

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

Dipartimento Territorio e Sistemi Agro-Forestali

Corso di laurea in Scienze Forestali ed Ambientali LM

Analisi del pericolo di eventi di piena con
fluitazione di materiale legnoso nel bacino del
torrente Mezzane (VR)

Relatore:

Prof. Vincenzo D'Agostino

Correlatori:

Dott. Francesco Bettella

Dott. Marco Martini

Laureando:

Federico Menini

Matricola n. 2016543

ANNO ACCADEMICO 2023-2024

INDICE

INDICE DELLE FIGURE.....	III
INDICE DELLE TABELLE	V
RIASSUNTO.....	VII
ABSTRACT	VIII
INTRODUZIONE	IX
1. INQUADRAMENTO TERRITORIALE.....	1
1.1 IL CORSO D'ACQUA.....	1
1.2 ASPETTI AMMINISTRATIVI.....	3
1.3 IL BACINO IDROGRAFICO.....	4
1.4 ASPETTI GEOLOGICI	5
1.5 ASPETTI CLIMATICI	5
1.5.1 SERIE STORICHE DELLE PRECIPITAZIONI	6
2. CRITICITÀ IDRAULICHE.....	12
2.1 CAPACITÀ DI DEFLUSSO INVERTITA E CHIUSURA DEGLI ANTICHI SFIORATORI DI PIENA	12
2.2 FORTE PENSILITÀ	15
2.3 TRASPORTO DI MATERIALE VEGETALE.....	16
2.4 PONTI.....	20
2.5 DEBOLEZZA DELLE ARGINATURE PENSILI	21
3. VEGETAZIONE.....	22
3.1 FORMAZIONI FORESTALI	23
ORNO-OSTRIETI E OSTRO-QUERCETI.....	23
FAGGETE.....	24
CASTAGNETI E ROVERETI.....	25
QUERCO-CARPINETI E CARPINETI	25
FORMAZIONI ANTROPOGENE	26
3.2 APPORTO LEGNOSO IN ALVEO.....	27
3.3 AREA DI STUDIO.....	30

3.4	DESCRIZIONE DEI TRATTI	32
4.	CAMPIONAMENTI ED ANALISI GRANULOMETRICA	41
4.1	SCELTA E CONSIDERAZIONI SULLA TECNOLOGIA UTILIZZATA	41
4.2	RAPPRESENTAZIONE GRAFICA DELL'ANALISI GRANULOMETRICA	42
4.2.1	ISTOGRAMMI DI FREQUENZA RELATIVA	43
4.2.2	CURVE GRANULOMETRICHE	43
4.3	PARAMETRI DELLA DISTRIBUZIONE GRANULOMETRICA	44
4.4	FASI OPERATIVE	47
4.4.1	CAMPIONAMENTO DEI TRANSETTI.....	47
4.4.2	ATTRIBUZIONE DELLE CLASSI GRANULOMETRICHE, CALCOLO DELLE FRQUENZE RELATIVE E COSTRUZIONE DELLE CURVE GRANULOMETRICHE	48
4.5	RISULTATI	51
5.	LEGNAME IN ALVEO.....	53
5.1	ORIGINE, TRASPORTO, DEPOSITO, EFFETTI.....	53
5.2	QUANTIFICAZIONE DEL LEGNAME IN ALVEO	60
5.2.1	MATERIALI E METODI PER IL RILEVAMENTO IN CAMPO.....	61
5.2.2	RISULTATI.....	64
6.	DISCUSSIONE.....	69
7.	CONCLUSIONI.....	72
	APPENDICI	74
	ALLEGATO A.....	74
	A.1 Valori ottenuti dal campionamento con transetto	74
	A.2 Frequenze e curve granulometriche	75
	ALLEGATO B.....	80
	B.1 Valori ottenuti dal campionamento diretto	80
	B.2 Volumi calcolati per ogni elemento	82
	B.3 Valori riepilogativi dei volumi per tratto	84
	ALLEGATO C	86
	BIBLIOGRAFIA	87

INDICE DELLE FIGURE

Figura 1: Alveo nel tratto montano (fonte: CAI Tregnago).....	1
Figura 2: Tratto pensile a monte di località Campo Leon	2
Figura 3: Tratto incassato in corrispondenza di località Vaghetto	3
Figura 4: Bacino idrografico del Torrente Mezzane (sezione di chiusura loc. 4 Strade).....	4
Figura 5: Andamento della precipitazione mensile nella stazione di Bosco Chiesanuova (VR).....	7
Figura 6: Andamento della precipitazione mensile nella stazione di San Bortolo (VR)	8
Figura 7: Andamento della precipitazione mensile nella stazione di Grezzana (VR)	8
Figura 8: Andamento della precipitazione mensile nella stazione di Illasi (VR)	9
Figura 9: Confronto dell'andamento pluviometrico delle tre stazioni considerate.	10
Figura 10: Carta delle isoiete.....	11
Figura 11: Ubicazione dei manufatti di sfioro/rientro presenti nel tratto Mezzane via Fienile.	12
Figura 12: (A) Sfiatore in destra idrografica a valle dell'abitato di Mezzane.	13
Figura 13: (B) Opera di rientro in destra idrografica immediatamente a monte del ponte di via Fenile. La soglia di rientro è stata chiusa con un argine in terra. Foto del 1935 scattata a seguito dei lavori di ripristino dei danni della piena disastrosa dell'agosto 1934.	13
Figura 14: (C) Sfiatore in sinistra idrografica in corrispondenza di Campo Leon. Foto scattata nel 1935 con la conclusione dei lavori di sistemazione del torrente a seguito della piena disastrosa dell'agosto 1934.	14
Figura 15: (D) Sfiatore in sinistra idrografica in prossimità di località di Campo Leon. La soglia di sfioro è stata chiusa da un argine di terra.	15
Figura 16: Chiavica presente in prossimità di località Campo Leon.....	16
Figura 17: Barriera di legname all'altezza del Comune di Mezzane	17
Figura 18: Barriera di legname in testa all'altezza dell'abitato di San Pietro di Lavagno durante l'evento di piena del 8 giugno 2016.	18
Figura 19: Resti di una rilevante diga di legname ubicata qualche centinaio di metri a monte di località Sul Vago (giugno 2016).	19
Figura 20: Incisione e restringimento dell'alveo. In questo punto la formazione di una diga di legname potrebbe creare un invaso idrico temporaneo rilevante a monte e generare successivamente dei fenomeni di "dam break" rilevanti.....	19
Figura 21: Elenco ponti sul Torrente Mezzane.....	20
Figura 22: Rottura arginale in loc. Campo Leon – 15 Maggio 2013.....	21
Figura 23: Pianta con apparato radicale a vista	28
Figura 24: Estratto di Carta Forestale Regionale (tramite software Qgis)	29
Figura 25: Individuazione geografica dei tratti analizzati	31
Figura 26: Vecchia opera che chiude il Tratto 1	32

Figura 27: Grafico pendenza TRATTO 1	33
Figura 28: Grafico pendenza TRATTO 2	33
Figura 29: Grafico pendenza TRATTO 3	34
Figura 30: Grafico pendenza TRATTO 4	35
Figura 31: Alveo con parete rocciosa	35
Figura 32: Grafico pendenza TRATTO 5	36
Figura 33: Grafico pendenza TRATTO 6	37
Figura 34: Grafico pendenza TRATTO 7	38
Figura 35: Punto terminale del Tratto 7.....	38
Figura 36: Pendenze tratti a confronto	39
Figura 37: Profilo longitudinale unito dei tratti.....	40
Figura 38: Grafico delle frequenze relative a confronto.....	49
Figura 39: Grafico delle curve granulometriche a confronto	50
Figura 40: Foto aerea scattata con drone della briglia filtrante	62
Figura 41: Classi di lunghezza nei 7 tratti	65
Figura 42: Confronto dei volumi stimati con le diverse metodologie per i 7 tratti	67
Figura 43: Valori normali di volume dei tratti a confronto.....	68

INDICE DELLE TABELLE

Tabella 1: Stazioni meteorologiche da cui sono stati tratti i dati pluviometrici.....	7
Tabella 2: Andamento della piovosità media mensile per le quattro stazioni considerate.....	9
Tabella 3: Riassunto dati pendenze	40
Tabella 4: Classi e dimensioni dei sedimenti incoerenti (American Geophysical Union)	41
Tabella 5: Grado di classazione secondo Folk and Ward (1957).....	46
Tabella 6: Interpretazione valori di asimmetrie (Folk and Ward, 1957).....	47
Tabella 7: Calcolo diametri caratteristici di una distribuzione granulometrica	51
Tabella 8: Tabella riassuntiva parametri	52
Tabella 9: Numerosità elementi per tratto	65
Tabella 10: Valori medi di lunghezza e diametro degli elementi nei 7 tratti	66
Tabella 11: Valori volumetrici in m ³ per ogni settore	66
Tabella 12: Confronto valori dei volumi del tratto 5	67

RIASSUNTO

Il presente elaborato propone un'analisi sulla quantità di legname presente in alveo nel torrente Mezzane. Lo studio si è focalizzato sulla parte di bacino subito a monte di una briglia filtrante di nuova costruzione (2023), realizzata per proteggere l'abitato di Mezzane da eventi di piena che lo hanno coinvolto, in tempi anche recenti (2013 e 2016), causando ingenti danni a persone e/o abitazioni.

Il torrente Mezzane si trova ad est della città di Verona, nasce poco dopo il paese di Velo Veronese (VR) a circa 1000 m s.l.m. e si sviluppa per una lunghezza di circa 24 km verso sud fino alla chiusura del bacino situata nella località "Quattro strade" nel Comune di Lavagno (VR).

Dopo un primo inquadramento e analisi degli aspetti idrogeologici, climatici, boschivi e morfometrici del bacino, sono stati effettuati i rilevamenti per quantificare il materiale legnoso e individuare la granulometria del sedimento in alveo.

Lo scopo dell'analisi, quindi, è quello di valutare la quantità di legname in alveo per cercare di capire quanto può essere l'apporto del bacino in caso di eventi meteorologici avversi che, oggi giorno, si sviluppano con precipitazioni sempre più intense mettendo a dura prova tutte quelle componenti che vengono sollecitate dalle portate che si innescano. Per fare ciò si è proceduto con il rilevamento di tutto il legname presente in alveo con dimensioni maggiori di 10 cm in diametro e superiori ad un metro in lunghezza, in maniera da catalogarlo e calcolarne il volume totale. Il tratto analizzato è stato suddiviso in sette tratti, identificati tramite l'utilizzo di un'antenna GPS, che hanno permesso di valutare il differente apporto di legname in base alla loro pendenza. Da quanto è stato possibile capire, l'ultimo tratto, ovvero quello identificato con il numero 7, ha ottenuto i valori maggiori in termini di numerosità di elementi legnosi, mentre il tratto 5 viene identificato come quello con il volume maggiore, a causa soprattutto di molto materiale di accumulo e qualche ceppaia che ne aumenta in maniera significativa il valore.

Il campionamento è poi continuato con un'analisi granulometrica, effettuata su due transetti che ha permesso di studiare le componenti di matrice grossolana. Le analisi sono state effettuate lungo il tratto 4 e lungo il tratto poco a monte della briglia, in corrispondenza del tratto 1. Qui le analisi hanno evidenziato un grado di eterogeneità notevole, tipica dei torrenti montani con dimensioni delle particelle granulari di circa due volte il diametro medio del campione 2 sul campione 1.

ABSTRACT

This paper presents an analysis of the amount of timber present in the riverbed of the Mezzane stream. The study focused on the section of the basin immediately upstream of a newly constructed filtering weir (2023), built to protect the village of Mezzane from flood events that have affected it in recent times (2013 and 2016), causing significant damage to people and/or homes.

The Mezzane stream is located to the east of the city of Verona. It originates shortly after the village of Velo Veronese (VR) at about 1000 meters above sea level and extends for approximately 24 kilometers south until the basin closes in the locality of “Quattro Strade” in the Municipality of Lavagno (VR).

After an initial overview and analysis of the hydrogeological, climatic, forest, and morphometric aspects of the basin, surveys were conducted to quantify the woody material and identify the sediment granulometry in the riverbed.

The purpose of the analysis, therefore, is to evaluate the amount of timber in the riverbed to understand the potential contribution of the basin in case of adverse weather events, which nowadays are characterized by increasingly intense precipitation, challenging all the components that are stressed by the resulting flows. To do this, a survey was conducted to quantify all the large wood present in the riverbed with dimensions greater than 10 cm in diameter and over one meter in length, to calculate the total volume.

The analyzed section was divided into seven segments, identified using a GPS antenna, which allowed the evaluation of the different timber contributions based on their slope. The last segment, identified as number 7, had the highest number of woody elements, while segment 5 was identified as having the largest volume, mainly due to a large amount of accumulated material and several stumps that significantly increase its value. The sampling continued with a granulometric analysis conducted on two transects, allowing the study of coarse matrix components. The analyses were conducted along segment 4 and along the section just upstream of the weir, corresponding to segment 1. Here, the analyses revealed a remarkable degree of heterogeneity, typical of mountain streams, with particle sizes about twice the average diameter of sample 2 compared to sample 1.

INTRODUZIONE

Il Parco Regionale della Lessinia è un'area protetta istituita nel gennaio del 1990 con Legge Regionale n. 12/90 "al fine di tutelare i caratteri naturalistici, storici, ambientale ed etnici del territorio della Lessinia".

La quasi totalità del Parco è costituita dalle zone degli alti pascoli e dagli impervi versanti dei "Vaj" della Lessinia centro-settentrionale, mentre nelle aree di minor estensione, dette "isole", di particolare interesse naturalistico per la concomitanza di specificità botaniche e geomorfologiche, completano il territorio dell'area protetta che in totale si estende per 10.333 ettari, tra la Provincia di Verona e, nell'estremità orientale, la Provincia di Vicenza.

