uno stesso corso d'acqua (Bin, 2019). Puglisi (1977), citato da Mazzucato (2022), lo definisce come il luogo dei punti da cui le acque superficiali di provenienza meteorica ruscellano verso il medesimo collettore. Esso viene definito anche come "bacino tributario apparente" in quanto, a differenza del bacino idrogeologico, non tiene conto di possibili morfologie geologiche che possono deviare alcuni volumi d'acqua verso altri bacini (Ferro, 2013). Per quanto riguarda l'estensione areale del bacino idrografico, esso è compreso tra due linee di displuvio dette anche "spartiacque". La sua delimitazione è basata su un supporto cartografico che considera, oltre che allo spartiacque, punti caratteristici come il "punto di vetta" che è il punto di quota massima, i "punti di sella" compresi tra due rilievi adiacenti e il "punto di conca" ovvero la quote della sezione di chiusura. È poi necessario individuare la sezione terminale o "di chiusura". Se la sezione di chiusura e la foce del corso coincidono, il bacino viene definito "primario", se è posta a monte della foce viene definito "secondario" o "sottobacino". In genere nelle zone montuose e collinari lo spartiacque passa per le creste e le vette, quindi è facilmente identificabile. All'interno del bacino vengono individuati la rete fluviale e i versanti. La rete fluviale è il complesso di collettori fluviali o canali che raccolgono i deflussi superficiali, assieme ai deflussi solidi, e li convogliano fino alla sezione terminale. Le reti fluviali possono essere scomposte in segmenti che vengono posti sui vari rami della rete. Le estremità del reticolo hanno origine da punti detti "sorgenti", mentre il punto di contatto tra due segmenti è denominato "confluenza". Spesso le reti vengono ordinate secondo dei sistemi gerarchici che dipendono dalla disposizione dei rami. Un sistema molto utilizzato è quello di Horton-Strahler che consiste nell'attribuire un numero d'ordine ai vari canali. I canali naturali con numero d'ordine 1, hanno come estremo un punto "sorgente" e non hanno affluenti. Due elementi di 1° ordine nel punto di confluenza danno origine a un segmento di 2° ordine. Due rami di 2° ordine, confluendo, danno origine ad un segmento di terzo ordine e così via fino al ramo principale che avrà il numero d'ordine più elevato. Il numero d'ordine del ramo principale (denominato "k") determina l'ordine del bacino. Se un segmento di ordine n confluisce

con un canale di ordine $n+2$ o superiore viene denominato “anomalo”. Nella rete fluviale i diversi rami del canale principale possono trovarsi nella destra o sinistra idrografica dello stesso, ipotizzando che l’osservatore sia orientato verso valle. Con il termine “versanti” o “pendici” si indicano tutte le superfici che si trovano ai lati della rete sulle quali si abbattono le precipitazioni che verranno convogliate nella rete fluviale stessa. C’è una importante connessione tra i versanti e il reticolo in quanto fenomeni fisici come l’erosione dei versanti può determinare alterazioni nel regime del trasporto solido fluviale. I bacini idrografici sono descritti con delle grandezze fisiche che ne esprimono le caratteristiche. Le grandezze di riferimento sono le seguenti (Benini, 1990):

- Superficie (A): è l’area della proiezione su piano orizzontale del bacino.
- Altezza media o altitudine media (hm): si calcola in seguito alla suddivisione della superficie (A) in superfici parziali (A_i) comprese tra due curve di livello, facendo la media ponderata delle altezze medie (h_i) delle superfici parziali. Si applica la seguente equazione (1):

$$hm = \frac{\sum h_i \cdot A_i}{A} \quad (1)$$

- Pendenza media (im) che si ottiene dalla media ponderata delle pendenze medie (ii) delle superfici parziali (A_i). “e” rappresenta l’equidistanza tra le curve di livello mentre “li” rappresenta la lunghezza delle curve di livello.

$$im = \frac{\sum ii \cdot A_i}{A} = \frac{\sum [(e \cdot li) / A_i] \cdot A_i}{A} = \frac{e \cdot \sum li}{A} \quad (2)$$

- Fattore forma (F) che è costituito da parametri adimensionali che aiutano a comprendere la morfologia del bacino. Dipendono sostanzialmente dall’area (A) e dal perimetro (P) del bacino. L’indice di Gravelius (R_k) (o di uniformità) è dato dal rapporto fra il perimetro (P) del bacino ed il perimetro di un cerchio con area uguale al bacino in esame.

$$R_k = \frac{0,28 \cdot P}{\sqrt{A}} \quad (3)$$

- Densità di drenaggio (Dr) data dalla lunghezza (l) di tutti i collettori di un bacino, diviso l'area del bacino (A)

$$Dr = \frac{\sum l}{A} \quad (4)$$

1.2 Afflussi e deflussi

Dopo aver visto come sono descritti il bacino e il reticolo idrografico, è di fondamentale importanza descrivere le dinamiche idrologiche che avvengono all'interno di essi. L'acqua infatti si muove nel bacino idrografico creando modificazioni ed eventi che possono essere oggetto di studio. È importante ricordare che il percorso dell'acqua sulla superficie ha andamento ciclico, in quanto l'acqua meteorica proveniente dall'atmosfera in forma solida o liquida, torna nell'atmosfera in forma gassosa, dando origine al ciclo dell'acqua. Non tutte le particelle di acqua che giungono nella biosfera però, vanno incontro al medesimo destino. La presenza di vegetazione e suoli più o meno assorbenti possono modificare le dinamiche di parte della precipitazione giunta al suolo che, altrimenti, finirebbe direttamente nel reticolo idrografico. Difatti parte dell'acqua meteorica può essere intercettata e trattenuta dalla parte epigea delle piante, evaporando ancor prima di toccare il terreno. In base poi alla capacità di trattenuta del suolo, una parte più o meno consistente dell'acqua può essere trattenuta nei micropori costituendo la riserva idrica per le piante, oppure percolare nelle falde sotterranee. L'acqua che scorre nella superficie o che viene assorbita dal suolo, torna comunque all'atmosfera tramite evaporazione o traspirazione grazie alle piante (Benini, 1990). Detto ciò risulta di fondamentale importanza quantificare la precipitazione che arriva al suolo, e per fare questo, si usa l'unità di misura detta altezza di precipitazione. Essa è definita come "l'altezza della lama d'acqua che coprirebbe una superficie orizzontale nel caso in cui tutta l'acqua raccolta dalla superficie fosse trattenuta così da formare uno strato di spessore uniforme" (Mazzucato, 2022). Altro parametro da tenere in considerazione è l'intensità di precipitazione, dato dal rapporto tra l'altezza di precipitazione in millimetri (mm) e la durata dell'evento. Il deflusso si genera solo se l'intensità di pioggia è maggiore dell'infiltrazione potenziale del suolo. L'infiltrazione potenziale è definita come il trasferimento dell'acqua dalla superficie agli strati più profondi del suolo, dipende

principalmente dalle caratteristiche del terreno (struttura, tessitura e quantità di sostanza organica) e dallo stato idrologico in cui esso si trova e varia con il progredire dell'infiltrazione stessa (Borga, 2020). Il deflusso può essere considerato come la portata di un corso d'acqua riferita ad una specifica sessione. Analizzando i dati di deflusso si può rappresentare graficamente l'andamento della portata nel tempo tramite l'idrogramma di piena.

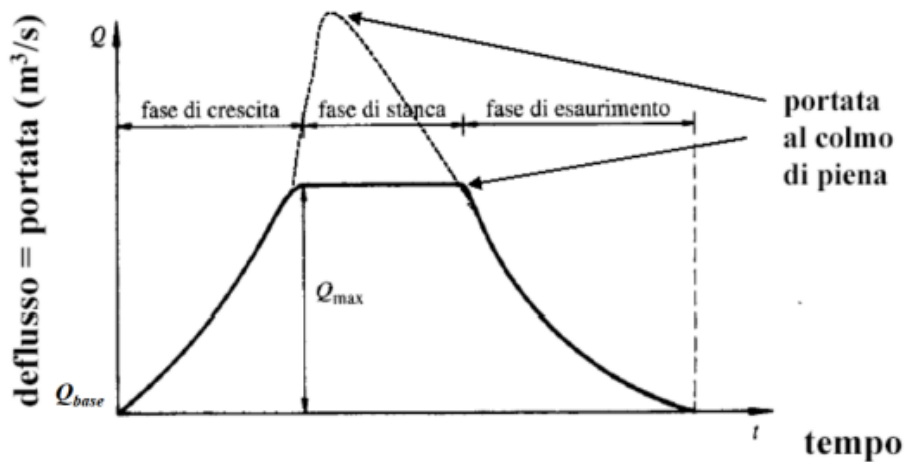


Figura 1 Idrogramma di piena (D'Agostino 2021)

Come si può notare dalla Figura 1, l'idrogramma di piena è basato su un sistema cartesiano in cui l'ascissa rappresenta la variabile tempo (t), mentre nell'ordinata c'è la portata (Q). L'area sottesa alla curva rappresenta il volume totale di acqua defluito e come esso varia nel tempo. Nell'idrogramma di piena sono distinguibili tre sezioni: la fase di crescita in cui il volume defluito cresce in maniera esponenziale fino ad arrivare alla portata di picco. Nella fase di stanca e di esaurimento, i volumi defluiti decrescono in maniera continua, ma progressivamente più lenta (Zaramella, 2023) fino all'esaurimento. Un altro parametro di fondamentale importanza per la stima dei deflussi è il tempo di corrivazione (T_c). Esso è definito come il tempo che una goccia d'acqua caduta nel punto idraulicamente più lontano del bacino, impiega a raggiungere la sezione di chiusura (Benini, 1990). Se l'evento di precipitazione ha durata maggiore o uguale al tempo di corrivazione, tutte le sezioni del bacino daranno contributo al deflusso formato nella sezione di chiusura. Tutto ciò porta ad avere un evento di piena. La piena è definita come

“un significativo e generalmente rapido aumento della portata di un corso d’acqua, dovuto ad un consistente evento di pioggia o allo scioglimento di un rilevante manto nevoso, seguito da una diminuzione, generalmente più lenta, ed al ritorno alle condizioni usuali” (Zaramella, 2023).

1.3 Morfologia torrenti montani

La morfologia fluviale è l’insieme delle caratteristiche che contraddistinguono la forma e la struttura del torrente. Essa non si riferisce ad una caratteristica specifica ma considera tutti quei caratteri che nell’insieme costituiscono il corso d’acqua. La classificazione proposta da Montgomery e Buffington (1997) prevede la suddivisione dei corsi d’acqua montani sulla base della pendenza e delle caratteristiche del fondo. Le morfologie individuate sono:

- *Cascade* (rapida): morfologia caratterizzata da una forte pendenza (7-20%) e da una velocità dell’acqua sostenuta. Il fondale presenta elementi di grande dimensione che dissipano l’energia cinetica dell’acqua favorendo la stabilità del tratto.



Figura 2 Cascade

- *Step-pool*: il profilo longitudinale di questi tratti assume un marcato andamento a gradinate dato dalle sequenze di *step* (scalini) e *pool* (pozze) simile a quello che si ottiene con una serie di briglie di consolidamento.

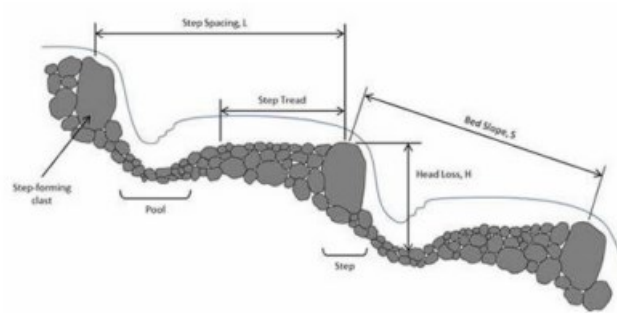


Figura 3 Esempio di fondo d'alveo caratterizzato da step-pool (J.C. Curran, 2012)

In questa morfologia la pendenza si attesta su valori compresi tra 5 e 15%. Generalmente gli *step* sono formati da sedimenti di grosse dimensioni fortemente incastrati tra loro, mentre nelle *pool* troviamo materiale più fine (Pozza, 2019). La morfologia del fondale genera *tumbling flow*, dissipando l'energia dell'acqua che è massima sopra lo *step* e diminuisce nella *pool*.

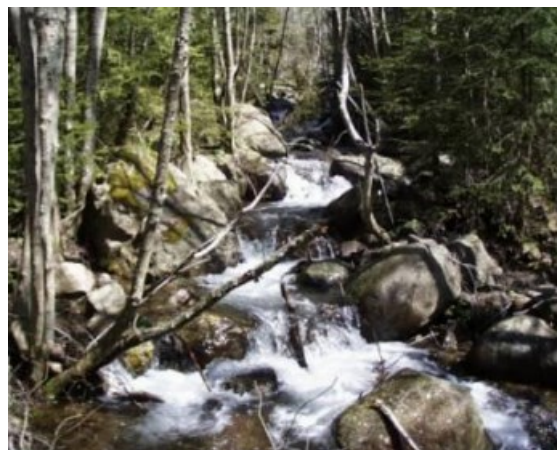


Figura 4 Morfologia step-pool

- *Plane bed* (letto piano): in questo caso la pendenza si attesta su valori che vanno dall'1 al 3%. Questa morfologia è caratteristica dei tratti a valle ma può essere presente anche in ambito montano (Lenzi et al, 2000). L'energia dell'acqua che si sviluppa al loro interno non permette la creazione di corpi sedimentari. Il fondo è costituito prevalentemente da ghiaia e ciottoli.



Figura 5 Morfologia plane bed (Lenzi, 2020)

- *Riffle-pool*: morfologia che alterna tratti a pendenza sostenuta (*riffle*) e tratti più piani (*pool*). Sono caratteristici dei corsi d'acqua naturali pedemontani e di fondo valle (Pozza, 2019). La pendenza in questi corsi è moderata (0,1-2%). La granulometria del fondale può essere discontinua, anche se generalmente prevale la ghiaia.



Figura 6 Morfologia riffle-pool

- *Dune-ripple*: in questi corsi la pendenza è estremamente bassa ($<0.5\%$). Il fondo prevalentemente sabbioso e la corrente molto lenta danno origine a dune e irregolarità del letto.



Figura 7 Dune ripple (Lenzi, 2016)

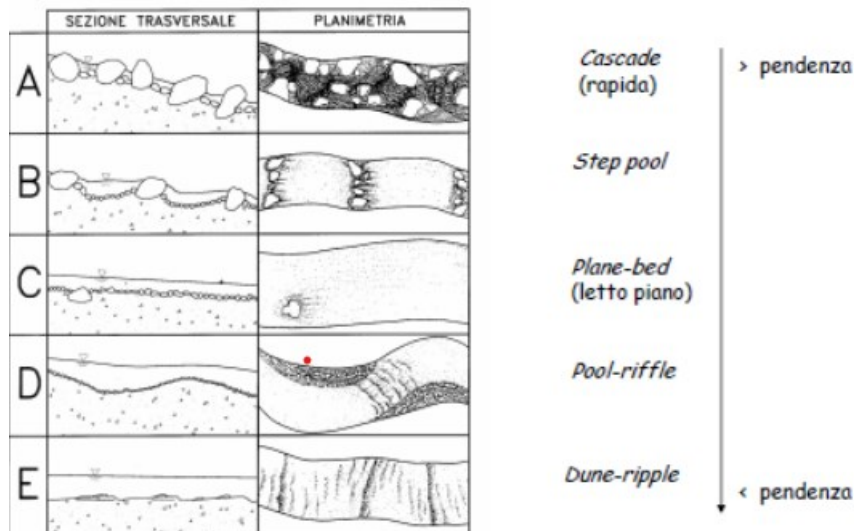


Figura 8 Illustrazione delle morfologie dei corsi d'acqua montani descritte da Montgomery e Buffington (1997)

Sono stati poi descritte da Montgomery e Buffington (1997) altre morfologie dei tratti detti colluviali, in roccia e a morfologia imposta. I tratti colluviali si formano in zone di deposito colluviale, hanno dimensioni contenute e i deflussi che si sviluppano sono troppo deboli per creare trasporto solido. Possono occasionalmente formarsi delle colate detritiche. I tratti in roccia sono invece generalmente confinati all'interno di due pareti rocciose. Vista la natura del fondale e delle sponde le modificazioni sono poco significative nel breve periodo (Pozza, 2019). Presentano maggior ripidità dei tratti colluviali, causando una maggior quantità di trasporto solido. Nei tratti a morfologia imposta ostruzioni causate dalla vegetazione possono modificare il corso andando ad esempio a creare tratti a *step-pool*.

1.4 Trasporto solido

Le correnti idriche che si sviluppano nei corsi di acqua possono mobilitare il materiale solido che è presente nel letto. Questo fenomeno è detto trasporto solido e dipende sia dalle caratteristiche del flusso e sia dalle stesse particelle solide. Esso è un processo irreversibile in quanto il senso degli spostamenti che il materiale solido subisce non può essere invertito (Lenzi, 2010). Le modalità di trasporto solido sono state classificate da Aulitzky (1980), come:

- **Trasporto per fluitazione:** riguarda materiale estremamente leggero (spesso vegetale) che si muove per galleggiamento sulla superficie.
- **Trasporto in soluzione:** il materiale trasportato deriva dalla dissoluzione di rocce come calcare o gesso. In questo caso il trasporto non dipende dalla corrente, ma dalle caratteristiche chimiche del fluido e delle rocce.
- **Trasporto in sospensione:** in questa tipologia di trasporto il materiale mobilizzato si presenta a granulometria fine (sabbia, limo o argilla). Le particelle solide seguono i moti turbolenti della corrente e gli eventi che innescano questo tipo di trasporto sono generalmente di pericolosità trascurabile. Esso comunque è sintomo di erosione dei versanti e alimenta di materiale fine la rete idrografica (Lenzi, 2020).
- **Trasporto solido di fondo:** in questo caso il materiale trasportato si presenta di maggior dimensione. I clasti trasportati possono muoversi per rotolamento, strisciamento o saltazione. In questo caso il movimento viene innescato quando il valore soglia di inizio di trasporto della corrente viene superato. La quantificazione di questa tipologia di trasporto è di fondamentale importanza per la progettazione di opere idraulico-forestali e per la definizione del rischio in caso di eventi connessi. Generalmente la percentuale di volume solido trasportato non supera il 15-20% del volume liquido. In caso la percentuale solida assuma valori tra il 20 e il 30% si parla di correnti iperconcentrate, mentre se raggiunge valori tra il 30 e il 70% si definiscono colate detritiche. Questi fenomeni costituiscono un enorme pericolo per i centri abitati, rendendo necessaria quindi la costruzione di opere idraulico-forestali.

1.5 Metodi di monitoraggio

Come visto in precedenza, le caratteristiche della corrente e delle dinamiche idrauliche nei corsi d'acqua possono innescare eventi di trasporto solido. Monitorare questo

fenomeno è quindi fondamentale per conoscerne l'entità, le variazioni e le relazioni che esso ha con le portate liquide. Esistono diversi metodi di monitoraggio che prevedono l'utilizzo di vari strumenti.

1.5.1 Monitoraggio trasporto solido di fondo

Un metodo diretto prevede il posizionamento di campionatori a canestro dotati di un telaio rigido sul quale è attaccata una rete che raccoglie il materiale mobilitato dalla corrente. Questo metodo è soggetto a errori in quanto il campionario può essere ostruito, intaccandone l'efficacia. Si rende quindi necessario il posizionamento di più campionatori (Pozza, 2019).



Figura 9 campionatore a canestro

Possono essere poi utilizzati dei campionatori a trappola costituiti da un piano metallico sul quale sono posizionati dei setti trasversali che sedimentano il materiale in movimento sul fondo.



Figura 10 Campionatori a trappola con setti di tipo Polvakov (Taffarello, 2012)

Altro strumento di misurazione diretta è il bacino di sedimentazione formato da uno stramazzone metallico per la misurazione dei deflussi, abbinato al quale è presente un vaso per la raccolta dei sedimenti.



Figura 11 Bacino di sedimentazione (Lenzi, 2004)

Esistono poi strumenti più complessi come i segnalatori idrofonici che tramite segnali acustici causati dal movimento dei sedimenti sono in grado di stimarne il flusso. Principio simile è utilizzato dai geofoni che sono dotati di una piastra metallica sulla quale è posto un sensore sismico che percepisce le vibrazioni che il sedimento causa colpendo la piastra. I metodi indiretti prevedono l'utilizzo di sedimenti "traccianti" come ciottoli colorati. Questi possono essere utilizzati anche in modo "organizzato", colorando con vernice resistente all'acqua una piccola area quadrata nel letto del corso, e stimando dopo l'evento di piena gli effetti da essa causati.



Figura 12 Metodo "organizzato" con aree colorate (Taffarello, 2012)

Inoltre, si possono utilizzare dei clasti colorati equipaggiati con *Passive Integrated Transponder* (PIT). In questo caso, all'interno dei clasti viene posizionato un transponder che permette di monitorarne lo spostamento e la mobilità all'interno dell'alveo fluviale. In tal senso possono essere utilizzati anche sensori magnetici o transponder attivi.



Figura 13 Clasti colorati dotati di transponder (PIT) (Bertoncello, 2016)

1.5.2 Monitoraggio trasporto solido in sospensione

Gli strumenti utilizzati per il monitoraggio del trasporto solido in sospensione possono essere:

- a prelievo istantaneo: come le sonde torbidimetriche composte da un recipiente cilindrico dalla capacità di un litro e da due valvole a battente;
- integratori: i quali campionano in un punto assegnato per un certo intervallo di tempo prefissato. Sono costituiti da una bottiglia contenuta all'interno di un involucro plastico o metallico di forma idrodinamica. Possono essere apparecchi integratori puntuali come il modello US DH-95, o apparecchi integratori lungo una verticale come il modello US D-75;
- a misura continua: come i torbidimetri i quali emettono un fascio di luce infrarossa ad un angolo definito. Le particelle solide in sospensione sono in grado di deviare i fasci di luce, i quali vengono captati dagli appositi ricevitori dei quali sono dotati i torbidimetri. La concentrazione solida viene normalmente espressa in mg/l o g/l, mentre la torbidità viene espressa in Unità Neferometriche (NTU).

2. OBIETTIVI

Gli obiettivi del seguente elaborato saranno il monitoraggio e l'analisi delle condizioni climatiche e dei deflussi liquidi e solidi nel bacino montano del Rio Cordon (BL) nell'anno 2022. Verrà posta particolare attenzione, nell'analisi delle condizioni climatiche, alle temperature e precipitazioni medie mensili e annuali. In particolare, al fine di fornire un quadro chiaro sulle dinamiche che le suddette variabili possono subire nel tempo, verrà svolto il confronto tra i valori registrati nell'anno 2022 e quelli registrati nella decade 2012 – 2022. Verrà poi fornita l'analisi delle portate liquide e del trasporto solido monitorati nel 2022. In particolare, verrà posta particolare attenzione al trasporto solido in sospensione (*suspended solid transport*) e sul trasporto solido di fondo (*bedload transport*), e verranno fornite ipotesi su possibili correlazioni che possono intercorrere tra tutte le variabili analizzate.