I 15 Comuni interessati all'area protetta sono da Ovest verso Est: Dolcè, Fumane, Marano di Valpolicella, Sant'Anna d'Alfaedo, Erbezzo, Grezzana, Bosco Chiesanuova, Roverè Veronese, Velo Veronese, Selva di Progno, Vestenanova, San Giovanni Ilarione e Roncà in Provincia di Verona: Crespadoro ed Altissimo in Provincia di Vicenza.

I monti Lessini veronesi hanno un aspetto degradante dolcemente a Sud verso la pianura. Le quote più alte, tra i 1500 e i 1700 metri, formano un vero e proprio altopiano limitato a Nord dal profondo solco della Val dei Ronchi e dal gruppo dolomitico del Carega. Valli dapprima dolci e appena delineate scendono a raggiera verso Sud approfondendosi via via nei caratteristici "Vaj"; veri canyons dai versanti molto ripidi e rupestri. Questo fa sì che il paesaggio sia grossomodo diviso in due aree: una di altopiano montano, una di dorsali collinari arrotondate e discendenti gradualmente verso la pianura e intercalate da profondi solchi vallivi.

In questo contesto si inserisce la vallata di Mezzane che confina ad ovest con la val di Marcellise nella parte bassa e con la val di Squaranto nella parte alta, ad est invece confina con la val di Illasi. Si presenta a sud per un buon tratto aperta e pianeggiante.

Ai lati le colline iniziano a salire dolcemente coperte dalla rigogliosa vegetazione delle viti, degli olivi e dei ciliegi per arrivare ai grandi pianori sul sommo collinare e poi proseguire verso i boschi e i pascoli della Lessinia.

Questa vallata, la quale prende il nome dall'omonimo Comune attraversante, è vocata principalmente alla coltivazione agricola di colture da reddito come l'olivo e la vite. Se per la prima, la produzione di olio extravergine d'oliva è di alta qualità, per la seconda vengono prodotti vini con numerose denominazioni di origine controllata (D.O.C.) piuttosto piacevoli e ben apprezzati non solo a livello locale. A contribuire, inoltre, all'economia della zona sono altre due produzioni: parzialmente quella di ciliege con specie autoctone e, sopra i 400 metri di quota, con il castagno che per secoli ha costituito una delle fonti principali di materia alimentare farinacea.

Considerando l'aspetto più naturalistico ed ambientale, va rilevata la presenza abbondante di corsi d'acqua che fin dall'antichità hanno contribuito, continuando a farlo tutt'ora, a rendere più fertile e redditizia l'agricoltura favorendo, inoltre, la nascita di splendide ville abbellite da fontane e laghetti.

Tra i corsi d'acqua della vallata il più importante è il torrente Mezzane che proprio per sua natura ha inciso

maggiormente in questa zona con diverse inondazioni e danni causati alle coltivazioni, ma soprattutto alla popolazione dei centri abitati. Da menzionare è sicuramente l'evento di piena eccezionale avvenuto nel Maggio 2013 che ha causato la rottura delle arginature in alcuni punti del torrente, esondando e facendo registrare numerosi danni e anche una vittima.

Il corso d'acqua, di regime torrentizio, presenta un reticolo idrografico che si compone di numerosi affluenti (c.d. "Vaj") che da nord verso sud della parte montana del bacino contribuiscono alla portata liquida dell'alveo principale. Generalmente secchi nei mesi invernali ed estivi, si attivano nelle stagioni intermedie ovvero in autunno ma soprattutto in primavera, rispettando l'andamento delle precipitazioni dell'area fito-climatica a cui appartiene l'intero bacino, le quali si intensificano proprio in questi periodi dell'anno.

È ben noto, oramai, come gli eventi di precipitazione che interessano il nostro Paese si manifestino con un'intensità crescente rispetto a quella dei decenni passati. Ad aggravare questo, sono le caratteristiche dei sistemi di deflusso delle acque superficiali, che molto spesso, a causa della scarsa manutenzione degli stessi, si trovano in situazioni di degrado tali da non riuscire a far defluire le portate di maggiore rilevanza. Se a ciò si aggiungono anche l'elevata urbanizzazione di zone definite a rischio idrogeologico e la mancanza di opere idrauliche utili ad evitare, o per lo meno limitare, i fenomeni alluvionali più intensi, deve far riflettere sulla necessità di adeguare quanto prima l'intera struttura idrografica nazionale più a rischio nei modi più idonei, sostenibili e rapidi possibili.

Il torrente Mezzane non è solo un corso d'acqua, bensì anche la sede di un sentiero naturalistico. Ingiustamente trascurato e poco frequentato, questo percorso ha inizio in località Sul Vago, contrada a nord del Comune di Mezzane di Sotto, e conduce in una delle zone più integre e selvagge di tutta la collina veronese: un mondo antico e lontano che schiude meraviglie naturali. Con un dislivello di 500 metri tra salite e discese, alcuni tratti più ripidi e scivolosi ed altri meno impegnativi, il sentiero vede il susseguirsi di scivoli, salti di roccia, cascatelle, laghetti in una continua varietà di stupende visioni naturalistiche e non solo. Infatti, oltre alle caratteristiche marmitte, ovvero un fenomeno carsico che provoca erosioni delle rocce carbonatiche dovute all'azione solvente delle acque meteoriche, si possono ammirare anche vari anfibi come rane, salamandre, tritoni e rettili come la biscia d'acqua o la natrice del collare.

1. INQUADRAMENTO TERRITORIALE

1.1 IL CORSO D'ACQUA

Il torrente Mezzane, affluente destro del torrente Illasi, nasce in prossimità della località La Bettola poco a valle dell'abitato di Velo Veronese a quota 1000 m s.l.m. in provincia di Verona. Dopo un percorso di circa 23,7 km attraverso il Vajo della Gorla prima e la valle di Mezzane poi, sbocca nel torrente Illasi in località Boccare, poco a valle del ponte di attraversamento della Strada Provinciale n.38 detta "Porcilana". La parte alta dalla sorgente fino alla località Sul Vago, poco a monte dell'abitato di Mezzane di sotto, l'alveo si svolge in una zona incolta, boscosa e spesso selvaggia. L'alveo è inciso a volte nel substrato detritico e a volte in quello roccioso con frequenti forre e cascate (Figura 1). L'acqua è presente solo durante le stagioni più piovose. L'azione antropica è praticamente assente, non esistono opere di sistemazione idraulica e il tratto è percorribile solo mediante un sentiero naturalistico attrezzato.



Figura 1: Alveo nel tratto montano (fonte: CAI Tregnago)

Nel tratto tra il ponte di attraversamento della S.P. n° 16a, nei pressi della località Sengelle, e la confluenza con il torrente Illasi, la valle si apre da qualche centinaio di metri a monte ad alcuni chilometri a valle e l'alveo risulta regimato e rettificato. Successivamente, tra l'abitato di Mezzane e località Cà Nova l'alveo risulta

fortemente pensile (Figura 2). Si tratta del tratto più rischioso ove si sono verificate le ultime due rotte: quella del 13 Maggio 2013 e quella del Giugno 1986.



Figura 2: Tratto pensile a monte di località Campo Leon

Progredendo verso valle il fiume si incassa progressivamente nel piano campagna (Figura 3) ed i rilevati arginali scompaiono definitivamente in corrispondenza di località Quattro Strade.



Figura 3: Tratto incassato in corrispondenza di località Vaghetto

Le sponde sono frequentemente protette con vecchi muri in pietra e malta che presentano alcuni punti di erosione, dovuti alla vegetazione che cresce sulle sponde. L'alveo è intersecato da qualche soglia in pietra e malta e la sezione è di tipo rettangolare con larghezza 3-4 m e altezza 2-3 m. Le soglie che si trovano principalmente a valle dello sbocco della valle incisa e nella parte pensile del fiume, hanno la funzione di stabilizzare il fondo evitando lo scalzamento dei muri arginali per erosione dell'alveo.

Nel tratto medio del fiume l'alveo è prevalentemente in terra naturale con sezione trapezoidale e sponde profilate a 45°. Spesso, sulle sponde in terra si è sviluppata una fitta vegetazione arborea ed arbustiva.

1.2 ASPETTI AMMINISTRATIVI

Il bacino del torrente Mezzane è ubicato nella provincia di Verona Interessando i comuni di Velo Veronese, Rovere Veronese, San Mauro di Saline, Tregnago (con la frazione di Centro), Mezzane, Verona (una piccola porzione in prossimità dello spartiacque sulla dorsale occidentale), Lavagno, Illasi e Caldiero.

Il torrente Mezzane è un affluente in sinistra idrografica del fiume Adige attraverso il torrente Illasi nel quale confluisce immediatamente a valle della S.P. n.38. Tale bacino appartiene quindi al territorio amministrativo del bacino del fiume Adige in capo all'Autorità di Bacino del fiume Adige e al Distretto Idrografico delle Alpi Orientali relativamente agli aspetti inerenti il Piano di Gestione integrata delle acque superficiali e sotterranee. Da un punto di vista Gestionale il Torrente Mezzane è affidato al Servizio Forestale Regionale – Unità Periferica di Verona nella parte montana e dal Consorzio di Bonifica Alta Pianura Veneta nella parte valliva. Il confine tra le due competenze è collocato in corrispondenza della val Fredda che confluisce nel torrente Mezzane (in destra idrografica) all'interno dell'abitato omonimo.

1.3 IL BACINO IDROGRAFICO

Il bacino idrografico del torrente Mezzane ha una forma allungata orientata da Nord verso Sud (Figura 4). Lateralmente è definito dagli spartiacque dei bacini del Vajo di Squaranto e del torrente Illasi mentre nella parte settentrionale è delimitato dai monti Purghestal (945 m s.l.m.), Capriolo (1059 m s.l.m.) e Stolz (1136 m s.l.m.).



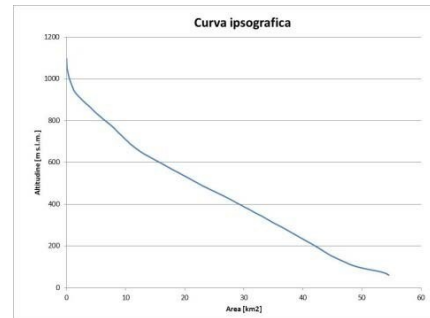
Bacino di Mezzane
(sezione di chiusura loc. Quattro Strade)

Area: 54.55 km²

Altezza massima: 1136 m s.l.m.
(Monte Stolz)

Altezza minima: 55 m s.l.m.
(loc. Quattro Strade)

Altezza media: 420 m s.l.m.



Sviluppo asta principale: 20.7 km
(fino alla stazione di chiusura)

Sviluppo asta principale: 23.7 km
(complessiva fino al torrente Illasi)

Tempo di corrvazione teorico:

$$t_c = \frac{4\sqrt{A_b} + 1.5 \cdot L_a}{0.8 \cdot \sqrt{Z_m - Z_a}} = 3.95 \text{ ore}$$

Figura 4: Bacino idrografico del Torrente Mezzane (sezione di chiusura loc. 4 Strade)

1.4 ASPETTI GEOLOGICI

L'area del bacino idrografico del Progno di Mezzane comprende per la massima parte rocce carbonatiche della normale serie sedimentaria lessinea a partire dall'Eocene inferiore (Monte Tesoro di San Vitale in Arco, Monte Castelletto, Monte Grigi, etc.) fino al Lias (località Bonomi, Fontani, etc.).

In alcune plaghe isolate, e specialmente nelle porzioni inferiori del bacino, sono presenti le rocce del Complesso Dolomitico, che per la loro diversa costituzione formano falesie e pareti verticali; le incisioni più profonde mettono in luce i litotipi più antichi mentre i versanti e le dorsali laterali mostrano per lo più rocce di età cretacea.

In fase pre-orogena le rocce carbonatiche a partire dal livello Titoniano sono state metasomatizzate ossia lo ione magnesio vicariante dello ione calcio, lo ha in parte sostituito modificandone anche la struttura della roccia originaria; tale fenomeno ha contribuito all'obliterazione delle stratificazioni sedimentarie rendendo massivo il complesso roccioso; solo alcune porzioni del Lias comprendenti interstrati decimetrici a lignite e argillo-marnosi non sono stati metamorfosati; ciò consegue alla differente composizione mineralogica che mancando della componente preponderante carbonatica non ha subito il cambiamento.

Le porzioni più elevate del bacino, compresa l'asta valliva principale e quelle del reticolo idrografico, sono scavate nelle rocce carbonatiche.

Diversamente, la porzione terminale del Progno, partendo dalla località Sul Vago fino allo sbocco nell'Alta Pianura, è ricoperta da alluvioni di granulometria decrescente da monte a valle ossia da elementi ghiaiosi fino a limi ed argille; in merito ai depositi alluvionali, non è possibile identificare una chiara successione sedimentaria in quanto le modalità di trasporto di carattere torrentizio hanno depositato i materiali in ordine caotico; di fatto pareti di scavo osservate lungo tale tratto mettono in luce una tipica stratificazione incrociata. Nel tratto fino a Località Sul Vago la valle è incisa nel Complesso Dolomitico Indifferenziato e non contiene significativi depositi alluvionali. La morfologia della valle non permette l'accumulo di sedimenti e il regime idrologico delle vallette laterali non favorisce l'apporto di trasporto solido nell'alveo.

A valle di località Sul Vago inizia il deposito alluvionale che inizialmente è caratterizzato da ghiaie e limi ma a partire dall'abitato di Mezzane di Sotto diviene prevalentemente limoso e argilloso.

Il conoide del torrente Illasi, che chiude la Valle del Mezzane all'altezza dell'abitato di San Pietro di Lavagno, ha prodotto tra Mezzane di Sotto e Lavagno la sedimentazione di materiali fini provenienti dal bacino. In questo tratto sono quindi presenti argille e limi con uno spessore elevato e che spesso si alterano a strati di ghiaia provenienti dal conoide del torrente Illasi.

1.5 ASPETTI CLIMATICI

Il veronese fa parte di una zona che rientra nella tipologia continentale, con inverni rigidi ed estati calde e afose, ma che subisce l'effetto orografico della catena alpina. Più mite è l'area nei pressi del Lago di Garda, che presenta un clima che può definirsi sub-mediterraneo.