3. MATERIALI E METODI

3.1 Area studio

L'area studio scelta per le analisi corrisponde al bacino idrografico del Rio Cordon, nel comune di Selva di Cadore (BL). Il bacino idrografico del Rio Cordon è di forma pseudo-pentagonale con l'asse maggiore orientata nella direzione nord-sud e presenta le seguenti caratteristiche morfologiche:

- Area bacino naturale: 7,68 km²
- Area bacino (stazione): 5,07 km²
- Altitudine massima: 2748 m s.l.m.
- Altitudine minima: 1763 m s.l.m.
- Altitudine media: 2200 m s.l.m.
- Lunghezza collettore: 2,84 km
- Pendenza media: 52%
- Pendenza media collettore: 13,6 %
- Portata media: 0,17 m³/s
- Precipitazione media: 1150 mm
- Temperatura media annua: 2° C.

Il bacino del Rio Cordon è delimitato a Nord-Est dallo spartiacque del torrente Fiorentina, a Est si estende fino al Col delle Stelle mentre a Ovest fino alla linea di displuvio che arriva fino a Monte Mondeval (Bin, 2019). Il corso d'acqua che sarà interessato dalle analisi è un affluente destro di terzo ordine del torrente Fiorentina. I deflussi del bacino sono monitorati dal 1985 da una stazione idrologica che sottende 5,07 km² dei 7,68 km² totali del bacino. Per quanto riguarda le caratteristiche meteorologiche dell'area, si può affermare che esse rispecchiano a pieno quelle tipiche dei bacini alpini. Il regime si può definire pluvio-nivale con precipitazioni annue che si attestano su un valore medio di 1180 mm (Rainato et al., 2021). Il periodo che va da novembre ad aprile presenta nevicata. A causa dell'eterogeneità delle condizioni meteorologiche che si verificano durante l'anno si possono individuare tre periodi in cui gli eventi di piena si verificano più frequentemente (Della Fontana 1994):

- Tra maggio e giugno, a causa dello scioglimento nivale;
- Tra luglio e agosto, a causa dei temporali estivi;

- Tra settembre e novembre a causa di precipitazioni prolungate che spesso portano ad una grossa mobilitazione di sedimenti.

La temperatura media annuale si attesta sui 2°C anche se il dislivello tra il punto più alto e quello più basso del bacino (quasi mille metri s.l.m. di differenza) può far intuire quanto questo dato possa variare alle diverse altitudini. Per quanto riguarda la morfologia, il bacino del Rio Cordon può essere suddiviso in tratti con caratteristiche differenti (Friz et al. 1992), ovvero:

- Tratto superiore anche detto “*Spiz de monteval – Beco di mezodi*” contraddistinto da rilievi aspri e pareti che rendono il reticolo idrografico pressoché inesistente;
- Tratto centrale “*Monteval de Sora*” che presenta una morfologia dolce ed un reticolo marcato e permanente;
- Tratto inferiore “*Monteval de Sote*” caratterizzato da morfologie variabili, il reticolo si presenta molto sviluppato e permanente con accumuli di detrito.

A causa della scarsa pendenza del tratto centrale, i detriti più grossolani derivanti dal tratto superiore tendono a non arrivare alla sezione di chiusura. Difatti il materiale di maggiore dimensione presente nel tratto inferiore del bacino deriva soprattutto dalla parte meridionale di esso (Bin, 2019). L’uso del suolo del bacino del Rio Cordon è quello tipico delle zone montane, in particolare, possono essere individuate tre differenti cenosi (Cattaneo e Viola, 1992):

- Formazioni boscate: presenti nella parte meridionale del bacino. Composte soprattutto da *Picea abies* e *Larix decidua* anche se sono presenti specie ripariali come *Alnus viridis*;
- Cenosi arbustive: presentano piante di altezza inferiore a 40 cm. Si trovano soprattutto nelle zone non pascolate che delimitano il bosco. Specie più presenti *Rhododendron spp*;
- Cenosi erbacee: composte da specie non legnose e non suffruticose.

In particolare, la copertura del bacino del Rio Cordon è caratterizzata da componente arborea per il 7%, da componente arbustiva per il 18%, con associazioni erbacee e suolo nudo che coprono il 61% e 14% rispettivamente. Le aree di sorgente sono presenti sul 5,2% del bacino (Rainato et al., 2017). In questo senso le aree sorgenti di sedimento sono di diversa natura: le ghiaie moreniche prevalgono nella parte superiore; frane superficiali, depositi prodotti dal *debris flow* ed erosioni spondali nella parte inferiore del bacino. Il torrente Rio Cordon è caratterizzato da una pendenza media del 13,6 % e morfologia del fondo prevalentemente tra *step-pool* e *cascade* (Bovo, 2013). La portata media è di 0,17

m³/s mentre la larghezza media dell'alveo, profondamente alterata dalla tempesta Vaia nella parte terminale del collettore, è ora pari a 20,0 m (Pellegrini et. al., 2021). La granulometria superficiale del materiale d'alveo è riportata in Tabella 1.

	Dx (mm)
D ₅	7
D ₁₆	13
D ₄₀	33
D ₅₀	48
D ₈₄	218
D ₉₀	309
D ₉₅	431

Tabella 1 Percentili relativi al materiale superficiale del Rio Cordon

3.1.1 Vaia

È di fondamentale importanza ricordare che il bacino del Rio Cordon è stato direttamente interessato dalla tempesta “Vaia” tra il 27 e il 30 ottobre 2018. Durante quei giorni sono stati registrati venti fino a 200 km/h e precipitazioni superiori alla media annuale. In particolare, nell'area studio sono stati registrati 331,2 mm di pioggia, pari al 28% della precipitazione media annua (Rainato et al., 2021). Considerando gli intervalli temporali a 5, 15 e 30 minuti sono state registrate intensità rispettivamente di 4,2/7,0/12,4 mm con portata di piena pari a 16,4 m³/s (Rainato et al., 2019). Per avere un confronto basti pensare che la portata a piene rive del Rio Cordon era di 2,3 m³/s (Bin, 2019). Ciò ha causato l'attivazione di numerose aree sorgenti di sedimento con conseguente mobilitazione di una grande quantità di materiale solido (≈ 7000 m³) ed un evidente alterazione della planimetria dell'alveo e dell'intero sistema fluviale.

3.1.2 Analisi delle condizioni climatiche

La stazione metereologica presente nel Rio Cordon è gestita dall'Agenzia Regionale per la Protezione Ambientale della Regione Veneto (ARPAV) e monitora in continuo (misura oraria) temperatura dell'aria, umidità, precipitazioni, pressione atmosferica e radiazione solare. Per quanto riguarda le caratteristiche climatiche sono stati utilizzati i dati raccolti dalla stazione metereologica ARPAV “Ponte Rio Cordon” nell'anno 2022. In particolare, sono stati presi in analisi la temperatura e le precipitazioni, mettendo a confronto i valori dell'anno 2022 con i valori dell'ultimo decennio.

3.2 Analisi condizioni idrologiche

Il monitoraggio costante delle condizioni idrologiche del Rio Cordon è possibile grazie all'installazione di un sensore *Levellogger*. Il *Levellogger* è uno strumento a batteria che misura il livello idrometrico ed è posto all'interno di un tubo in PVC in posizione verticale. I dati raccolti dal *Levellogger*, basati sulla pressione e temperatura dell'acqua, vengono salvati nello strumento e possono essere scaricati tramite software o applicazioni. La registrazione dei dati avviene ogni 15 minuti. Il *Levellogger* è accoppiato ad un altro strumento, il *Barologger*, che ha il compito di misurare con precisione la pressione atmosferica in modo da compensare le variazioni del livello dell'acqua e ottenere così risultati più precisi. Per passare poi da livello idrometrico a portata effettiva (Q), è stata utilizzata la formula (equazione 5) creata da Martin (2021) con il metodo della diluizione salina ad immissione del tracciante, basata su 29 misurazioni fatte tra il 2 ottobre 2020 e il 19 maggio 2021. Questo metodo (diluizione salina) si basa sulle ipotesi che il tracciante raggiunga la sezione di campionamento uniformemente mescolato, che il deflusso si mantenga costante per tutto il periodo di campionamento e che tra il punto di immissione e il punto di campionamento non siano presenti variazioni di portata.

$$Q = 0.104e^{7.3598y} \quad (5)$$



Figura 14 Disposizione tubo protettivo con *Levellogger* e *Barologger* all'interno (Martin, 2021)

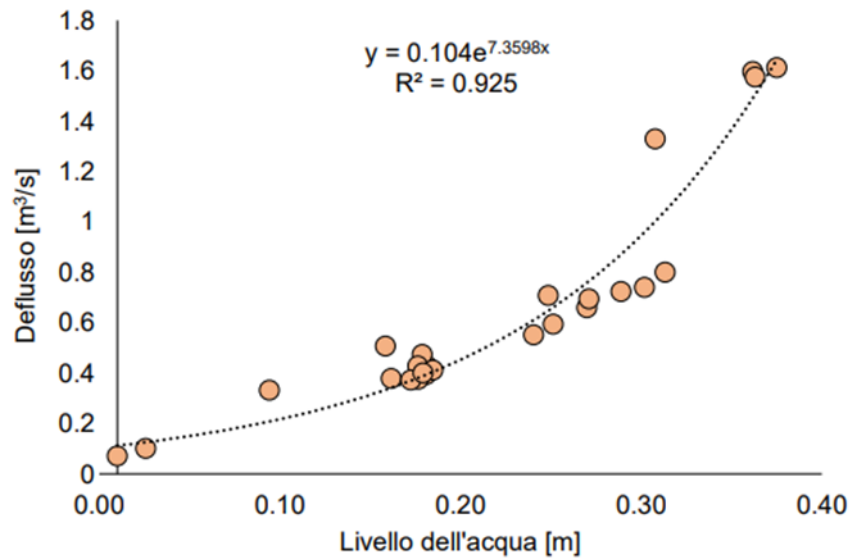


Figura 15 Curva di portata con R2 di 0,925 (Martin, 2020)

3.3 Trasporto solido in sospensione

Per le analisi del trasporto solido in sospensione è stata utilizzata la sonda multiparametrica *Hydrolab HL04*. La sonda di forma cilindrica è posta all'interno di un tubo di plastica immerso nell'acqua. È alimentata da una batteria ricaricabile da 12 V ed è dotata anche di una batteria di emergenza. La funzione della sonda è quella di misurare ad intervalli di 15 minuti la temperatura, conduttività, pH e torbidità dell'acqua. La sonda è accoppiata ai sensori *Levellogger* e *Barologger* autonomi per quanto riguarda alimentazione e raccolta dati (Furlan, 2021). La sonda è poi dotata una memoria di 4 GB permettendo la raccolta di dati anche in lunghi periodi di tempo.

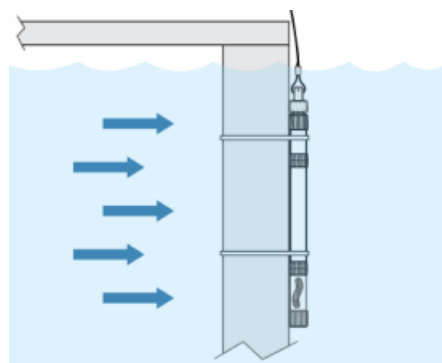


Figura 16 Posizionamento sonda HydrolabHL04

Dimensioni	62,2 cm x 4,4 cm
Peso	2,2 kg
Profondità massima	200 m
Sensori	Temperatura, conduttività, torbidità, pH
Temperatura di utilizzo	-5°C +50°C

Tabella 2 Caratteristiche generali sonda Hydrolab HL04

Per determinare la quantità di trasporto solido in sospensione movimentato durante il periodo di studio è stata utilizzata una curva NTU – g/l, la quale esprime la relazione tra NTU (Unità Neferometrica) misurata dalla sonda multiparametrica e la concentrazione del sedimento in sospensione (g/l). La suddetta curva è stata creata per il Rio Cordon da Furlan (2021) tramite le analisi svolte nel periodo tra luglio 2020 e giugno 2021. Al fine di determinare la curva sono state svolte delle analisi in laboratorio che hanno previsto la filtrazione e l'essiccazione della componente solida di 16 campioni di acqua raccolti nell'area studio. Da tale analisi, Furlan (2021) ha ricavato l'equazione (6):

$$SSL = 0.0009 NTU + 0.0443 \quad (6)$$

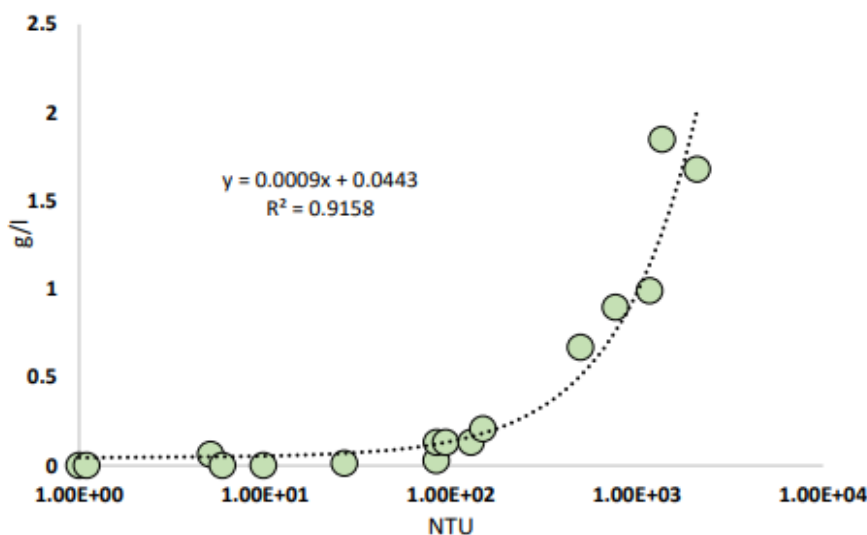


Figura 17 Curva NTU/g-l (Furlan, 2021)

3.4 Trasporto solido di fondo

Per monitorare il trasporto solido di fondo sono stati utilizzati dei *transponder* passivi (PIT) inseriti in singoli clasti. Ogni PIT è associato ad un codice numerico leggibile da una antenna che ha anche il compito di rilevare i PIT immersi nell'acqua. Per ottenere la distanza tra il punto di rilascio e il punto di ritrovamento dei PIT è stato utilizzato un distanziometro laser *Trupulse 200L*. Il monitoraggio del trasporto solido di fondo è stato integrato anche dall'uso di un campionatore Bunte.

3.4.1 PIT

I PIT (*Passive Integrated Transponder*) sono sensori che basano il loro funzionamento sulla tecnologia RFID (*Radio Frequency Identification*). Ne esistono di tre tipologie in base al funzionamento (Bertoncello, 2016):

- PIT attivi: dotati di una batteria che li mantiene sempre attivi e un trasmettitore di posizione. Possono essere individuati fino a 100 metri di distanza.
- PIT semi-attivi: dotati di batteria ma non di trasmettitore di distanza. Possono essere utilizzati fino a qualche decina di metri.
- PIT passivi: non essendo alimentati da una batteria, devono essere sollecitati dall'antenna PIT tramite dei segnali radio. Possono essere individuati nel raggio di 1 metro.

Questi strumenti si sono rivelati estremamente utili e versatili nello studio delle dinamiche fluviali data la piccola dimensione e i costi contenuti (Lenzi, 2004; Dell'Agnese et al. 2015). I sensori PIT sono inseriti all'interno di clasti colorati e ad ognuno di essi è assegnato un codice identificativo (ID) che ne permette l'immediato riconoscimento. I PITs possono poi essere individuati all'interno del corso d'acqua tramite l'antenna PIT in modo da poter calcolare la distanza percorsa dal luogo di rilascio. È importante che il posizionamento dei PIT sia fatto in modo da evitare possibili dinamiche quali esclusione dalla zona di monitoraggio o sotterramento causato da clasti di maggiori dimensioni che potrebbero portare poi a errori nella lettura dei risultati. Nel monitoraggio oggetto di questo elaborato, i PIT installati in data 3 giugno 2022 sono 93, con diametri che vanno da 36 mm a 240 mm e con diametro medio di 84,8 mm.

Fx	Dx (mm)	
	PIT	Rio Cordon
D ₅	44	7
D ₁₆	54	13
D ₄₀	75	33
D ₅₀	85	48
D ₈₄	124	218
D ₉₀	146	309
D ₉₈	186	431

Tabella 3 Percentili relativi ai PIT e al Rio Cordon

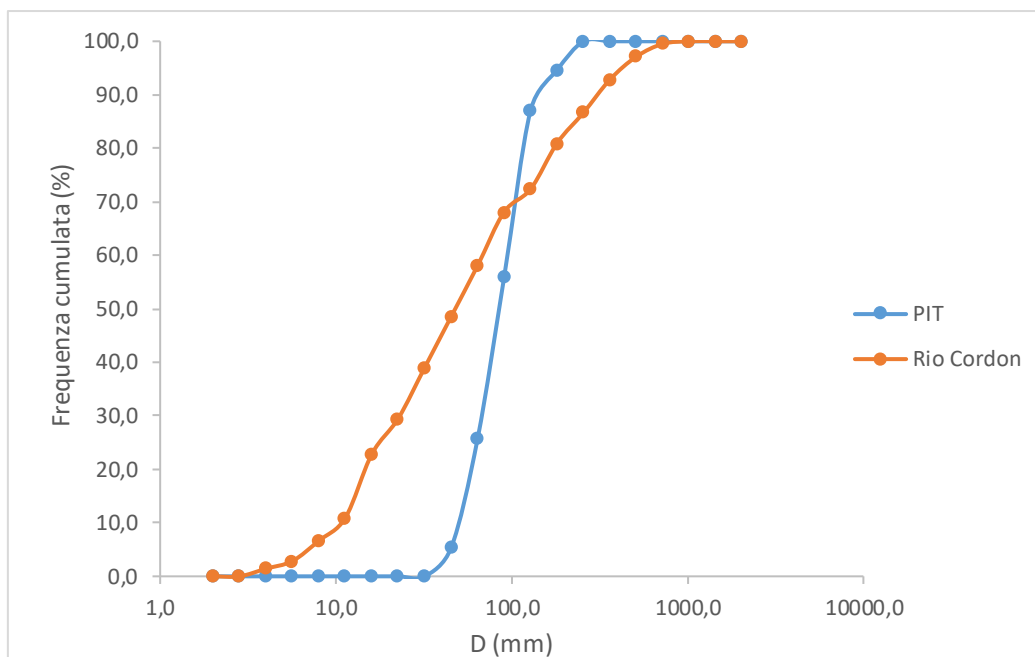


Figura 18 Distribuzione granulometrica PIT e Rio Cordon

3.4.2 Antenna PIT

L'antenna PIT è uno strumento utilizzato per identificare i PIT che sono collocati nel corso d'acqua grazie alla tecnologia "Radio Frequency identification" (RFID) che permette la rilevazione di onde a bassa frequenza (134 kHz) emesse dai trasponder. L'antenna è composta da un manico telescopico alla cui estremità è posto un anello di alluminio di 53 cm di diametro. È presente poi un piccolo schermo LCD. Una volta che l'antenna si trova in prossimità del PIT emette un segnale acustico e nel display è possibile leggere l'ID del PIT individuato. Questa antenna è alimentata da una batteria a 12 V che può essere trasportata in uno zaino (Bertoncello, 2016).

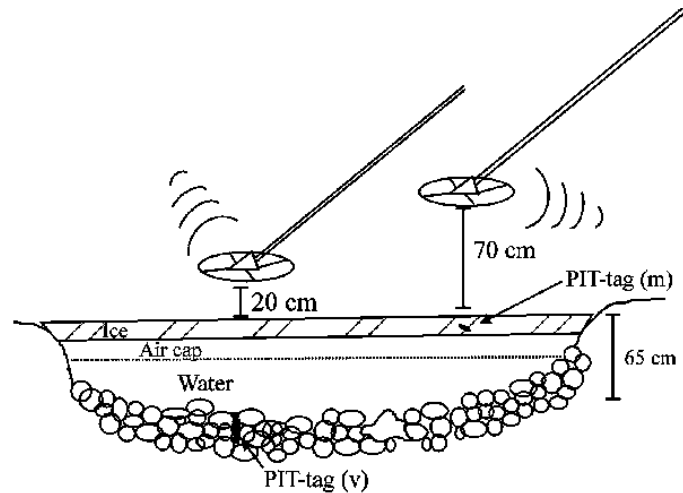


Figura 19 Schema funzionamento antenna PIT (Linnasaari et al, 2007)

3.4.3 Distanziometro laser

Il distanziometro laser è utilizzato per misurare la distanza tra il punto di rilascio e il punto di ritrovamento dei PIT. Per calcolare la distanza, il distanziometro calcola il tempo che intercorre tra l'emissione del laser e la restituzione di quest'ultimo allo strumento, dopo aver colpito una superficie riflettente. Il modello utilizzato è il *Trupulse 200L* e ha una portata di 1750 metri.

Peso	220 g
Dimensioni	11,5 cm x 10 cm x 5 cm
Autonomia batteria	Minimo 8 ore di accensione continua
Temperatura di esercizio	-20° C +60° C
Ottica	Ingrandimento 4x
Display	In -scope LCD
Unità di misura	Piedi, iarde, metri e gradi

Tabella 4 Caratteristiche generali *Trupulse 200L*



Figura 20 Trupulse 200L

3.4.4 Campionatore Bunte

Il campionatore Bunte è formato da un telaio metallico con un'apertura a cui è collegata una rete di nylon atta al raccoglimento dei sedimenti. Il telaio, di forma rettangolare, è largo 31,8 cm e alto 10,2 cm. La rete può presentare buchi di 3,6 mm o 5,0 mm ma alcuni studi hanno richiesto l'utilizzo di reti con buchi di 10 mm (Bunte, 1996) e 32 mm (Whitaker & Potts, 1996) a seconda del materiale di studio.

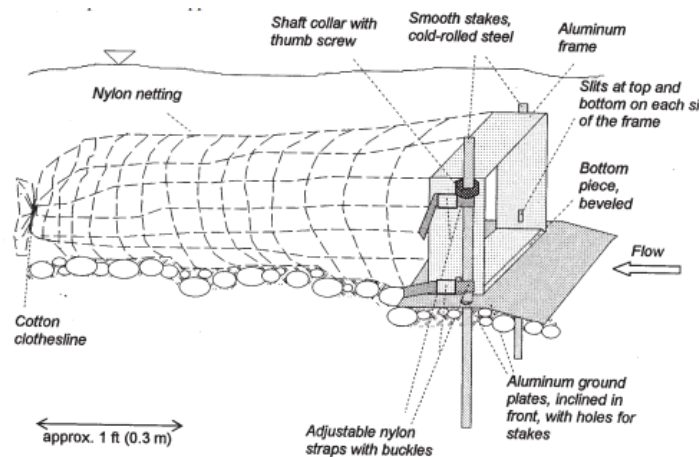


Figura 21 Schema campionatore Bunte (Bunte et al., 2007)

Il telaio del campionatore è fissato al fondo del corso d'acqua tramite un *ground plate* che è fissato a sua volta al campionatore tramite degli *straps* tenuti fermi da speciali viti dette "*shaft collars*" che li tengono in posizione. Il *ground plate* è fissato al suolo con dei pali metallici in acciaio con lunghezza compresa tra i 0,75 m e 1,20 m in modo da evitare il possibile ribaltamento del campionatore causato dal flusso idrico. I pali metallici vengono dotati all'estremità di un cappuccio in materiale plastico a forma arrotondata o

coperti da tubi in PVC in modo da facilitarne l'individuazione e per evitare possibili infortuni in caso di scivolamento dell'operatore.