La temperatura media annua varia dai 9 °C registrati dalla stazione meteorologica di San Bortolo ai 14 °C misurati a Salizzole. La fascia con temperature maggiori parte dal Lago di Garda (dove la massa d'acqua mitiga le condizioni locali) per arrivare un nucleo caldo collocato nella Bassa Veronese. Data la scarsa ventilazione, sono in genere forti le escursioni termiche giornaliere estive (fino a venti gradi di differenza tra giorno e notte). Tuttavia, in inverno spesso tali escursioni sono molto ridotte, addirittura anche di un solo grado, nelle giornate nebbiose.

Gli accumuli di precipitazione sono in media di circa 700/800 mm distribuite abbastanza uniformemente durante l'arco dell'anno, anche se l'inverno tende ad essere una stagione abbastanza secca. Naturalmente l'andamento delle precipitazioni è crescente procedendo dalla pianura verso i monti Lessini.

Quest'ultimi costituiscono la prima barriera che incontrano le correnti umide provenienti dal Mediterraneo, dirette verso le Alpi; il clima dell'Altipiano, perciò, assume delle caratteristiche transitorie tra quello definito dal Pavari sub-continentale della regione padana e quello temperato freddo tipicamente alpino, entrambi classificati per le loro caratteristiche tra i climi temperati. I fatti generali del clima sono dovuti, come in complesso in tutta la regione padano-alpina, all'imporsi stagionale degli anticicloni estivo ed invernale. Questi anticicloni, che normalmente assicurano il bel tempo, lasciano il posto, soprattutto nelle stagioni di transizione, alla penetrazione d'aria ciclonica umida, proveniente dalle regioni atlantiche. I fattori locali del clima, comunque, hanno effetti apprezzabili sia per la differenziazione che suscitano rispetto alla regione alpina ed alla regione padana, sia per le diverse condizioni che determinano nello stesso ambiente lessinico. Un fenomeno frequente è infatti quello dell'inversione termica, perciò spesso si registrano in inverno valori di temperatura relativamente più elevati in montagna rispetto la pianura ed il fondo delle valli. Importante è anche il fenomeno degli scambi d'aria tra la zona montana e la zona padana, dovuti alla posizione prominente della Lessinia verso la pianura, che determina condizioni localmente diverse rispetto ad altre zone, ad altitudini analoghe, localizzate in settori più interni alla regione alpina. Ciò ha effetti sulle temperature, relativamente più elevate, e sulle precipitazioni, non solo dal punto di vista quantitativo, ma anche in riferimento al loro carattere piovoso o nevoso e sulla frequenza dei temporali estivi. In estate, infatti, si formano nella zona cellule temporalesche dagli effetti violenti, spesso accompagnati da precipitazioni a carattere grandinigeno, per infiltrazione d'aria instabile da occidente, che sale dalla zona del Lago di Garda.

1.5.1 SERIE STORICHE DELLE PRECIPITAZIONI

Sono stati raccolti ed elaborati i dati pluviometrici dell'anno 2013, ovvero l'anno dell'evento di piena, di 4 stazioni meteorologiche gestite da ARPAV, ubicate all'interno del bacino oppure negli immediati dintorni.

Le stazioni considerate sono le seguenti (Tabella 1):

Tabella 1: Stazioni meteorologiche da cui sono stati tratti i dati pluviometrici

Cod.	Nome stazione	Comune in cui è sita la stazione	Quota m s.l.m.	Gauss X	Gauss Y
251	Bosco Chiesanuova	Bosco Chiesanuova	1051	1658961.98	5053797.50
87	San Bortolo	San Bortolo	935	1670125.88	5052889.43
128	Grezzana	Grezzana	156	1657311.49	5041572.32
126	Illasi	Illasi	144	1669806.66	5036399.56

Seguono nelle Figure 5-6-7-8 gli istogrammi che rappresentano l'andamento mensile delle precipitazioni.

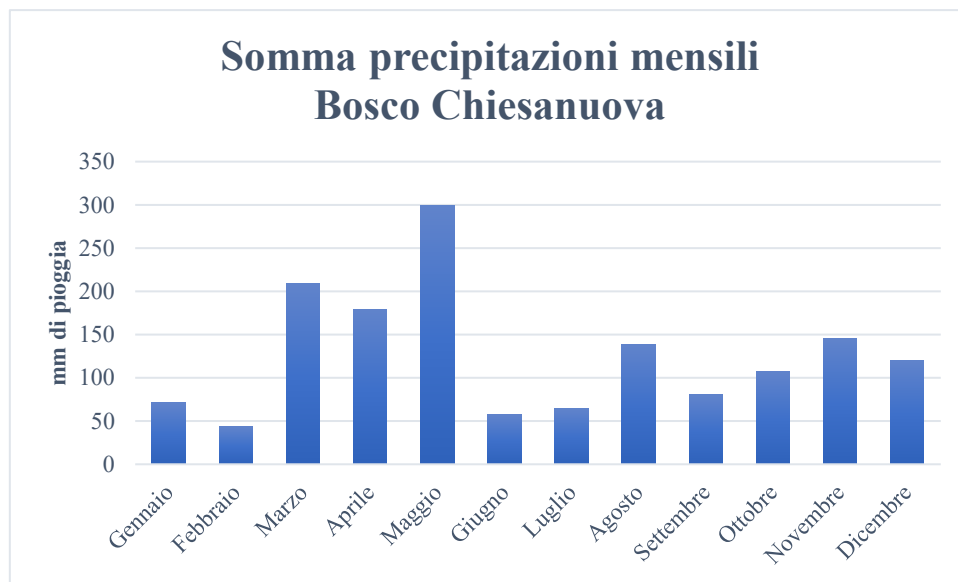


Figura 5: Andamento della precipitazione mensile nella stazione di Bosco Chiesanuova (VR)

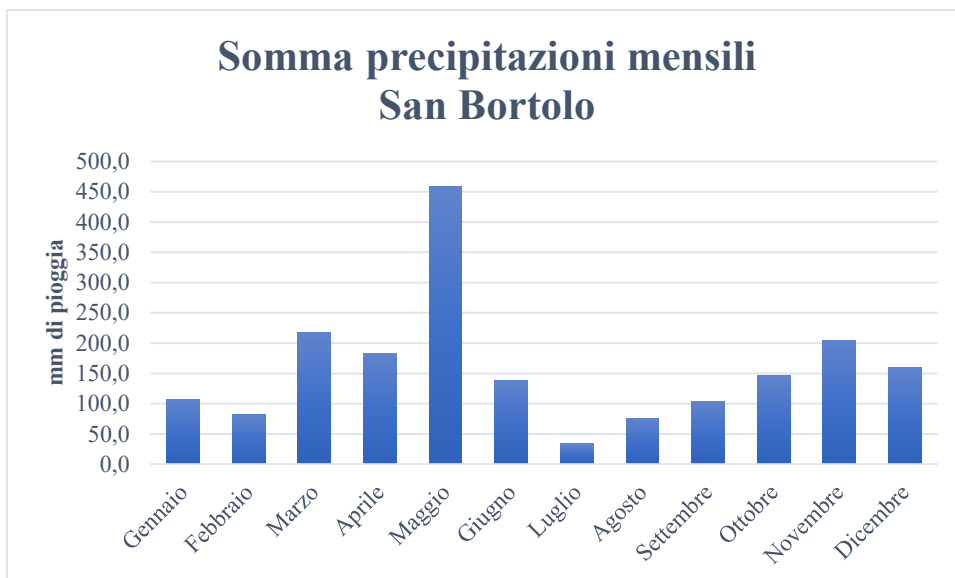


Figura 6: Andamento della precipitazione mensile nella stazione di San Bortolo (VR)

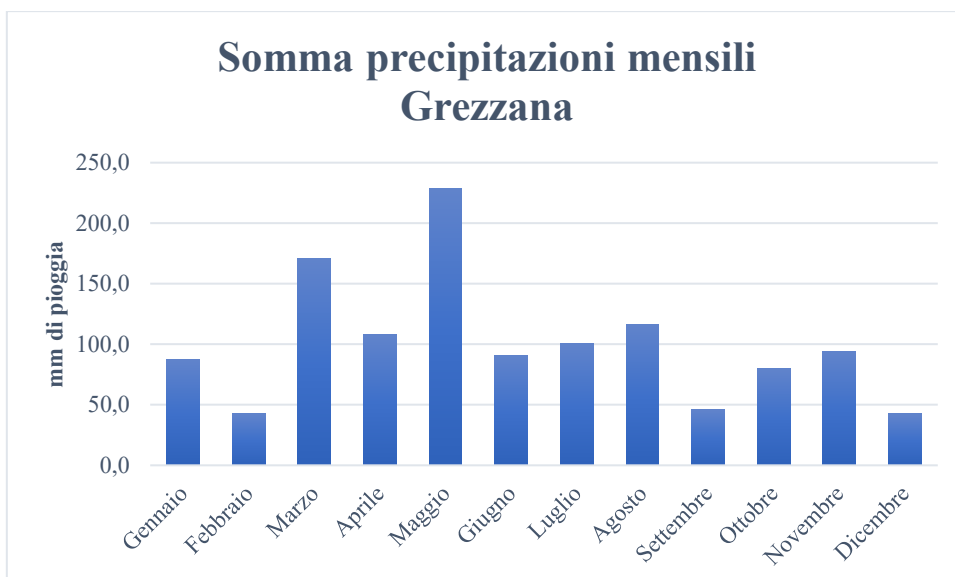


Figura 7: Andamento della precipitazione mensile nella stazione di Grezzana (VR)

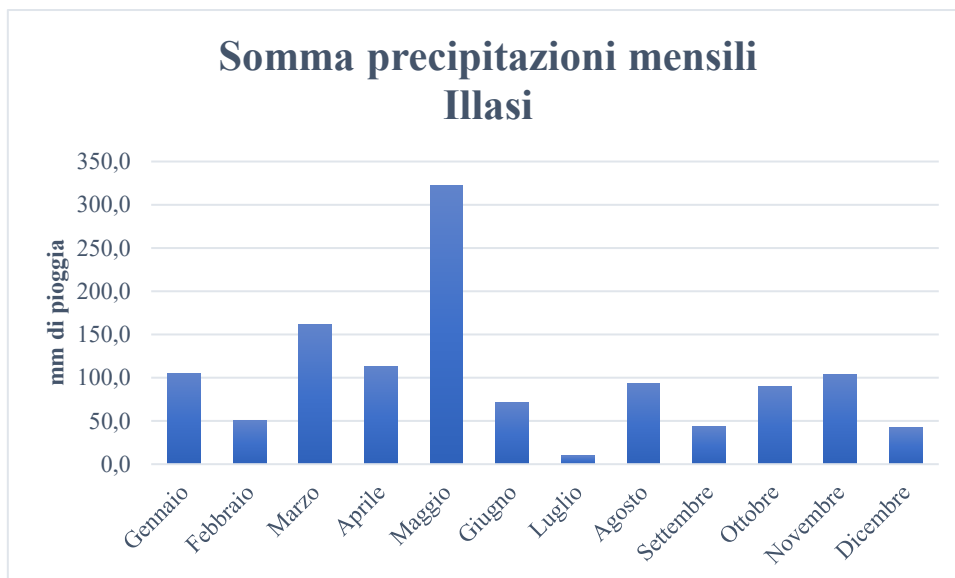


Figura 8: Andamento della precipitazione mensile nella stazione di Illasi (VR)

Confrontando il regime pluviometrico delle quattro stazioni prese in esame risulta un andamento simile con il picco massimo registrato nel mese di Maggio, ovvero nel periodo in cui si è verificato l'evento di piena del 2013 (Tabella 2; Figura 9).

Table 2: Andamento della piovosità media mensile per le quattro stazioni considerate.

STAZIONE	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic
Bosco Chiesanuova	5,5	4,4	10,5	10,0	13,6	5,8	6,5	15,4	6,7	5,1	9,7	13,4
San Bortolo	7,6	8,2	11,4	10,7	19,1	9,9	3,7	8,4	8,7	7,7	12,8	14,5
Grezzana	6,2	4,7	7,8	5,7	8,8	8,2	20,1	11,7	6,6	5,0	5,9	2,7
Illasi	8,1	6,4	8,5	8,1	17,0	6,5	1,5	10,4	4,9	5,3	6,9	4,2

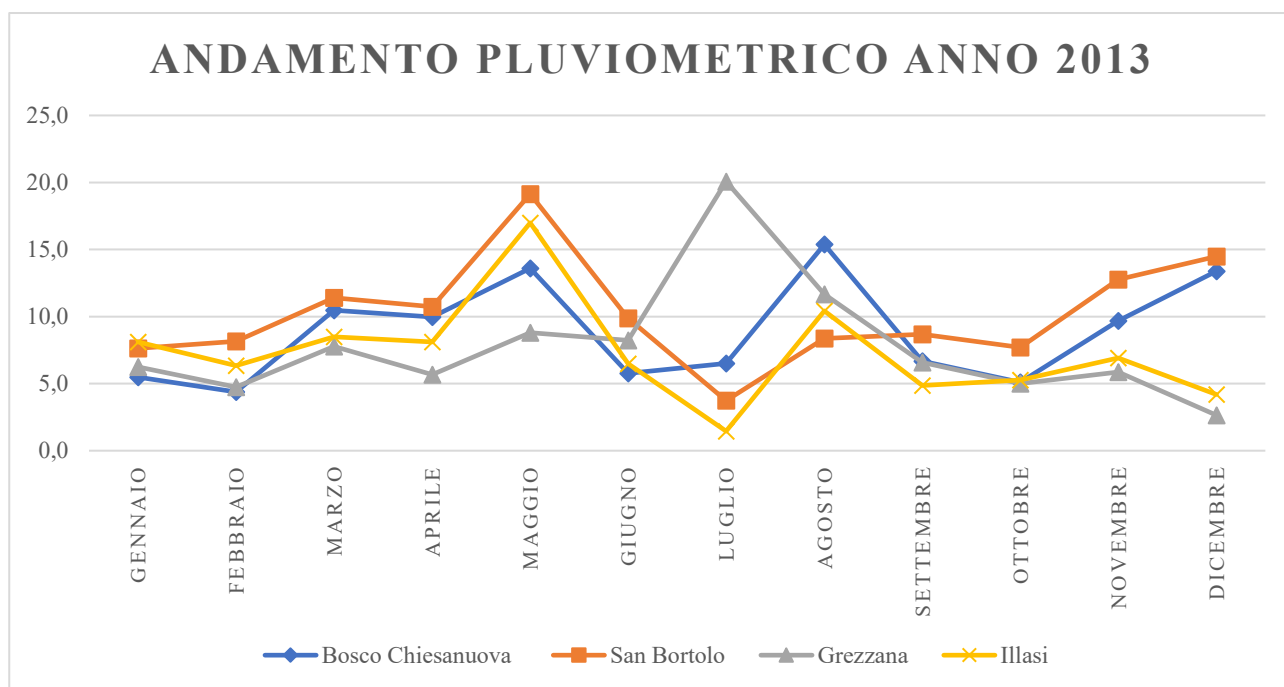


Figura 9: Confronto dell'andamento pluviometrico delle tre stazioni considerate.