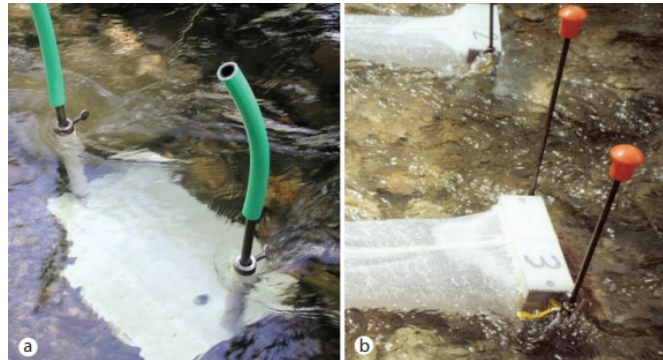


Figura 22 Pali metallici coperti da tubi in PVC (a) e da cappuccio plastico (b) (Bunte et al., 2007)

I campionatori Bunte possono essere utilizzati anche in numero superiore a uno disponendoli sul letto del corso.

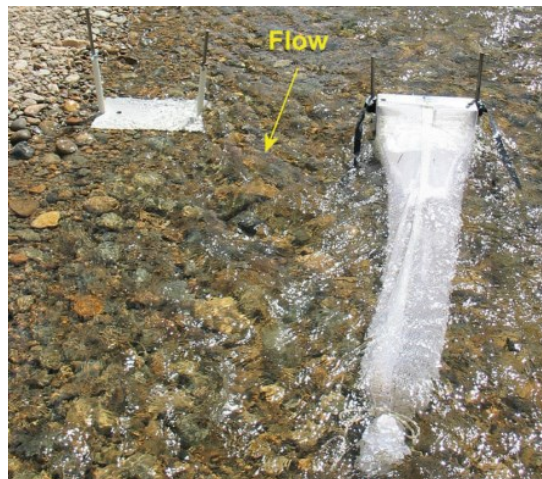


Figura 23 Ground plate (in alto a sinistra) e campionatore Bunte (in alto a destra)

4 RISULTATI

4.1 Condizioni climatiche

L'analisi delle condizioni climatiche è stata svolta confrontando le temperature medie e le precipitazioni del 2022 con la media dei valori rilevati nella decade 2012-2022. I dati, raccolti dalla stazione "Ponte Rio Cordon", sono resi disponibili dall'ARPAV nell'omonimo sito.

Temperature medie mensili (°C)		
	2022	2012-2022
Gennaio	-3,0	-4,3
Febbraio	-2,7	-3,5
Marzo	-1,2	-0,6
Aprile	1,6	2,3
Maggio	8,4	5,9
Giugno	12,5	10,9
Luglio	14,0	12,7
Agosto	12,3	12,2
Settembre	7,4	8,6
Ottobre	7,8	5,3
Novembre	0,5	1,1
Dicembre	-2,7	-2,5
Media	4,6	4,0

Tabella 5 Temperature medie mensili per l'anno 2022 e per il periodo 2012-2022

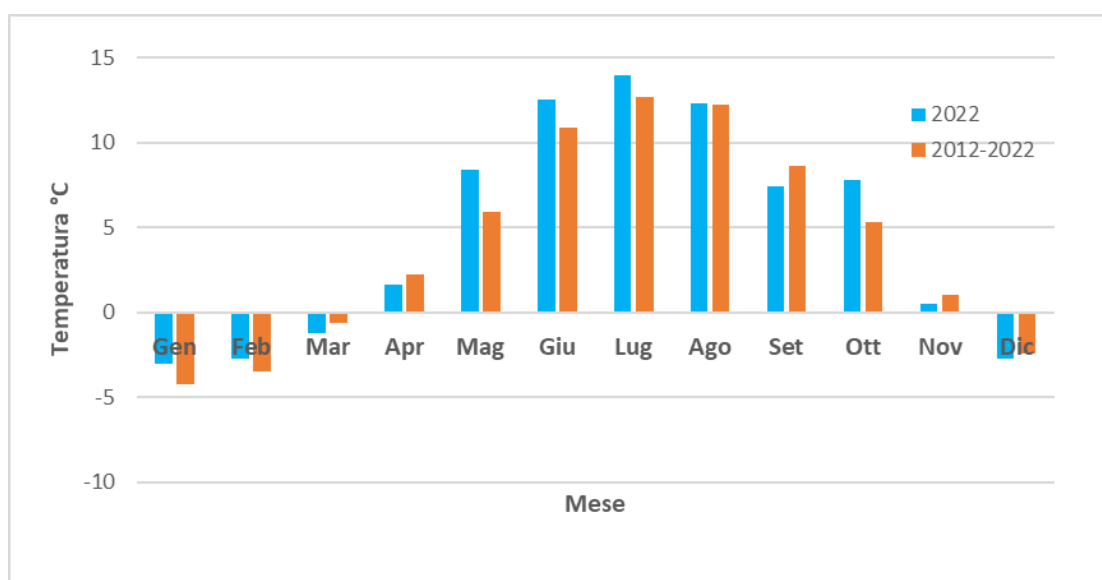


Figura 24 Andamento della temperatura media mensile nell'anno 2022 e nel periodo 2012-2022

Come si può notare in Figura 24 entrambi gli intervalli temporali analizzati, luglio si è rivelato essere il mese più caldo e gennaio quello più freddo. Nel 2022, i mesi di maggio, giugno, luglio e ottobre sono stati più caldi rispetto alla media della decade 2012-2022

rispettivamente del 29,7%, 12,8%, 9,3% e 28,2%. Nel complesso, la temperatura media registrata nel 2022 è stata superiore del 13,0% rispetto alla decade 2012 – 2022.

Precipitazione mensile (mm)		
	2022	2012-2022
Gennaio	21,4	62,2
Febbraio	34,0	70,9
Marzo	7,8	70,7
Aprile	93,6	105,3
Maggio	110,4	151,1
Giugno	138,0	136,8
Luglio	126,2	159,0
Agosto	167,8	162,8
Settembre	123,2	117,9
Ottobre	30,8	134,3
Novembre	70,4	175,0
Dicembre	72,2	95,0
Precipitazione annua	923,6	1346,1

Tabella 6 Precipitazioni mensili nell'anno 2022 e medie mensili nel periodo 2012-2022

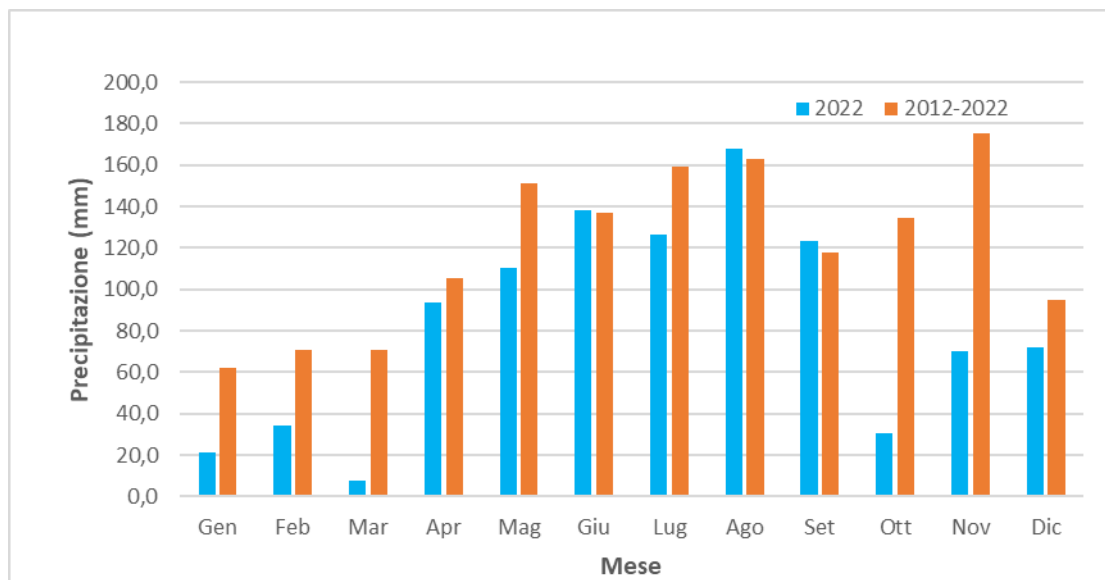


Figura 25 Andamento delle precipitazioni nell'anno 2022 e nel periodo 2012-2022

Osservando la tabella 6 si può affermare che l'anno 2022 sia stato un anno poco piovoso vista la differenza del -31,4% rispetto alla decade 2012-2022. È interessante notare come i mesi di marzo, maggio, ottobre, novembre e dicembre del 2022 abbiano mostrato valori di precipitazione molto inferiori rispetto alla decade con differenze rispettivamente del -88,0%, -36,8%, -77,1%, -59,8% e del -31,6% (Figura 25).

4.2 Deflussi liquidi

I deflussi liquidi sono stati calcolati applicando l'equazione 5 creata da Martin (2021) partendo dal livello idrometrico misurato a intervalli di 15 minuti dal *Levelogger*. Le misurazioni sono state svolte nell'intervallo di tempo 5 maggio 2022 - 1 dicembre 2022. Dall'idrogramma è possibile notare come, nel periodo di tempo analizzato, ci sia stato un evidente picco di portata in data 16 maggio 2022 (Figura 26).

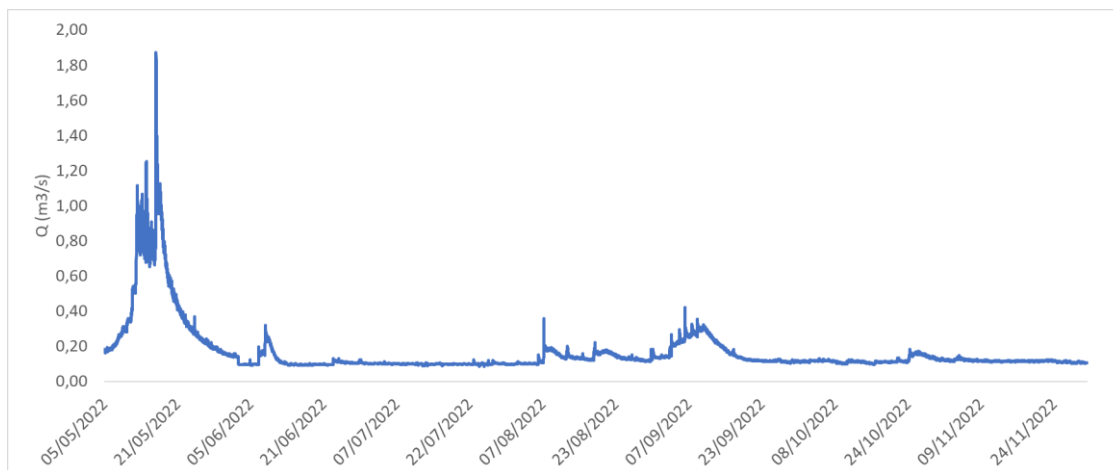


Figura 26 Idrogramma relativo al Rio Cordon nel periodo 5/05/2022- 1/12/2022

L'idrogramma mostra come le portate maggiori si concentrino nel periodo primaverile, che coincide con il periodo di inizio dello scioglimento nivale. Il 16 maggio 2022 alle ore 18:45 è stato registrato il picco massimo del periodo con una portata di $1,87 m^3/s$. Nel periodo estivo/autunnale è possibile osservare un picco che si è verificato il 6 settembre 2022 con una portata di $0,42 m^3/s$. La portata media del periodo è stata di $0,17 m^3/s$, valore che non si discosta dalla portata media del corso d'acqua.

4.3 Trasporto solido in sospensione

Il trasporto solido in sospensione è stato calcolato a partire dai livelli di torbidità (NTU) misurati dalla sonda multiparametrica nell'intervallo di tempo 5 maggio 2022 – 1 dicembre 2022 (Figura 27). Per risalire alla concentrazione di materiale solido in sospensione in g/l è stata utilizzata l'equazione 6 creata da Furlan (2021) per il Rio Cordon.

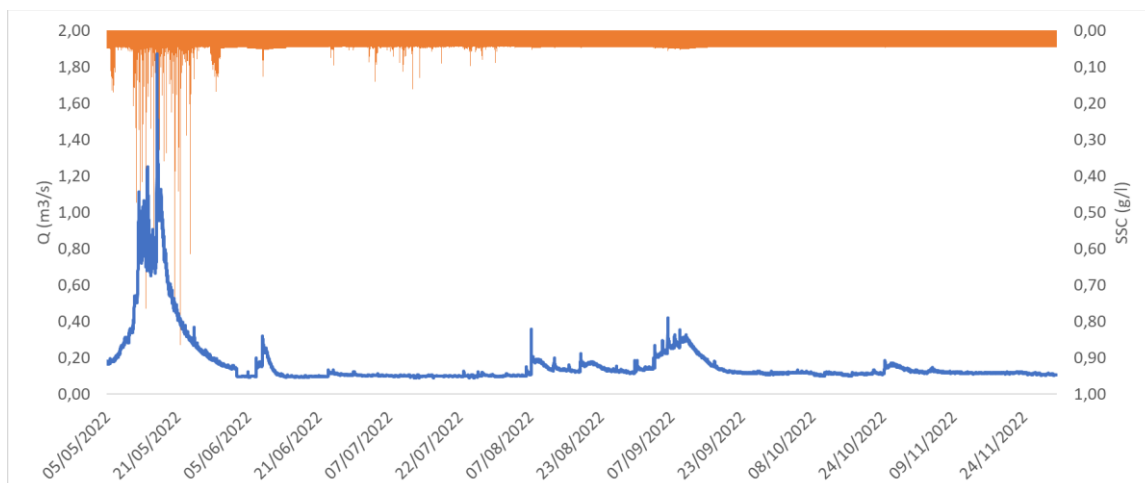


Figura 27 Trasporto solido in sospensione (arancione) e portata (blu) misurati nel Rio Cordon

I risultati suggeriscono un valore medio di concentrazione di materiale solido in sospensione pari a 0,05 g/l. Come si può notare dal grafico, i picchi di concentrazione si sono verificati nel periodo primaverile in corrispondenza dei picchi di portata. In particolare, il valore massimo è stato registrato il 21 maggio 2022 alle ore 22:00 con un valore di 0,87 g/l. Il picco di portata del 6 settembre 2022 (0,42 m³/s) non ha indotto nessun aumento rilevante nel trasporto solido in sospensione (Figura 27). Un leggero innalzamento di concentrazione, non correlato ad alcun innalzamento di portata, si è verificato nel mese di luglio con picchi sporadici che hanno raggiunto il valore massimo di 0,16 g/l il giorno 12 luglio 2022 alle ore 7:15. Effettivamente, dal calcolo della correlazione tra la portata (Q) e la concentrazione di materiale solido in sospensione (SSC) è risultato un valore di R² di 0,05, che indica la mancanza di correlazione tra le due variabili. La quantità totale di materiale trasportato in sospensione durante il periodo di studio corrisponde a 152,7 t.

4.4 Trasporto solido di fondo (PIT)

Per il monitoraggio del trasporto solido di fondo sono stati installati 93 PIT con diametri che vanno da 36 mm a 240 mm. L'installazione è avvenuta il 3 giugno 2022 ed il monitoraggio si è concluso il 1 dicembre 2022 (Figura 28). Durante questo periodo, sono stati effettuati tre monitoraggi della posizione dei traccianti: il primo in data 23 giugno 2022, il secondo il 13 luglio 2022 e il terzo il 24 agosto 2022. In questi tre monitoraggi il tasso di recupero dei PIT è stato sempre superiore al 90%. Tuttavia, in tutti e tre i rilievi non è stato riscontrato alcun movimento da parte dei PIT.

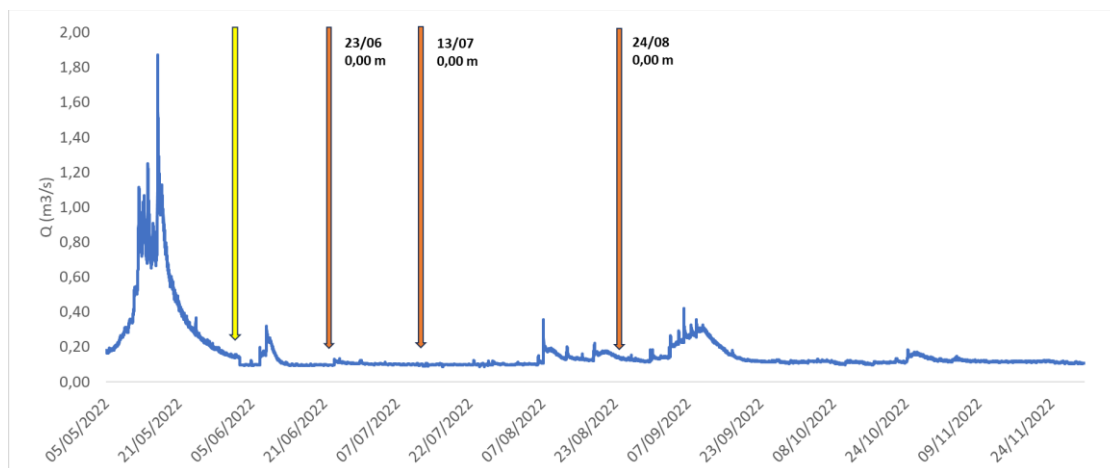


Figura 28 Idrogramma con indicate data di installazione (freccia gialla) e date dei monitoraggi con relativa distanza media percorsa dai traccianti (freccie arancioni)

Dalla figura 28 è possibile notare come l'installazione dei PIT sia avvenuta dopo l'evento del 16 maggio 2022 ($1,87 \text{ m}^3/\text{s}$). Il giorno 7 agosto 2022 alle ore 16:45 si è verificato un picco di portata pari a $0,36 \text{ m}^3/\text{s}$ che non è stato però in grado di movimentare alcun tracciante.

4.5 Trasporto solido di fondo (Bunte)

Per il monitoraggio del trasporto solido di fondo è stato installato, il giorno 6 maggio 2022, un campionatore Bunte che è rimasto in loco fino al 1 dicembre 2022 (Figura 29). Durante il periodo di monitoraggio, sono state eseguite tre analisi del campionatore nei giorni 23 giugno 2022, 13 luglio 2022 e il 24 agosto 2022. Durante il primo monitoraggio, sono stati raccolti dal campionatore 7,5 Kg di sedimento. Di questo materiale, i 16 elementi di maggior dimensione sono stati isolati e caratterizzati nei diametri a , b e c . I clasti presi in esame, presentano un'asse b medio di 35,4 mm. Gli assi a e c medi invece corrispondono a 44,8 mm e 21,6 mm (Figura 30). Negli altri due monitoraggi (13 luglio 2022 e 24 agosto 2022), il campionatore Bunte non presentava alcun materiale al suo interno.

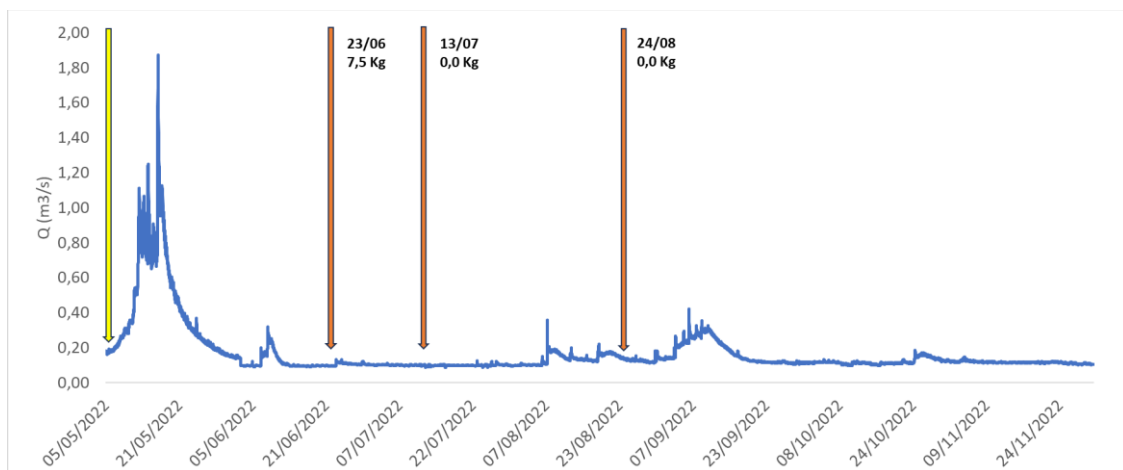


Figura 29 Idrogramma con indicate data di installazione del Bunte (freccia gialla) e date dei monitoraggi con relativa quantità di campione raccolto (freccie arancioni)

Dal grafico Figura 29 è evidente come l'installazione del campionatore Bunte, al contrario dei traccianti PIT, sia avvenuta prima dell'evento registrato il 16 maggio 2022 (1,87 m³/s).

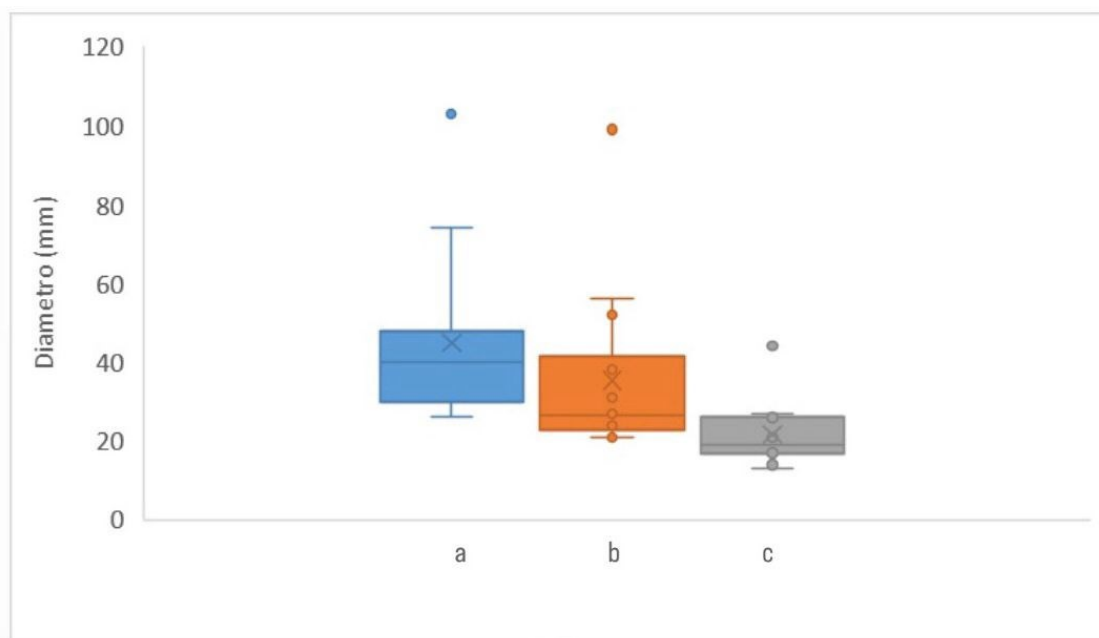


Figura 30 Distribuzione dei valori di a, b e c nei 16 elementi di maggior dimensione raccolti dal campionatore Bunte (monitoraggio del 23 giugno 2023). "x" indica la media, la linea orizzontale la mediana, il pallino gli outliers, i "baffi" il limite superiore e inferiore mentre all'interno della "scatola" sono racchiusi il 50% dei valori.