Si riporta di seguito la mappa delle isoiete (Figura 10), relative ai dati pluviometrici registrati annualmente dall'ARPAV rilevati dalle stazioni meteorologiche limitrofe al bacino del torrente Mezzane (evidenziato con il poligono di colore rosso).

Le precipitazioni più abbondanti storicamente risultano concentrate in prossimità della parte a nord/nord-est del bacino nei pressi del Comune di Selva di Progno (VR), dove si registra un'altezza di pioggia caduta mediamente in un anno, considerato il periodo storico di trent'anni a cui fanno riferimento i dati, di circa 1400 mm. Sul resto del bacino escluso appunto il tratto montano, i dati delle precipitazioni mostrano un andamento in linea con la regione fito-climatica in cui si inserisce il bacino stesso manifestando una tendenza di diminuzione in termini di quantità di pioggia caduta al suolo arrivando dunque a registrare circa 900 mm vicino alla sezione di chiusura del bacino.

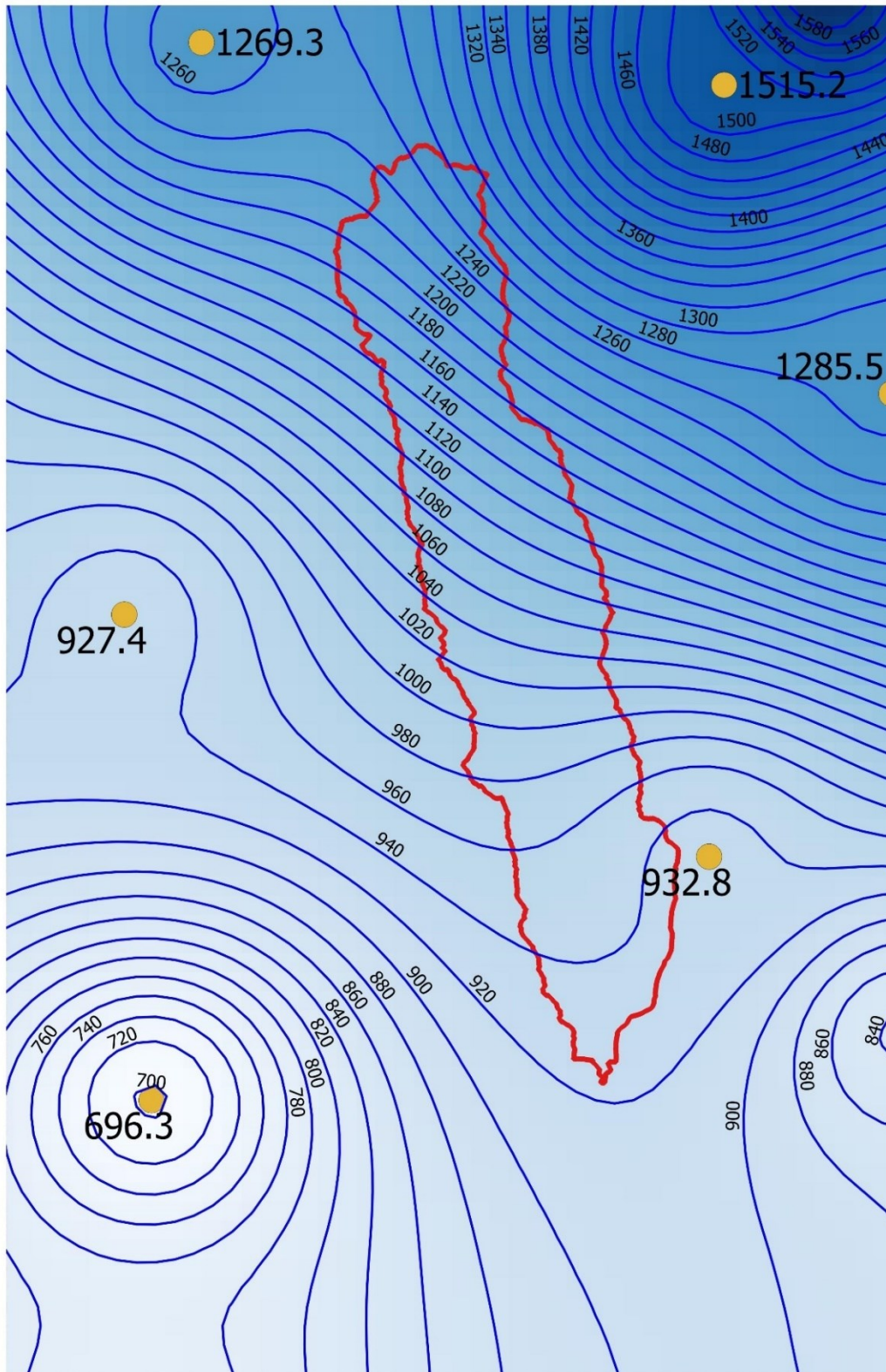


Figura 10: Carta delle isoiete

2. CRITICITÀ IDRAULICHE

Il torrente Mezzane presenta numerose criticità idrauliche che si sono manifestate in buona parte durante l'evento alluvionale del 16 Maggio 2013. Si tratta di problematiche che derivano dall'impostazione idraulica storica dal periodo veneziano fino al '900 e che oggi sono aggravate dallo sviluppo urbanistico.

2.1 CAPACITÀ DI DEFLUSSO INVERTITA E CHIUSURA DEGLI ANTICHI SFIORATORI DI PIENA

La criticità principale è dovuta alla forte riduzione della capacità di deflusso a partire da località Sul Vago a monte a località Vago-Vaghetto a valle. Di fatto l'alveo del torrente Mezzane ha una forma ad imbuto con una capacità di portata delle sezioni di $60 \text{ m}^3/\text{s}$ nella parte montana, di $31 \text{ m}^3/\text{s}$ nella parte media e poco superiore a $25 \text{ m}^3/\text{s}$ nella parte più a valle.

È quindi evidente che sia nel caso di una piena centennale con picco superiore a $60 \text{ m}^3/\text{s}$ sia nel caso di piene con portate di picco superiori ai $25 \text{ m}^3/\text{s}$ si verificherebbero degli scolamenti con deflussi extra-alveo.

Immediatamente a valle dell'abitato di Mezzane di Sotto (Figura 12) sono presenti antiche opere trasversali di sfioro sia in destra che sinistra idrografica (Figura 11). La più recente è stata realizzata nel 1935 a seguito della disastrosa piena dell'agosto del 1934 in sinistra idrografica e in corrispondenza di località Campo Leon nel Comune di Mezzane di Sotto (Figura 14). In destra idrografica immediatamente a monte del ponte di via Fienile è presente un'opera di rientro delle acque sfiorate più a monte (Figura 13). Ad eccezione dello sfioro in sinistra idrografica realizzato in località Campo Leon nel 1934 (Figura 14), tutte le opere non sono funzionanti in quanto le soglie sfioranti sono state chiuse da argini in terra (Figura 15). Lo sfioro di Campo Leon non è in grado di effettuare un adeguato scolamento in quanto la soglia sfiorante è troppo corta ed inizia a sfiorare solo oltre i $50 \text{ m}^3/\text{s}$.



Figura 11: Ubicazione dei manufatti di sfioro/rientro presenti nel tratto Mezzane via Fienile.



Figura 12: (A) Sfiatore in destra idrografica a valle dell'abitato di Mezzane.



Figura 13: (B) Opera di rientro in destra idrografica immediatamente a monte del ponte di via Fenile. La soglia di rientro è stata chiusa con un argine in terra. Foto del 1935 scattata a seguito dei lavori di ripristino dei danni della piena disastrosa dell'agosto 1934.



Figura 14: (C) Sfiatore in sinistra idrografica in corrispondenza di Campo Leon. Foto scattata nel 1935 con la conclusione dei lavori di sistemazione del torrente a seguito della piena disastrosa dell'agosto 1934.



Figura 15: (D) Sfiatore in sinistra idrografica in prossimità di località di Campo Leon. La soglia di sfioro è stata chiusa da un argine di terra.

2.2 FORTE PENSILITÀ

Tra l'abitato di Mezzane di sotto e località Cà Nova l'alveo risulta fortemente pensile con alveo che si eleva sopra il piano campagna fino a qualche metro. Si tratta del tratto più rischioso ove si sono verificate le ultime due rotte: quella del 16 Maggio 2013 e quella del Giugno 1986. Progredendo verso valle il fiume si incassa progressivamente nel piano campagna ed i rilevati arginali scompaiono definitivamente in corrispondenza di località Quattro Strade.

Questo aspetto comporta che i deflussi extra alveo debbano necessariamente divagare nella vallata rientrando in alveo molto più a valle, ove la pensilità si annulla.

Inoltre, in caso di sormonto ed erosione del corpo arginale, si verifica la completa divagazione del fiume nella campagna, lasciando di fatto l'alveo "a secco".

Il tratto a maggior pensilità è proprio quello della rottura arginale dove la quota dell'alveo supera di circa 2 metri il piano campagna sia in destra che in sinistra idrografica. Il tratto pensile è collocato proprio nel tratto in cui avviene il calo della capacità di deflusso della sezione d'alveo e pertanto storicamente le rotte si sono concentrate tra l'abitato di Mezzane di Sotto e via Marmuria.

Nella parte pensile il fiume è dotato fin dal 1700 di chiaviche di erogazione (Figura 16) con la funzione di dissipazione dell'onda di piena e di distribuzione diffusa dei deflussi nelle campagne laterali sia in destra che in sinistra idrografica. Le chiaviche sono posate ad una quota superiore al fondo e risultano oggi chiuse. Si evidenzia che in torrenti ricchi di trasporto solido queste strutture erano risultate dannose in quanto andavano a ridurre progressivamente la portata nel fiume e quindi la capacità di trasporto solido causandone l'interramento. È il caso del torrente Illasi come citato nelle memorie dell'ing. Giuseppe Rensi (1818) in cui

le chiaviche causavano il deposito localizzato del materiale e per questa ragione furono chiuse. Probabilmente per analogia di intervento furono chiuse anche quelle sul torrente Mezzane che tuttavia ha un trasporto solido meno accentuato e quindi la problematica dell'interramento della sezione non si poneva.



Figura 16: Chiavica presente in prossimità di località Campo Leon.

2.3 TRASPORTO DI MATERIALE VEGETALE

Durante l'evento alluvionale del 16 Maggio 2013 il torrente è stato interessato da un elevato trasporto di materiale vegetale flottante. Il materiale era costituito essenzialmente da tronchi d'albero, rami, cespugli e fogliame.

Tale materiale ha comportato l'occlusione della luce in quasi tutti i ponti, da Mezzane fino a località Vaghetto. Inoltre, in alcuni punti si sono formate delle barriere di legname come mostrato nella seguente immagine (Figura 17).



Figura 17: Barriera di legname all'altezza del Comune di Mezzane

Tale materiale proviene essenzialmente dalla parte montana del bacino interessata da bosco e in minima parte dalle specie vegetali in alveo.

La produzione di materiale vegetale durante gli eventi di piena è un fenomeno difficilmente controllabile con la gestione forestale in quanto la parte montana del bacino è alquanto selvaggia e risulta difficilmente accessibile per la manutenzione forestale. Sono inoltre presenti numerose vallette private secondarie che in caso di ruscellamento superficiale possono produrre materiale vegetale.

Nella parte montana la forte pendenza dei versanti ai lati dell'alveo comporta il recapito diretto del materiale vegetale dal versante soprastante.

Il regime torrentizio del fiume comporta l'accumulo continuo del materiale vegetale in alveo che viene rimosso in concomitanza alla piena.

Da un punto di vista idraulico si evidenzia che il trasporto di materiale vegetale è particolarmente attivo nella fase crescente della piena, fino al colmo, quando appunto si verifica una sorta di auto pulitura dell'alveo.

Il trasporto di materiale vegetale si può manifestare come un fenomeno distribuito durante la piena o con un flusso di legname concentrato in testa alla piena come accaduto durante l'evento dell'8 Giugno 2016. In quest'ultimo caso si parla di fenomeni di "flash flood" prodotti da fenomeni convettivi di breve durata (dai 30' a 2 ore) ma di elevate intensità di pioggia istantanee e con alveo inizialmente in secca. In questo caso si producono dei dilavamenti dei versanti in grado di reclutare il materiale vegetale presente nel letto. Una volta in alveo il materiale va a costituire una specie di fronte dell'ondata di piena a causa della maggiore difficoltà del suo moto (Figura 18); questo risulta, infatti, congestionato rispetto a quello della sola componente liquida.



Figura 18: Barriera di legname in testa all'altezza dell'abitato di San Pietro di Lavagno durante l'evento di piena del 8 giugno 2016.