5. DISCUSSIONI

Le condizioni idrologiche e sedimentologiche di un corso d'acqua sono strettamente legate ai fenomeni fisici e meteorologici che possono modificare i deflussi liquido-solidi. È quindi di fondamentale importanza comprendere le relazioni che intercorrono tra le portate liquide e la movimentazione di materiale solido all'interno del corso d'acqua effettuando monitoraggi direttamente in alveo. Esistono tipologie differenti di trasporto solido. Il trasporto solido di fondo, che è caratterizzato dalla mobilitazione di materiale solido più o meno grossolano nell'alveo del corso d'acqua, con movimenti dei clasti che possono verificarsi per rotolamento, strisciamento e saltazione. Il monitoraggio del trasporto solido di fondo, può essere effettuato tramite metodi diretti, che prevedono l'uso di campionatori (ad esempio campionatori a canestro, a trappola con setti) o analisi delle variazioni morfologiche (metodo morfologico), oppure metodi indiretti, ovvero tramite l'uso di geofoni, traccianti, segnalatori idrofonici (Pozza, 2019). Il trasporto solido in sospensione, consiste nella mobilitazione dei sedimenti di granulometria più fine che si muovono seguendo i moti turbolenti dell'acqua. Questo materiale fine può essere monitorato tramite torbidimetri a infrarossi, sonde torbidimetriche meccaniche, o da strumenti classificati come "integratori". In questo elaborato, è stata svolta l'analisi, per l'anno 2022, delle condizioni climatiche e dei deflussi liquidi e solidi nel bacino del Rio Cordon, situato nel comune di Selva di Cadore (BL), ponendo particolare attenzione alle relazioni che intercorrono tra i processi presi in esame. Le variabili meteorologiche prese in considerazione sono state la temperatura (media mensile) e la precipitazione (mensile). In particolare, è stato svolto un confronto tra l'anno 2022 e la media dei valori registrati nella decade 2012-2022. Dal confronto, si può affermare che il 2022 sia stato un anno più caldo e secco rispetto alla decade 2012-2022. Nello specifico, il 2022 ha mostrato una temperatura media annuale superiore del 13,0% rispetto alla media del periodo 2012-2022, con la temperatura maggiore registrata nel mese di luglio e minore nel mese di gennaio. Dalla Figura 24 è possibile notare come i mesi di marzo, aprile, settembre, novembre e dicembre siano stati mediamente più freddi nel 2022 rispetto alla decade 2012 – 2022. Il periodo che va da maggio a luglio 2022, invece, è stato nettamente più caldo rispetto allo stesso periodo nella decade analizzata, con le temperature medie di maggio, giugno e luglio più alte rispettivamente di 2,5°C, 1,6°C e 1,3°C (Tabella 5). La precipitazione annuale registrata nel 2022 è stata inferiore del 31,4% rispetto al valore

medio registrato nella decade 2012 - 2022. In particolare, nel 2022 sono piovuti 923,6 mm, mentre nella decade analizzata la media è stata di 1346,1 mm. Nello specifico, i mesi di marzo, maggio, ottobre, novembre e dicembre dell'anno 2022 sono stati caratterizzati da un drastico calo delle precipitazioni rispetto alla decade 2012 – 2022. L'andamento delle precipitazioni si è rivelato essere quello tipico della zona alpina, con valori elevati nel periodo autunnale ed eventi temporaleschi estivi (Mazzucato, 2022). Per avere un confronto nel lungo periodo, nell'intervallo temporale 1986 – 2018 la media annuale delle precipitazioni è stata di 1180 mm (Rainato et al., 2021). Nonostante le condizioni climatiche osservate, la portata media registrata nel 2022 è risultata in linea con la portata media del sito studio ($0,17 \text{ m}^3/\text{s}$). Probabilmente, il minor apporto idrico di natura pluviale è stato compensato da un maggior scioglimento nivale favorito dalle temperature più alte osservate nel periodo primaverile. Per quanto riguarda i deflussi liquidi, nel periodo di monitoraggio 5 maggio 2022 – 1 dicembre 2022 si è verificato un solo evento con portata degna di nota, evento registrato il 16 maggio 2022 con una portata di picco pari a $1,87 \text{ m}^3/\text{s}$. Dal grafico Figura 26 è possibile notare come nel periodo primaverile si siano verificati importanti aumenti di portata che non si sono poi ripetuti durante il resto dell'anno. In particolare maggio è stato il mese in cui i picchi di portata più notevoli si sono verificati. Come suggerisce Furlan (2021), anche nell'anno 2021 maggio è stato il mese che ha contribuito maggiormente per i valori di portata. Simultaneamente nell'intervallo temporale 1987 – 2002, analizzato da De Nato (2022), è possibile notare come i maggiori valori di portata media si siano sempre registrati proprio nel mese di maggio. Anche nell'anno 2016, maggio è stato il mese in cui si sono registrati i valori di portata maggiori, con un picco registrato il 27 maggio 2016 di $1,09 \text{ m}^3/\text{s}$ (Pozza, 2019). Evidentemente, nonostante i periodi più piovosi siano quelli estivi (valori mediani) e autunnali (valori estremi) (De Nato, 2022) lo scioglimento nivale dato dall'aumento della temperatura nel periodo primaverile, in particolare nel mese di maggio (Figura 28), contribuisce significativamente ad innalzare la portata liquida. Dal monitoraggio del trasporto solido in sospensione, svoltosi nello stesso periodo del monitoraggio dei deflussi liquidi (5 maggio 2022 – 1 dicembre 2022), è risultata una massa totale di materiale solido in sospensione trasportato di 152,7 ton. La concentrazione di materiale solido in sospensione media del periodo di monitoraggio è stata $0,05 \text{ g/l}$, mentre il picco di concentrazione si è verificato il 21 maggio 2022, con un valore di $0,87 \text{ g/l}$. È interessante

notare come la portata idrica registrata nel momento del picco di concentrazione di materiale solido in sospensione sia stata di 0,40 m³/s, valore sì, superiore alla media, ma nettamente inferiore al valore massimo registrato nel periodo. In questo senso, la concentrazione di materiale solido in sospensione registrata nel momento del picco di portata liquida (1,87 m³/s) è stato di 0,08 g/l, valore di poco superiore alla media osservata. Se si pone quindi l'attenzione su tutto il periodo di monitoraggio, è possibile verificare come la relazione tra trasporto solido in sospensione e deflussi idrici non sia così stretta. Difatti, innalzamenti di portata idrica verificatisi nel mese di settembre non hanno portato ad alcun aumento del trasporto solido in sospensione e, al contrario, nel mese di luglio si sono verificati aumenti di concentrazione solida non legati però ad aumenti di portata liquida (Figura 27). Evidentemente le sole due variabili (portata liquida e concentrazione solida) non sono sufficienti a spiegare a pieno le dinamiche del fenomeno del trasporto solido in sospensione, ma è necessario considerare, ad esempio, la possibilità che nel bacino di studio si siano create piccole aree sorgenti di sedimento, che possono aver immesso nel collettore materiale fine senza far variare la portata. Inoltre, è possibile che il trasporto solido in sospensione sia maggiormente relazionato alle precipitazioni occorse rispetto che alla portata liquida. È difatti possibile notare dalla Figura 25 come gli incrementi maggiori di precipitazione iniziano a registrarsi nei mesi di aprile e maggio, dinamica concorde con quanto osservato, nella decade 2012 – 2022 (Tabella 6). È quindi possibile che ci sia una maggiore correlazione tra l'aumento delle precipitazioni che si verifica in primavera e il trasporto solido in sospensione. Tale aspetto però necessita di ulteriori analisi per essere verificato correttamente. In questo senso, anche nel 2021 maggio si era rivelato essere il mese che ha contribuito maggiormente al trasporto solido in sospensione (Furlan, 2021). La prevalenza di maggio in termini di trasporto solido in sospensione è stata riscontrata anche da Mazzucato (2022) nel periodo 2003 – 2018. Il trasporto solido di fondo è stato monitorato usando traccianti (PIT) e un campionatore in alveo (campionatore Bunte). Il monitoraggio con i PIT, nonostante il tasso di recupero di questi ultimi superiore al 90%, non ha riscontrato alcun movimento dei traccianti. Questo dato può essere spiegato dal fatto che l'installazione dei PIT è avvenuta il 3 giugno 2022, ossia dopo l'unico aumento di portata rilevante, registrato nella seconda metà di maggio 2022. Nel periodo di monitoraggio dei PIT, quindi nessun picco di portata significativo è stato registrato, portando alla non movimentazione dei

traccianti. In particolare, la portata massima registrata nel periodo di studio dei traccianti è stata pari a $0,42 \text{ m}^3/\text{s}$, che non ha innescato nessun movimento. Il campionatore Bunte è stato invece installato il 6 maggio 2022, e nel primo monitoraggio avvenuto il 23 giugno 2022 sono stati raccolti dal campionatore $7,5 \text{ kg}$ di clasti. Questi clasti, presentano assi a , b e c medi rispettivamente di $44,8 \text{ mm}$, $35,4 \text{ mm}$ e $21,6 \text{ mm}$. La granulometria del Rio Cordon è profondamente cambiata dopo la tempesta Vaia del 2018 (Rainato et al., 2018) e attualmente è caratterizzata da un diametro mediano (D_{50}) pari a 76 mm (Pellegrini et al., 2021). Dunque, si può affermare che i sedimenti movimentati tra il 6 maggio 2022 e il 23 giugno 2022 siano di piccole dimensioni rispetto al materiale presente in alveo. Negli altri due monitoraggi, avvenuti i giorni 13 luglio 2022 e 24 agosto 2022, non è stato raccolto alcun materiale dal campionatore. Da ciò si può supporre che probabilmente non c'è stato trasporto solido di fondo dal 23 giugno 2022, fino al 1 dicembre 2022, ossia la data di fine monitoraggio del Bunte.