Si evidenzia che il materiale vegetale viene prodotto principalmente nella parte montana a monte di località Sul Vago nel Comune di Mezzane di Sotto, dove il fiume assume un aspetto selvaggio con alveo inciso nel substrato roccioso compatto dei calcari oolitici (prevalentemente calcari grigi di Noriglio) e con la formazione di gole, marmitte e sifoni. Le pareti laterali boscate sono scoscese e difficilmente accessibili anche a piedi. Gli schianti di alberi dai versanti raggiungono spesso l'alveo e tendono ad accumularsi in corrispondenza di dighe temporanee che si formano per l'incagliamento dei tronchi più lunghi (Figura 19).

Durante le piene si formano quindi queste dighe di materiale vegetale che spesso collassano causando un rilascio concentrato di materiale vegetale e "potenzialmente" fenomeni di "dam break" in grado di generare picchi secondari di piena anche intensi immediatamente a valle del cedimento.

Tenuto conto di alcuni passaggi stretti e incisi nell'alveo montano non si esclude la possibilità della formazione di picchi principali di piena a seguito di "dam break" da occlusioni di materiale vegetale (Figura 20).

Nel 2013 si esclude che il picco di piena sia stato causato da "dam break" in quanto la durata del picco e la progressione lenta dell'onda di piena non sono compatibili con un fenomeno di questo genere. Ci potrebbero essere stati tuttavia dei piccoli fenomeni di dam break con picchi secondari di piena.



Figura 19: Resti di una rilevante diga di legname ubicata qualche centinaio di metri a monte di località Sul Vago (giugno 2016).

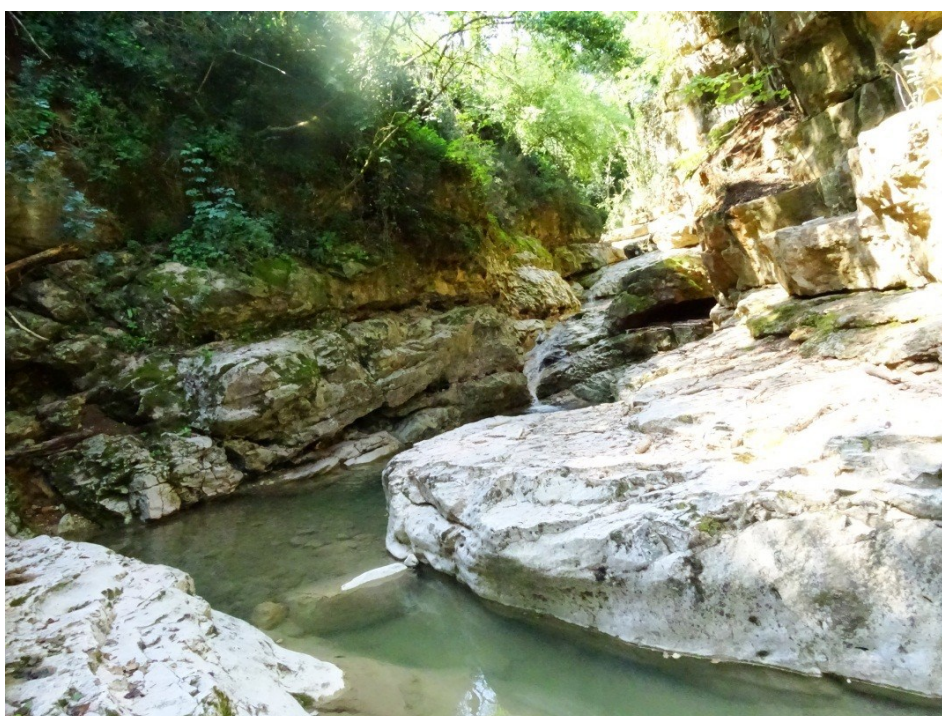


Figura 20: Incisione e restringimento dell'alveo. In questo punto la formazione di una diga di legname potrebbe creare un invaso idrico temporaneo rilevante a monte e generare successivamente dei fenomeni di "dam break" rilevanti.

2.4 PONTI

Da località Sulvago (posta allo sbocco della parte montana del bacino) fino alla località Vaghetto sono presenti 15 ponti stradali (Figura 21). Salvo qualche eccezione, tali ponti hanno una quota dell'intradosso dell'impalcato inferiore al coronamento arginale. Questo comporta in genere il rigurgito della corrente a monte, dovuto sia all'intasamento di materiale vegetale sia al funzionamento in pressione della luce del ponte.

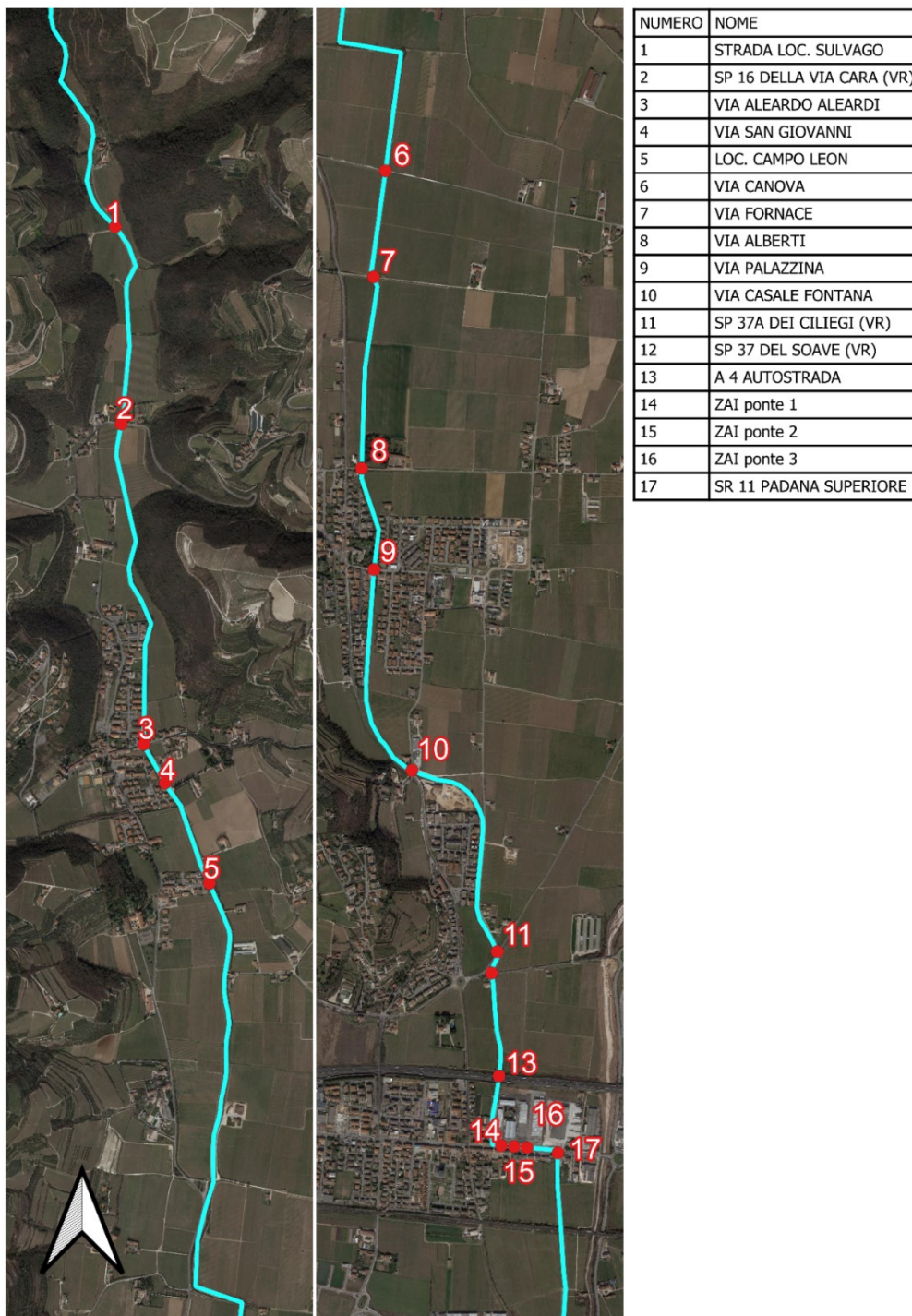


Figura 21: Elenco ponti sul Torrente Mezzane

2.5 DEBOLEZZA DELLE ARGINATURE PENSILI

A seguito dell'evento di piena del mese di Maggio 2013, alcune rotture arginali si sono verificate non per sormonto ma a causa del collasso del corpo delle stesse provocando l'esonazione del torrente (Figura 22). Ciò è accaduto in quanto le arginature, prevalentemente in terra e rivestite internamente con muri verticali legati in calce, hanno ceduto per via del loro avanzato stato di degrado e imputabile principalmente alla presenza di numerosi buchi nel muro causati dallo scalzamento delle pietre, dalla presenza di vegetazione nelle fughe e dallo sgretolamento della fugatura delle pietre.



Figura 22: Rottura arginale in loc. Campo Leon – 15 Maggio 2013

3. VEGETAZIONE

Il paesaggio della media montagna veronese è caratterizzato dall'alternanza di formazioni arboree a carattere forestale con altre erbacee conseguenti al disboscamento e all'utilizzazione agricola del territorio. È risaputo che la struttura fondamentale del paesaggio vegetale è data dalle specie di grandi dimensioni o di elevato coefficiente d'abbondanza-dominanza. Tenendo presenti queste premesse si possono individuare nella bassa e media Lessinia due formazioni fisionomicamente ben distinte, che elencate in ordine alla superficie occupata, sono:

- il bosco mesofilo di tipo alpino;
- le praterie termo-mesofile.

Con il primo termine intendiamo il prodotto più o meno degradato dell'antica foresta che ricopriva i versanti favorevolmente esposti e la parte basale del rilievo fino a 500-600 metri di quota. L'attività pastorale praticata nei secoli passati aveva portato ad una drastica riduzione del bosco limitandolo alle zone più scoscese ed impervie, mentre le restanti superfici disboscate erano state trasformate in pascoli magri sfruttati principalmente dagli ovini. I suoli così utilizzati sono stati soggetti ad una rapida erosione e ad un notevole impoverimento con riduzione della fertilità. Sul finire della prima metà del secolo scorso l'abbandono della pastorizia ha determinato poi un'inversione di tendenza, favorendo la ricolonizzazione degli spazi aperti dall'uomo ad opera di una boscaglia piuttosto fitta, interrotta saltuariamente da radure. Tale vegetazione è tuttora in fase di espansione e sta rapidamente riconquistando tutti i terreni abbandonati. Questa fase di ricolonizzazione dei suoli da parte della vegetazione arborea è stata talora accelerata dall'uomo mediante una intensa azione di rimboschimento, nella quale la specie maggiormente utilizzata è stato il pino nero (*Pinus nigra*). Alle quote superiori il bosco è stato sfruttato per secoli per ricavare legna da ardere e per la produzione di carbone. La trasformazione delle fustaie primordiali in boschi governati a ceduo ha influito notevolmente sulla composizione dei soprassuoli e sul grado di evoluzione dei terreni. Le specie dotate di maggiore facoltà pollonifera hanno preso via via il sopravvento, trasformando i boschi di latifoglie mesofile a composizione mista in formazioni pressoché monospecifiche a larga prevalenza di carpino nero.

Sulle dorsali, dove la pendenza è meno accentuata alle macchie boscate si alternano numerosi appezzamenti coltivati a prato. Talora si tratta di superfici nelle quali le colture foraggere sono alternate a quella arborea del ciliegio, dove le piante sono disposte in filari sufficientemente radi da consentire un proficuo sviluppo della cotica erbosa.

La composizione floristica di queste cenosi depone per loro attribuzione a quell'insieme di praterie che vanno sotto il nome di arrenatereti. Queste cenosi, dall'aspetto rigoglioso, possiedono una elevata ricchezza floristica, che si riesce ad apprezzare soprattutto nella tarda primavera, quando si ravvivano di splendide fioriture.

Alcune di queste formazioni però, in seguito alla crisi della zootecnia sono state recentemente abbandonate. Questa situazione ha interessato i prati di alcune aree marginali, nelle quali si assiste all'evolversi verso cenosi

boschive, come testimonia il rapido diffondersi degli arbusti, nonché di esemplari sparsi di frassino, roverella e carpino nero.

Di seguito sono descritte le principali tipologie di vegetazione individuate su base fisionomica all'interno dell'area di studio.

3.1 FORMAZIONI FORESTALI

ORNO-OSTRIETI E OSTRO-QUERCETI

La categoria degli orno-ostrieti comprende quelle formazioni in cui prevalgono il carpino nero e l'orniello, mentre la roverella vi partecipa in modo minoritario o manca del tutto. I boschi rientranti in questa categoria sono, nel complesso, piuttosto eterogenei a causa dell'esistenza di molte specie arboree che potenzialmente potrebbero parteciparvi, dei frequenti contatti e contaminazioni fra formazioni diverse e del notevole disturbo antropico.

Se dal punto di vista tipologico, avendo come elemento discriminante la gestione, queste formazioni si possono inquadrare semplicemente distinguendole come primitive in cui la selvicoltura è esclusa oppure in cui è possibile attuare una gestione attiva (dove le condizioni stazionali lo permettono), nel bacino in esame possiamo trovare i seguenti tipi:

- Orno-ostrieto primitivo di forra;
- Orno-ostrieto tipico dei suoli carbonatici.

Confrontando le tre specie principali che costituiscono gli orno-ostrieti, l'orniello, il carpino nero e la roverella, vi è da segnalare che essi hanno una diversa efficienza nell'uso dell'acqua. Alcuni studi condotti sulla traspirazione e sulle variazioni stagionali della pressione osmotica (PEDROTTI, 1965; STEUBING e WILLMANS, 1962; LILJANIC, 1972, 1982) hanno evidenziato che il carpino nero è, fra le altre specie, il meno efficiente nell'uso dell'acqua in condizioni di stress idrico, tanto da giudicarlo, nel complesso, una specie stenoidra, per certi versi simile al faggio. L'orniello e la roverella rientrerebbero invece nelle categorie delle euride e, soprattutto, il primo sarebbe particolarmente adattato a resistere alle condizioni di stress idrico. Tuttavia, la presenza di abbondanti piogge e di un'elevata umidità atmosferica durante la stagione estiva rendono più resistente il carpino nero tanto da farlo divenire competitivo nei confronti delle altre due specie. A conferma di quest'ipotesi, è bene ricordare che esso è colpito da disseccamenti dovuti a stress idrico soprattutto nella parte esterna del veronese, territorio caratterizzato, appunto, da una seppur lieve diminuzione dell'umidità atmosferica (continentalizzazione del clima) (DEL FAVERO e altri, 1989).

L'orno-ostrieto primitivo di forra è presente lungo il torrente Mezzane dove l'erosione ha formato delle strette gole (forre). Qui il carpino nero, mescolato con l'orniello, si può mantenere grazie all'elevata umidità atmosferica e all'alternanza di zone sottoposte a continuo gocciolamento con altre più aride, dove prevalgono entità delle pinete. Si tratta comunque, di formazioni arbustive con distribuzioni a gruppi che si localizzano nelle stazioni più favorevoli.

Dove la morfologia lo permette e le caratteristiche del suolo migliorano (pH 7 e suoli ricchi in scheletro) si ha la presenza dell'orno-ostrieto tipico dei substrati carbonatici. Il soprassuolo è costituito dall'orniello e dal carpino nero, mentre la roverella è assente o vi partecipa in modo sporadico, così come il maggiociondolo e il sorbo montano, mentre nello strato arbustivo sono frequenti il biancospino, il nocciolo e il ginepro comune. Gli orno-ostrieti tipici dei substrati carbonatici entrano spesso in contatto con altre formazioni creando *facies* di transizione non sempre facilmente inquadrabili, se non in chiave dinamica. Dove la morfologia si fa più dolce o l'esposizione più fresca, condizioni che consentono maggiori accumuli di suolo e/o disponibilità idrica, vi possono essere arricchimenti della composizione con l'ingresso del carpino bianco dovuti al contatto con i carpineti. Verso la fascia montana, quindi nella parte di bacino situata più a nord, vi è il contatto con la faggeta, anche se vi sono situazioni in cui al crescere della quota l'orno-ostrieto ricompare e si mantiene fino a 1000-1100 m di quota. Verso il basso, invece, i contatti più frequenti sono con il querceto di roverella. Queste formazioni sono adatte, senza dubbio, a descrivere sistemi perturbati dove la rinnovazione è per lo più continua e per via agamica. È molto frequente, infatti, l'emissione di nuovi polloni in conseguenza di traumi subiti dalla caduta di massi o da piccoli movimenti di suolo. In ogni caso, gli orno-ostrieti difficilmente possono evolvere verso altre formazioni.

L'ostrio-querceto tipico, invece, si colloca, come detto precedentemente, nella parte basale dei versanti, in zone di raccordo con i vari "Vaj" affluenti del torrente Mezzane, dove sono frequenti i detriti di falda ghiaiosi-ciottolosi derivanti dallo sfaldamento di rocce carbonatiche. Il suolo, essendo ancora superficiale, assieme al maggior apporto termico dovuto alla diminuzione di quota, forma popolamenti ancora popolamenti composto dall'orniello e dal carpino nero, ma con più elevata partecipazione della roverella, tanto che talvolta diventa dominante. Anche la copertura del soprassuolo migliora leggermente, mentre si riduce in maniera poco significativa quella dello strato erbaceo ed arbustivo.

FAGGETE

Il faggio rientra nella categoria di quelle specie caratterizzate da notevole plasticità che gli permette di stazionare sia in formazioni purissime quando si trova nel suo *optimum* sia in consorzi misti in cui partecipano soprattutto altre latifoglie.

Le faggete rilevate sono riconducibili alla tipologia della faggeta submontana con ostraia. Questo tipo di faggeta si trova spesso come inclusi di piccola superficie (3-4 ettari o meno) negli ostrieti tipici, normalmente in esposizioni fresche o negli impluvi. Il piano arboreo vede la dominanza del faggio, nonostante una più o meno abbondante presenza di carpino nero ed orniello; lo strato arbustivo è sufficientemente denso (dominano *Corylus avellana*, *Viburnum lantana*, *Rosa arvensis*) ed anche lo strato erbaceo è fitto, spesso dominato da *Sesleria varia*. Questo perché il faggio trovandosi nella regione esalpica, al di sotto della fascia montana e quindi ai margini del suo *optimum*, ha una minore capacità competitiva a causa o dell'aridità edafica (come avviene spesso nei substrati carbonatici) e che può essere letale per la rinnovazione (gamica e agamica), o per il fatto che altre specie si trovino nel suo *optimum*.

Ne consegue quindi che le specie guida, oltre a *Ostrya carpinifolia* e *Fraxinus ornus*, sono quelle delle formazioni a *Ostrya* e delle faggete submontane (*Viburnum lantana*, *Corylus avellana*, *Rosa arvensis*, *Hepatica nobilis*, *Cephalanthera longifolia*, *Melittis melissophyllum*).

CASTAGNETI E ROVERETI

Il castagno è la specie d'interesse forestale maggiormente coltivata dall'uomo in tutte le aree circummediterranee e anche in tutte le Regioni e le Province alpine essa è stata largamente diffusa. Questa specie veniva utilizzata nell'economia rurale delle popolazioni montane sia come fonte di alimentazione umana e animale sia come elemento per ricavarne paleria fondamentale per l'azienda agricola, legname da lavoro e strutturale, e altro ancora.

Il castagno forma popolamenti puri oppure entra nelle varie formazioni come specie dominante. Generalmente coltivato con il trattamento a ceduo, questa specie vegetale è dotata di una spiccata capacità pollonifera caulinare che perdura per molto tempo del suo ciclo di vita. Se, invece, il ceduo non viene tagliato o perché abbandonato o perché si è deciso di allungare il turno, si può osservare che la fase a struttura monoplana a copertura colma dura ancora per decenni. Trascorso questo periodo, in occasione della morte delle prime ceppaie dominanti, che permette alla luce di arrivare al suolo, si attivano le condizioni idonee allo sviluppo e all'affermazione della rinnovazione gamica del castagno o delle altre specie (PIUSSI e MAGINI, 1966; PACI e altri, 1999; PACI e altri, 2003; CONEDERA e altri, 2001).

Le stazioni sui cui si insediano questi castagneti sono potenzialmente adatte ai querceti di roverella o a quelli di rovere dei suoli mesici o, più raramente, ai migliori orno-ostrieti (castagneto dei substrati carbonatici dei suoli mesoxerici). Si tratta di situazioni in cui il castagno vegeta in condizioni non del tutto favorevoli potendo soffrire di stress idrici a causa di carenze d'acqua nel suolo durante i mesi tardo-primaverili.

I querceti di rovere sono, forse, le formazioni forestali dell'arco alpino che hanno subito il maggior impatto antropico. Nel bacino del torrente Mezzane questi boschi si trovano in numero ridotto rispetto ai castagneti perché molto spesso sono stati eliminati per far spazio a colture agricole collinare e di bassa quota. Oltretutto, negli ambienti adatti a questi querceti ha trovato ottimale diffusione anche la robinia che invade ed erode le aree dei pochi querceti di rovere ancora rimasti. Ne consegue che i rovereti sono spesso "disordinati" in senso gestionale, essendo il più delle volte stati utilizzati senza criteri colturali, ma alla "bisogna", vale a dire con prelievi condotti esclusivamente con lo scopo di soddisfare le più varie esigenze dei piccoli proprietari privati.

QUERCO-CARPINETI E CARPINETI

In questa categoria di formazioni, il carpino bianco gioca un ruolo determinante nella composizione arborea, pur non essendo necessariamente la specie dominante.

Sul bacino del torrente Mezzane possiamo trovare una ridotta quantità di quercio-carpineti e carpineti, i quali possono essere riconducibili alla tipologia del carpineto con ostraia. In questa tipologia, che interessa la fascia basale a quella submontana, vi è la contemporanea presenza dei due carpini, il bianco e il nero, accompagnati

dall'acero di monte, dall'orniello e, talvolta, dalla roverella. La mescolanza tra le specie però non è fine, ma vi è un'alternanza fra tratti a prevalenza di carpino bianco, che si concentrano nei microimpluvi, e tratti dove prevalgono le altre specie più rustiche.

Lo strato arbustivo è sempre ricco e costituito dalle specie del pruneto. Nello strato erbaceo sono equamente rappresentate le specie termofile, proprie degli orno-ostrieti (*Quercetalia pubescentis*) e quelle mesofile, dei carpineti e delle faggete.

Nella regione dei Lessini questa specie riveste una notevole importanza socioculturale. Reperti fossili dimostrano la presenza del castagno già 23 milioni di anni fa. L'area di coltivazione, denominata Castanetum, si estende dai 330 mt ai 1200 mt di altitudine. I suoi frutti hanno rappresentato per secoli una valida risorsa per la sopravvivenza di intere popolazioni residenti in zone collinari o montane particolarmente depresse.

Il marrone di San Mauro di Saline (VR), ad esempio, è il frutto di un innesto unico e irripetibile; si differenzia dalla castagna comune per la forma allargata, il colore più chiaro con striature brune ben marcate, la buccia sottile che si stacca con facilità e la polpa gustosa e dolce.

Per quanto riguarda l'aspetto vegetazionale, il castagno si trova oltre il bordo superiore delle bastionate rocciose che delimitano i versanti, in corrispondenza delle dorsali, dove la pendenza del terreno risulta modesta, sono presenti dei vecchi castagneti da frutto.

Si tratta di formazioni in cui il castagno vegeta in condizioni talora non del tutto favorevoli, in quanto la scarsa ritenzione idrica dei suoli può determinare situazioni di stress idrico soprattutto, durante il periodo vegetativo quando la piovosità risulta particolarmente scarsa.

Questi castagneti sono degli altofusto talora utilizzati per la raccolta dei frutti. Nello strato arboreo, oltre al castagno, possono essere presenti dei grossi esemplari di rovere (*Quercus petraea*); dove il castagneto versa in uno stato di abbandono subentrano nello stato arboreo le essenze termo-mesofile degli orno-ostrieti e degli ostrio-querceti adiacenti: la roverella, il carpino nero e l'orniello.

Lo strato arbustivo è del tutto inesistente nei castagneti da frutto, come del resto anche la lettiera, eliminati per agevolare la raccolta delle castagne.

FORMAZIONI ANTROPOGENE

Questa categoria di formazioni comprende specie che sono state impiegate nei rimboschimenti dei soprassuoli alpini italiani per differenti motivi mettendo a dimora specie in località estranee alla propria area naturale d'indigenato (CIANCIO e altri, 1984).

Nell'area oggetto di studio si annovera la presenza della robinia (*Robinia pseudoacacia*), una specie non in grado di costituire popolamenti puri, stabili e densi (I.P.L.A., 2000), che però ha una notevole capacità di colonizzare gli ambienti tipici del bacino in esame perché trova in queste stazioni le caratteristiche ideali per raggiungere il suo massimo vigore. La sua capacità di emettere polloni, soprattutto radicali, è il motivo principale della sua invadenza e questa sua attitudine si attiva ogniqualvolta un soggetto è tagliato o anche solo ferito o scosso.

Non avendo inoltre, almeno in gioventù, avversità di notevole importanza, se non qualche attacco di qualche cocciniglia o afide, la robinia ha avuto una sorprendente diffusione, colonizzando terreni anche poverissimi, e spesso sostituendosi alle specie arboree preesistenti. I popolamenti più resistenti alla sua contaminazione sono quelli su substrati carbonatici e, in particolare, gli orno-ostrieti (BERNETTI, 1995), com'è la dominanza delle tipologie forestali presenti nella zona sud-orientale dei Monti Lessini.

3.2 APPORTO LEGNOSO IN ALVEO

L'asta principale del torrente Mezzane è fortemente influenzata dalle numerose immissioni laterali dei vari torrenti di ordine inferiore e che partecipano all'apporto di materiale legnoso nel corso dell'alveo principale. Essi sono caratterizzati da una forte pendenza e si sviluppano lungo tutto il tratto montano del bacino, a partire dalla zona più a nord fino a raggiungere il tratto poco a monte della nuova briglia. Come si può vedere dalla Figura 24 (ricavata tramite l'applicativo software QGis) il materiale vegetale che si deposita in alveo proviene principalmente dalle formazioni tipiche dei monti Lessini veronesi e presenti in maggior misura ovvero degli orno-ostrieti e ostrio-querzeti.

Da un punto di vista dimensionale, gli elementi più importanti sono rappresentati dalle ceppaie, le quali però dato il loro notevole volume e anche in termini di peso, sono difficili da trasportare per ondate di piena non così consistenti. Generalmente, invece, la maggior parte del legname presente è dato da tronchi di lunghezza media pari a 5-6 metri con un diametro che si aggira intorno ai 11-12 cm. Il loro apporto è causato principalmente da schianti naturali considerato che i boschi sovrastanti il torrente non sono interessati da una gestione di tipo selvicoltura ma hanno prevalentemente una funzione protettiva.

L'azione erosiva dell'acqua è un altro fattore importante da tenere in considerazione. Durante i rilievi si sono notate varie piante che giacevano sulla sponda del fiume e molte volte con l'apparato radicale non completamente inserito all'interno e ben ancorato al terreno. Questi casi, come appare nella Figura 23, sono piuttosto frequenti in quella parte di bacino dove le sponde sono in terra, mentre invece dove il torrente prevede i tratti spondali in roccia o ancor di più dove si inserisce la configurazione a forra, diminuiscono fino ad annullarsi.



Figura 23: Pianta con apparato radicale a vista

La presenza, appunto, di superfici spondali impermeabili tipiche dei tratti sopra citati non permette l'infiltrazione dell'acqua lateralmente producendo conseguentemente una forte riduzione dei tempi di corrivazione, favorendo apporti liquidi all'asta fluviale, tanto cospicui e ripidi da attivare intensi fenomeni erosivi. A questi ultimi, risultano associati, sempre più frequentemente, fenomeni franosi che vengono rapidamente allontanati dalle acque correnti superficiali, trasportando con essi, se le condizioni lo permettono, anche la parte di materiale vegetale asportato dalla sponda fluviale.