6. CONCLUSIONI

In questo elaborato sono state analizzate le condizioni climatiche e i deflussi liquido-solidi nell'anno 2022 nel bacino del Rio Cordon. L'analisi delle condizioni climatiche è stata possibile grazie ai dati forniti dalla stazione "Ponte Rio Cordon" gestita dall'ARPAV. In particolare sono state confrontate le temperature e le precipitazioni mensili e annuali dell'anno 2022 con i dati medi delle suddette variabili nella decade 2012 – 2022. Dalle analisi è stato possibile verificare come il 2022 sia stato un anno caldo e poco piovoso rispetto al periodo 2012 – 2022. È interessante notare come il regime pluviale del 2022 non abbia mantenuto lo stesso andamento di quello osservato nella decade 2012 – 2022. Difatti nel 2022, nei mesi di marzo, ottobre e novembre sono state registrate precipitazioni con valori insolitamente e marcatamente basse rispetto ai dieci anni precedenti. Inoltre, la temperatura media annuale registrata nel 2022, si è rivelata essere superiore di 0,6°C rispetto al valore medio della decade presa in analisi. Questi valori anomali, possono essere un indicatore di come il cambiamento climatico stia agendo sulle aree alpine, causando l'innalzamento delle temperature e anomalie nei regimi pluvio-nivali. Le analisi delle condizioni idrologiche hanno evidenziato un solo grande evento che ha portato, nella seconda metà di maggio, all'innalzamento della portata fino ad un picco di 1,87 m³/s. Tale evento si è verificato nel pieno del periodo di scioglimento nivale e ciò può spiegare l'origine dell'apporto idrico che ha portato all'innalzamento della portata. Difatti, le precipitazioni registrate a maggio 2022 sono state nettamente inferiori (quasi del 40%) rispetto ai valori medi di maggio nel periodo 2012 – 2022. Questo aumento di portata, potrebbe aver portato all'aumento della concentrazione di materiale fino in sospensione che si è verificato nello stesso periodo (seconda metà di maggio 2022). È importante specificare però che il momento in cui è stata registrata la massima portata idrica non corrisponde, a livello temporale, con il momento di massima concentrazione di materiale fine in sospensione. Questo *delay* tra i due valori, che precisamente è di 5 giorni (16 maggio 2022 picco di portata idrica; 21 maggio 2022 picco di concentrazione di materiale solido in sospensione), può suggerire come l'origine dell'evento che ha portato all'aumento del trasporto solido in sospensione possa essere di natura diversa, o essere collegato anche ad altre variabili oltre che all'aumento di portata. Nel monitoraggio del trasporto solido di fondo, è interessante

notare come il campionatore Bunte abbia intercettato dei sedimenti solamente nel periodo tra il 6 maggio 2022 (data di installazione) e il 23 giugno 2022 (data del primo monitoraggio). È quindi plausibile pensare che il movimento dei clasti sia stato causato dal repentino aumento di portata verificatosi nella seconda metà di maggio 2022. In particolare, si può formulare l'ipotesi che i sedimenti siano stati trasportati dall'evento osservato in data 16 maggio 2022. Al contrario, nei monitoraggi del 13 luglio 2022 e del 24 agosto 2022 non è stato riscontrato alcun sedimento all'interno del campionatore. Inoltre, è da sottolineare come l'analisi avvenuta con i PIT, installati il giorno 3 giugno 2022, quindi dopo l'evento principale, ha portato ad un tasso di recupero dei traccianti superiore al 90% e all'evidenza che nessuno di questi sia stato movimentato.

7. BIBLIOGRAFIA

- Aulitzky H., 1980. Preliminary Two-fold Classification of Torrents. *Mitteilungen der Forstlichen Bundesversuchsanstalt*.
- Benini G., 1990. *Sistemazioni Idraulico-forestali*, ed. UTET, Torino
- Bertoncello P., 2017 *Monitoraggio del trasporto solido di fondo in un bacino Andino (Estero Morales, Cile) tramite metodologia bedload-tracing*. Tesi magistrale. Relatore: Prof. Lenzi M. A., Correlatore: Dott. Rainato R., Prof. Mao L. Dipartimento Territorio e Sistemi Agro-Forestali, Università degli Studi di Padova, Legnaro.
- Bin A., 2019. *Tempesta Vaia nel bacino del Rio Cordon (BL): effetti su aree sorgenti di sedimenti in alveo attivo*. Tesi triennale. Relatore: Prof. Picco L., Correlatore: Dott. Rainato R., Prof. Lenzi M. A., Dipartimento Territorio e Sistemi Agro-Forestali, Università degli Studi di Padova, Legnaro.
- Borga M., 2020. *Materiale didattico del corso Idraulica e Idrologia, Corso di Laurea Riassetto del Territorio e tutela del Paesaggio, Dipartimento Territorio e Sistemazioni Agro-Forestali, Università degli Studi di Padova, Legnaro*.
- Bovo N., 2013. *Il monitoraggio del trasporto solido nel Rio Cordon tramite l'utilizzo di trasponder passivi*. Tesi magistrale. Relatore: Prof. Lenzi M. A., Correlatore: Prof. Mao L., Dott. Rigon E., Dipartimento Territorio e Sistemi Agro-Forestali, Università degli Studi di Padova, Legnaro.
- Bunte K., Kurt W. S., Steven R., 2007. *Guidelines for Using Bedload Traps in Coarse-Bedded Mountain Streams: Construction, Installation, Operation, and Sample Processing*. United States Department of Agriculture.
- Bunte K., Steven R., Kurt W. Swingle, Dan A. Cenderelli, Johannes M. Shneider 2013. *Critical Shields values in coarse-bedded steep streams*. *Water Resources Research*, Volume 49, Issue 11 November 2013 Pages 7427-7447
- Cattaneo D. & Viola F., 1992. *Assetti climatologici, vegetazionali e podologici*, In: *Il bacino attrezzato del Rio Cordon*. Quaderni di ricerca. 13: Regione del Veneto, 27-96
- D'Agostino V., 2021. *Materiale didattico del corso Sistemazioni dei bacini idrografici, Corso di Laurea Riassetto del Territorio e tutela del Paesaggio, Dipartimento Territorio e Sistemazioni Agro-Forestali, Università degli Studi di Padova, Legnaro*
- Dalla Fontana G. & Marchi L., 1994. *Sediment sources areas in a small alpine basin*. *International Symposium on Forest Hydrology*, 24-28 Ottobre 1994, Tokio, Japan, 455462.
- Dell'Agnese, A., Brardinoni, F., Toro, M., Mao, L., Engel, M., Comiti, F., 2015. *Bedload transport in a formerly glaciated mountain catchment constrained by particle tracking*. *Earth Surface Dynamics* 3, 527–542
- Ferro V., 2013. *Elementi di Idraulica ed idrologia per le scienze agrarie, ambientali e forestali*, ed. McGraw-Hill Education.

- Friz C., Gatto G. & Silvano S., 1992. Caratteristiche geolitologiche, geomorfologiche e dissesti. Il bacino attrezzato del Rio Cordon. Ed. Marchi L., Quaderni di ricerca, 13, Regione del Veneto, 15-25
- Furlan L., 2021. Caratterizzazione del trasporto solido in sospensione nel bacino del Rio Cordon: monitoraggio dei processi di scioglimento nivale post-tempesta Vaia. Tesi triennale. Relatore: Prof. Lenzi M. A., Correlatore: Dott. Pellegrini G., Dott. Rainato R., Dipartimento Territorio e Sistemi Agro-Forestali, Università degli Studi di Padova, Legnaro.
- Lenzi M. A., D'Agostino V., Sonda D., 2000. Ricostruzione morfologica e recupero ambientale dei torrenti. Ed. Bios Cosenza
- Lenzi M.A., 2020, Materiale didattico del corso Idrologia e Sistemazioni Idraulico-Forestali, Corso di Laurea Tecnologie Forestali e Ambientali, Dipartimento Territorio Agro-Forestali, Università degli Studi di Padova, Legnaro.
- Lenzi, M.A., 2004. Displacement and transport of marked pebbles, cobbles, and boulders during floods in a steep mountain stream. *Hydrological Processes* 18 (10), 1899–1914.
- Martin M., 2021. Caratterizzazione idrologica del bacino del Rio Cordon a seguito dell'evento Vaia: monitoraggio del periodo di scioglimento nivale. Tesi triennale. Relatore: Prof. Lenzi M. A., Correlatore: Dott. Pellegrini G., Dott. Rainato R., Dipartimento Territorio e Sistemi Agro-Forestali, Università degli Studi di Padova, Legnaro.
- Mazzucato G., 2022. Analisi di lungo termine delle condizioni climatiche e dei flussi liquidi-solidi in un bacino alpino (2003-2018). Tesi triennale. Relatore: Dott. Rainato R., Correlatore: Prof. Lenzi M. A., Dipartimento Territorio e Sistemi Agro-Forestali, Università degli Studi di Padova, Legnaro.
- Montgomery, D.R., Buffington, J.M., 1997. Channel-reach morphology in mountain drainage basins. *Geological Society of America Bulletin*.
- Pellegrini G., Rainato R., Martini L., Picco L., 2021. The Morphological Evolution of a Step-Pool Stream after an Exceptional Flood and Subsequent Ordinary Flow Conditions. *Water* 13, 3630.
- Pozza E., 2019. Trasporto solido di fondo in un torrente alpino: relazione tra condizioni idrologiche e mobilità del sedimento. Tesi triennale. Relatore: Prof. Lenzi M. A., Correlatore: Dott. Rainato R., Dipartimento Territorio e Sistemi Agro-Forestali, Università degli Studi di Padova, Legnaro.
- Puglisi S., Puggelli A., Bagnaresi U., 1977. La sistemazione del suolo nei territori montani. Edagricole.
- Rainato R., Mao L., Garcia-Rama A., Picco L., Cesca M., Vianello A., Preciso E., Scussel G.R., Lenzi M.A., 2017. Three decades of monitoring in the Rio Cordon instrumented basin: Sediment budget and temporal trend of sediment yield.
- Rainato R., Martini L., Pellegrini G., 2021. Hydrological, geomorphic, and sedimentological responses of an alpine basin to a severe weather event (Vaia storm). *Catena* 367: 105600

- Rainato R., Picco L., Cazzador D. O., Martini L., Lenzi M. A., 2019. Preliminary characterization of the October 2018 event (Vaia Storm) in the Rio Cordon catchment. Atto di convegno in Conferenza “Processi idrologici ed erosivi nei sistemi agrari ed ambientali”, Sassari (Italia), 6- 7 giugno 2019
- Whitaker, A. C., Potts D. F., 1996. Validation of two threshold models for bedload initiation in an upland gravel-bed stream, in *Watershed Restoration Management: Physical, Chemical, and Biological Considerations*, edited by J. J. McDonnell et al., pp. 85–94, Proc. Ann. Symp. Am. WaterResour. Assoc., New York City Water Supply Stud., Syracuse, New York.
- Zaramella M., 2023, *Materiale didattico del corso Idrologia e Sistemazioni Idraulico-Forestali*, Corso di Laurea Tecnologie Forestali e Ambientali, Dipartimento Territorio Agro-Forestali, Università degli Studi di Padova, Legnaro.

RINGRAZIAMENTI

Un ringraziamento speciale va ai miei Genitori che mi hanno sostenuto e incoraggiato durante il percorso universitario. Sono stati di fondamentale importanza il vostro aiuto e i vostri consigli soprattutto nei momenti in cui il carico di studio si faceva molto pesante. Voi sapete quanto io ci tenga a portare avanti entrambe le Università, e per questo, come per tutte le altre cose, il vostro sostegno non è mai venuto a mancare. Grazie anche a mio zio Lucio, che con la sua grinta infinita, mi ha sempre spronato a dare di più e a credere in me stesso.

Ci tenevo poi a ringraziare il Dottor Riccardo Rainato, mio relatore, che mi ha accompagnato nel percorso di stesura della tesi. Ti ringrazio soprattutto per la pazienza che hai dimostrato nei miei confronti e per la costanza che ci ha permesso, capitolo dopo capitolo, di arrivare alla fine di questo percorso.

Voglio poi ringraziare i miei colleghi di corso, grazie ai quali la mia vita universitaria sarà per sempre un bellissimo ricordo che terrò stretto a me. Inutile dire che ormai, che più che dei colleghi, siamo diventati una vera e propria compagnia di Amici!

Inoltre, voglio ringraziare i miei amici di vecchia data.

La Cadrega, per essere oramai un caposaldo nella mia vita. Una compagnia po' eterogenea ma unita da un senso dell'amicizia fortissimo.

La compagnia di Anguillara, per essere, chi dall'asilo e chi da qualche anno, un gruppo di persone straordinario.