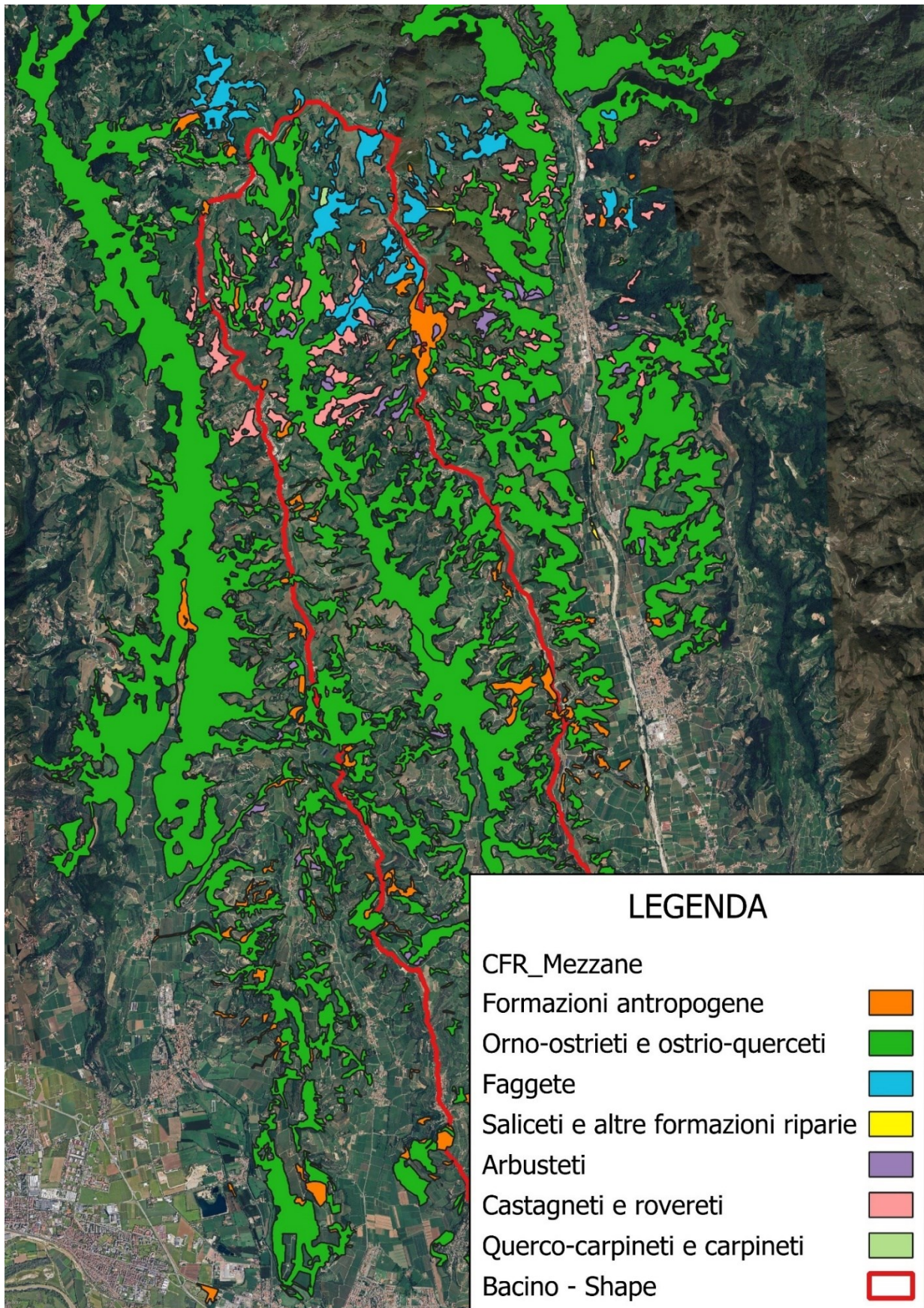


Figura 24: Estratto di Carta Forestale Regionale (tramite software Qgis)

3.3 AREA DI STUDIO

Il bacino del torrente Mezzane è ubicato nella provincia di Verona ed interessa i comuni di Velo Veronese, Rovere Veronese, San Mauro di Saline, Tregnago (con la frazione di Centro), Mezzane, Verona (una piccola porzione in prossimità dello spartiacque sulla dorsale occidentale), Lavagno, Illasi e Caldiero. La sezione di chiusura si trova in prossimità della località Quattro Strade, in corrispondenza della quale l'area del bacino contribuente ammonta a circa 54.5 km² con un'asta principale che si sviluppa per una lunghezza di 20.7 km. Il torrente Mezzane è un affluente in sinistra idrografica del fiume Adige attraverso il torrente Illasi nel quale confluisce immediatamente a valle della S.P. n.38.

Tale bacino appartiene quindi al territorio amministrativo del bacino del fiume Adige in capo all'Autorità di Bacino del fiume Adige e al Distretto Idrografico delle Alpi Orientali relativamente agli aspetti inerenti il Piano di Gestione integrata delle acque superficiali e sotterranee.

Da un punto di vista gestionale il Torrente Mezzane è affidato al Servizio Forestale Regionale – Unità Periferica di Verona nella parte montana e al Consorzio di Bonifica Alta Pianura Veneta nella parte valliva.

L'analisi di questo elaborato si è concentrata nella parte montana del bacino, per un tratto complessivo di 2,24 km e suddiviso in sette tratti (Figura 25). Per ogni segmento sono state catturate le coordinate GPS (Global Position System) di inizio e fine tratto mediante l'utilizzo del modulo RTK (Real Time Kinematic – Cinetica in tempo reale), il quale, interagendo con i segnali GPS, GLONASS e Galileo, per ogni stazione può fornire connessioni in tempo reale con un'accuratezza nell'ordine del centimetro. Considerato il bisogno dell'antenna di collegarsi costantemente con una stazione fissa per correggere continuamente la precisione, si è verificato il problema che negli ultimi tratti, ovvero quelli più a monte, questa connessione venisse a mancare a causa della fitta vegetazione che ha impedito quindi la comunicazione del segnale. Per risolvere quindi l'inconveniente si è proceduto con la rilevazione di questi punti mediante l'utilizzo di un comune smartphone, seppur consapevoli della minor precisione dello strumento, ma sufficientemente in grado di soddisfare l'esigenza del rilievo da eseguire.

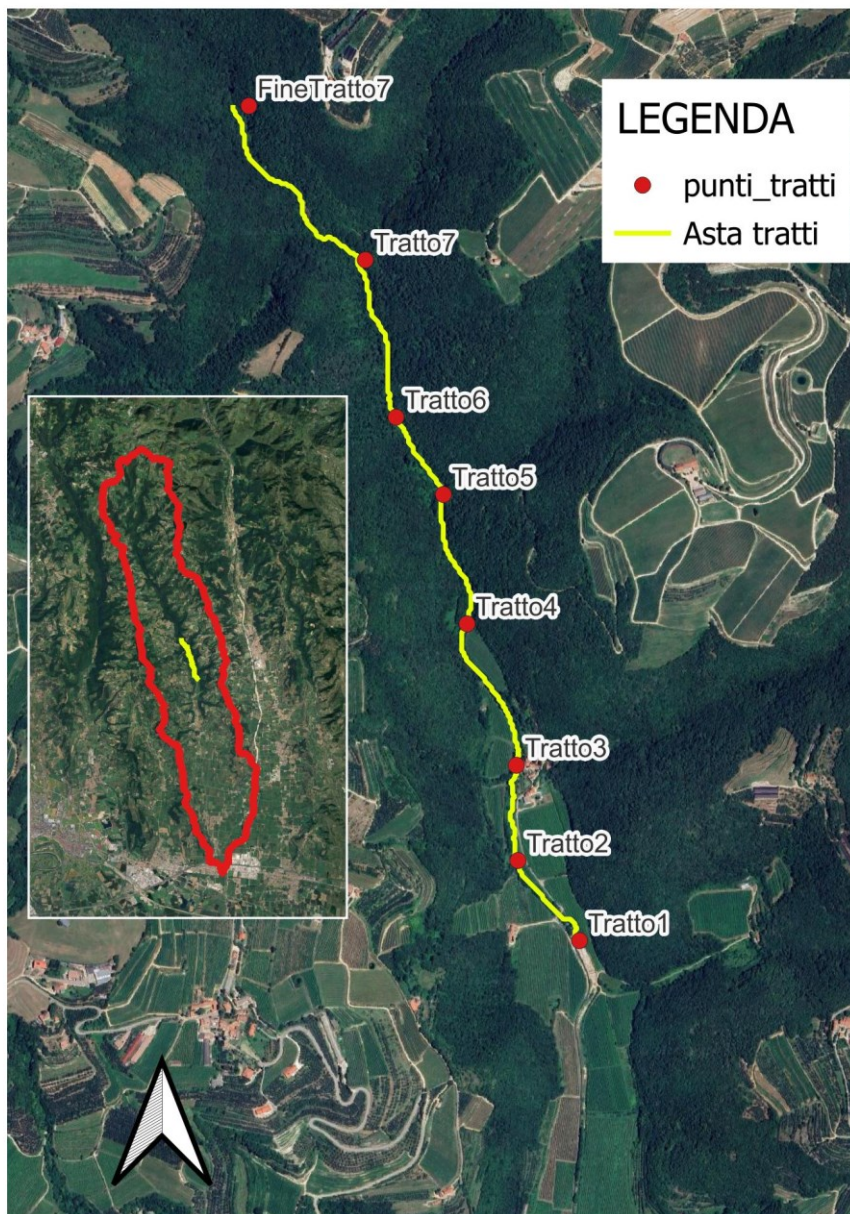


Figura 25: Individuazione geografica dei tratti analizzati

Per ogni tratto analizzato, i punti di inizio e fine sono stati selezionati “in campo” valutando le situazioni di contorno e utilizzando come punti di riferimento diversi elementi che permettessero di identificare ciascun segmento. L’intera lunghezza del settore oggetto di rilievo è stato percorso risalendo a piedi il torrente, partendo dalla briglia di trattenuta (Figura 40), situata poco sopra l’abitato di Mezzane di Sotto (VR), e terminando nel punto in cui la conformazione del corso d’acqua non permetteva l’avanzamento oltre più (Figura 35) a causa della presenza di un salto con cascata troppo alto per essere superato e per la mancanza di sentieri pedonabili laterali lungo i versanti. Solo in alcuni punti del percorso, a causa della presenza di acqua

in alveo, per la scivolosità delle rocce o per la sua conformazione non è stato possibile percorrerlo camminando in alveo ma utilizzando dei sentieri presenti lungo i versanti.

3.4 DESCRIZIONE DEI TRATTI

- TRATTO 1: il primo tratto parte da poco più a monte della briglia di trattenuta e si sviluppa per una lunghezza di 247 metri, terminando in prossimità di una vecchia opera idraulica (Figura 26). Il tratto si trova nella parte finale della parte montana del bacino ed ha una pendenza media del 1,56 % (Figura 27).



Figura 26: Vecchia opera che chiude il Tratto 1

Le arginature prevalentemente in massi, sono ricoperte da una fitta vegetazione per l'intero tratto, eccezion fatta per la primissima parte dove non è presente perché consolidate con blocchi rettangolari in roccia posati appositamente. Si segnala anche come la sezione dell'alveo sia notevolmente più aperta in prossimità del segmento iniziale del tratto.

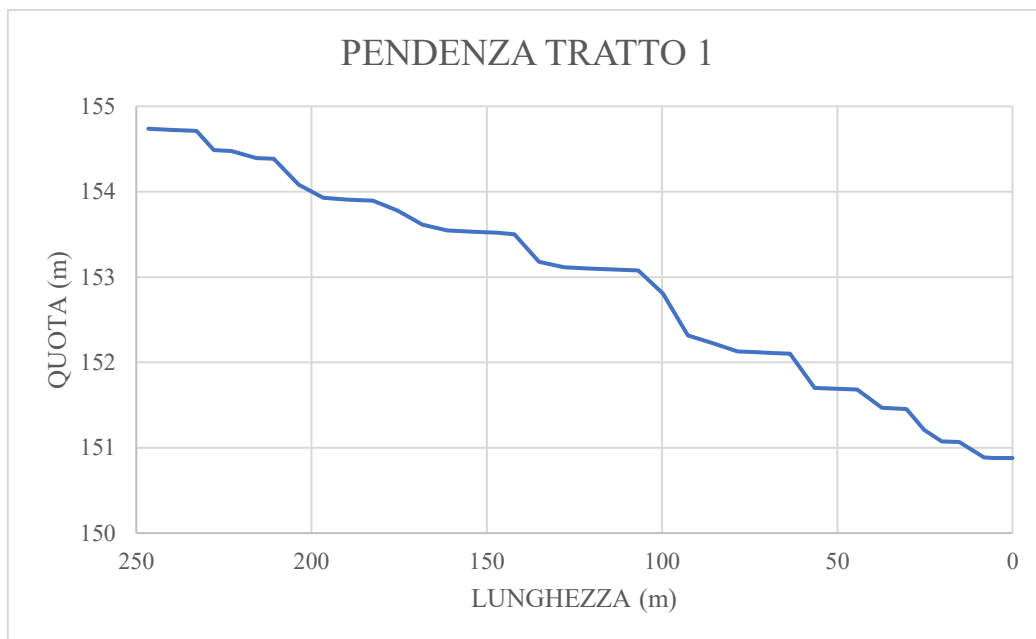


Figura 27: Grafico pendenza TRATTO 1

- TRATTO 2: il secondo tratto si sviluppa per una lunghezza di 235 metri avente una pendenza media del 1,95 % (Figura 28). Come il Tratto 1 anche questo segmento termina con un'opera idraulica di vecchia data e simile a quella di Figura 26. Per quanto riguarda le sue caratteristiche, che non si discostano molto da quelle descritte per il precedente tratto, si denota la presenza di una sorgente d'acqua denominata "Stella" che apporta acqua in maniera intermittente all'alveo del torrente Mezzane.

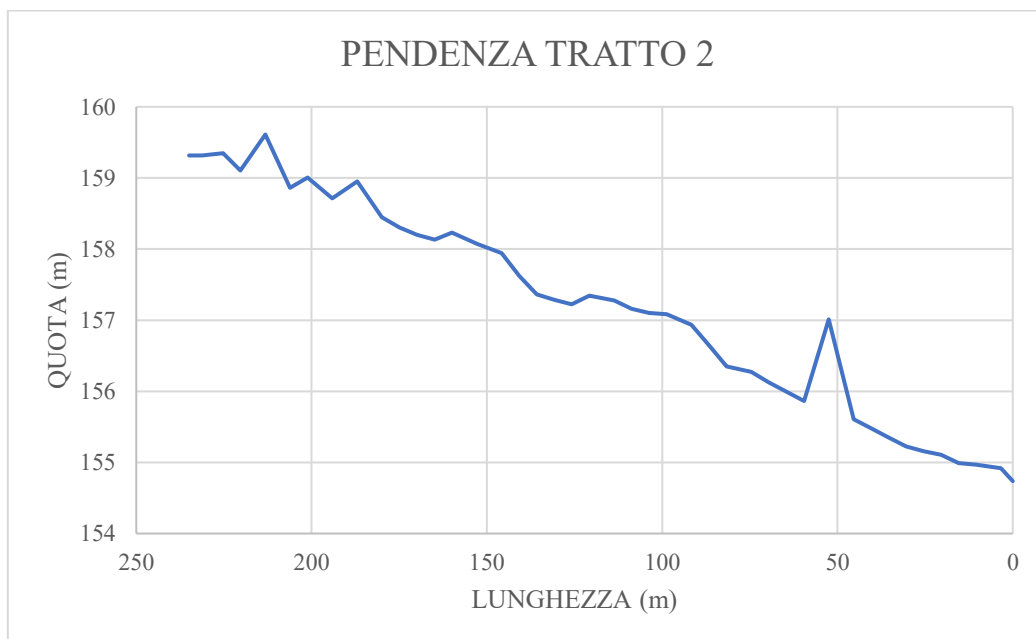


Figura 28: Grafico pendenza TRATTO 2

- **TRATTO 3:** questo tratto risulta essere l'ultimo in cui le aree a lato del torrente sono coltivate a vigneto, a dimostrazione del fatto che il progressivo aumento di quota dell'alveo rende il corso d'acqua da questo punto in poi puramente di natura montana. La pendenza media, infatti, aumenta rispetto ai due precedenti tratti raggiungendo il 2,20 % (Figura 29), misurata per la lunghezza totale di 369 metri. Le arginature, quindi, risultano inerbite con la presenza di vegetazione tipicamente ripariale e priva di soggetti ad alto fusto.

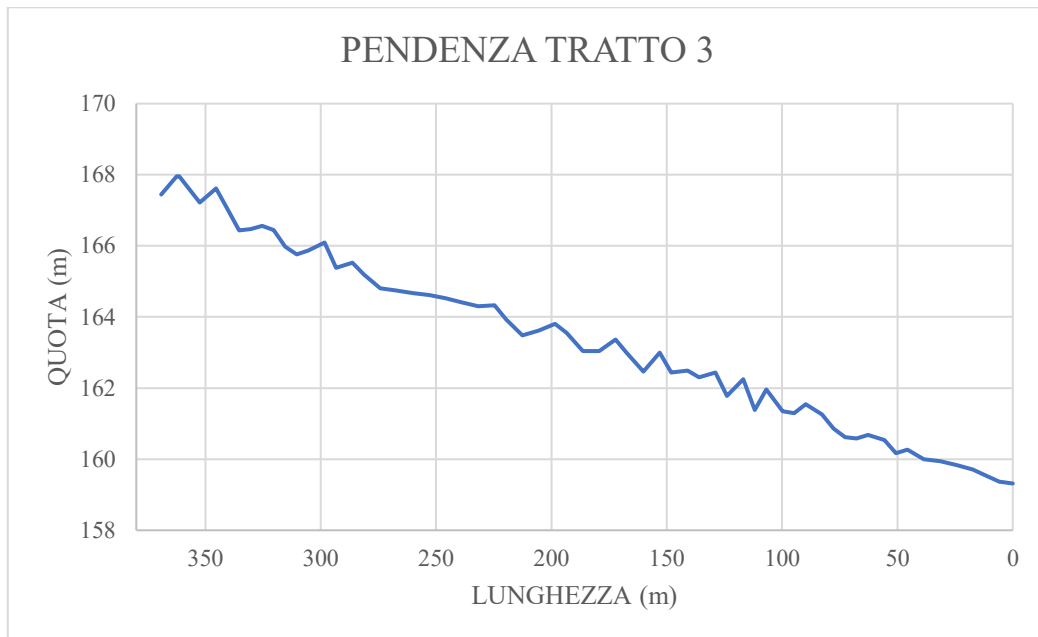


Figura 29: Grafico pendenza TRATTO 3

- **TRATTO 4:** il quarto tratto, il quale si estende per una lunghezza di circa 310 metri, denota un rapido cambiamento di scenario. È qui che inizia il tratto boschivo vero e proprio ed è il punto in cui la conformazione del torrente assume anche un aspetto diverso. Le pareti diventano rocciose (Figura 31) e le condizioni di luminosità al suolo vengono modificate dalla vegetazione che diventa sempre più fitta e densa sulle sponde del fiume. La pendenza media assume valori intorno al 2,36 % (Figura 30).

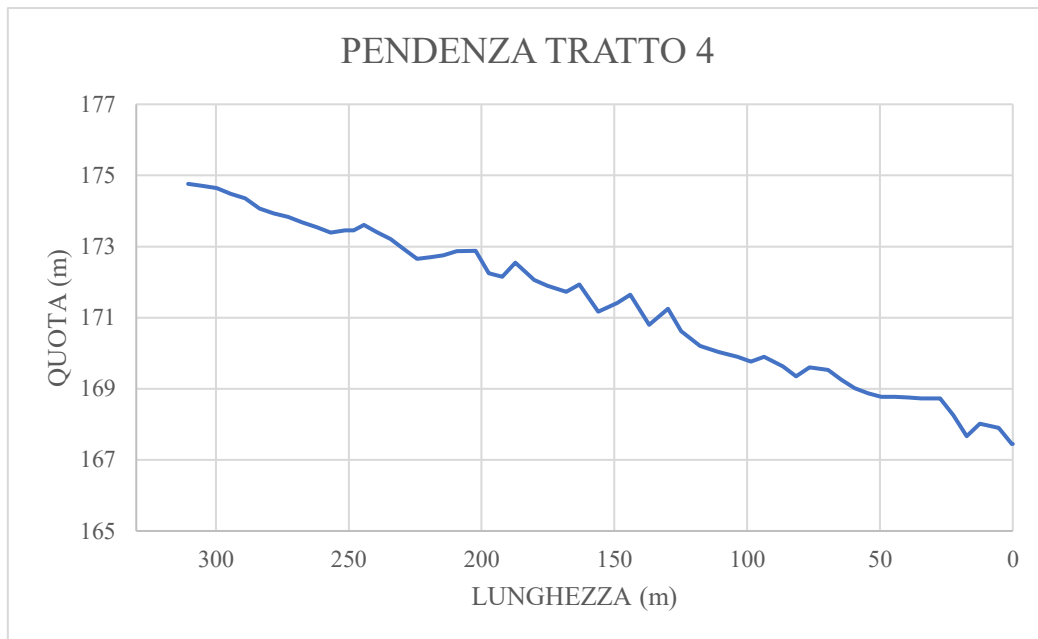


Figura 30: Grafico pendenza TRATTO 4



Figura 31: Alveo con parete rocciosa

- TRATTO 5: il tratto 5 risulta essere contraddistinto da affioramenti rocciosi estesi con pareti arginali a tratti verticali con sviluppo in altezza di qualche metro. In questa zona il bacino si presenta con la

tipica formazione di bacini montani a “V”. La lunghezza del segmento è di 207 metri e ha una pendenza media del 4,37 % (Figura 32).

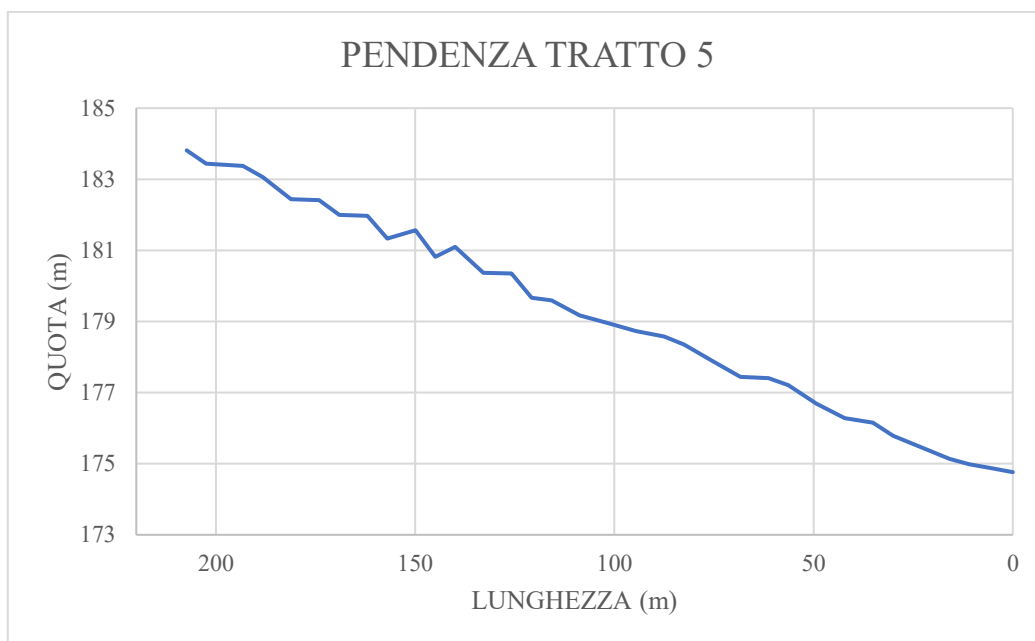


Figura 32: Grafico pendenza TRATTO 5

- TRATTO 6: caratterizzato da pareti rocciose molto ripide questo tratto si sviluppa per una lunghezza di 376 metri dove la pendenza si fa parecchio accentuata con una media di 4,44 punti percentuali (Figura 33). La caratteristica speciale di questo tratto, che ha reso l'alveo in alcuni punti impossibile da percorrere a piedi, è la presenza di marmitte. Queste formazioni derivano dai movimenti dell'acqua e ciottoli che nel corso del tempo, in occasioni di piene dove l'energia erosiva è maggiore, hanno generato cavità scavate nella roccia di forma emisferica o cilindrica. La vegetazione insiste sui versanti laterali ma non si inserisce lungo le pareti arginali rocciose.

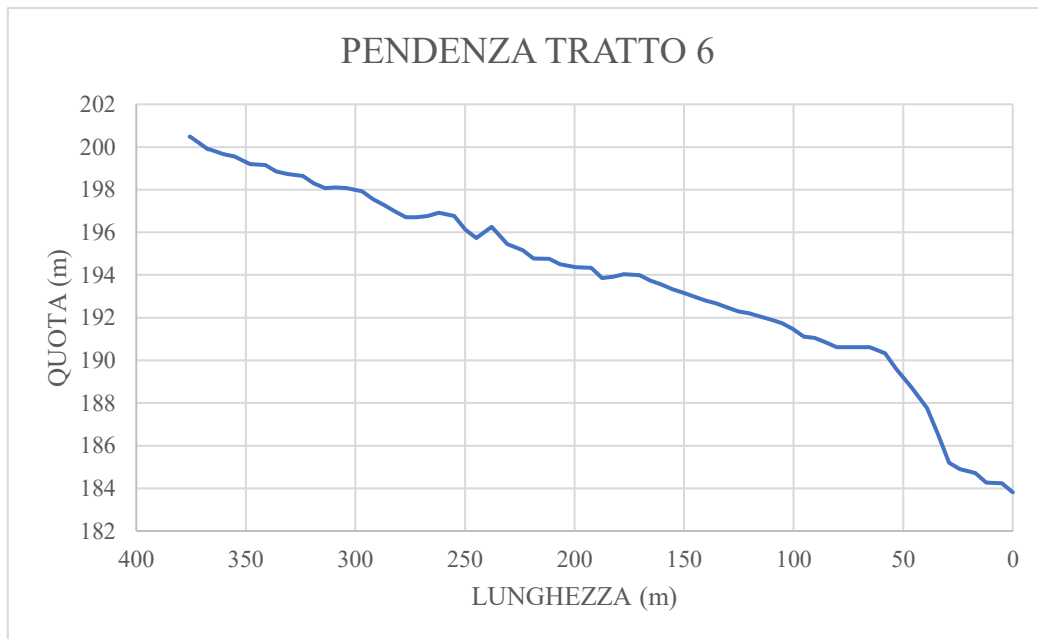


Figura 33: Grafico pendenza TRATTO 6

- TRATTO 7: il tratto finale analizzato, ha una lunghezza di circa 490 metri e si conclude nei pressi di una cascata naturale (Figura 35). Qui la morfologia del torrente si presenta con una serie di formazioni rocciose dove lo scorrimento della corrente d'acqua, incontrando svariati salti naturali, genera delle pozze (*pool*) a causa della sua azione erosiva che per caduta approfondisce localmente l'alveo. Queste sacche d'acqua rivestono un ruolo importante per alcune specie di anfibi (ad es.: *Salamandra salamandra*, *Bombina variegata*, *Triturus carnifex*) creando habitat di acqua ferma e stagnante ideali per la riproduzione soprattutto nei periodi di magra del torrente. La vegetazione è rigogliosa e talvolta ricopre le pareti arginali di roccia con uno sottile strato erbaceo. La pendenza media del tratto è del 3,88 % e si presenta mediamente costante lungo l'intero settore considerato (Figura 34).

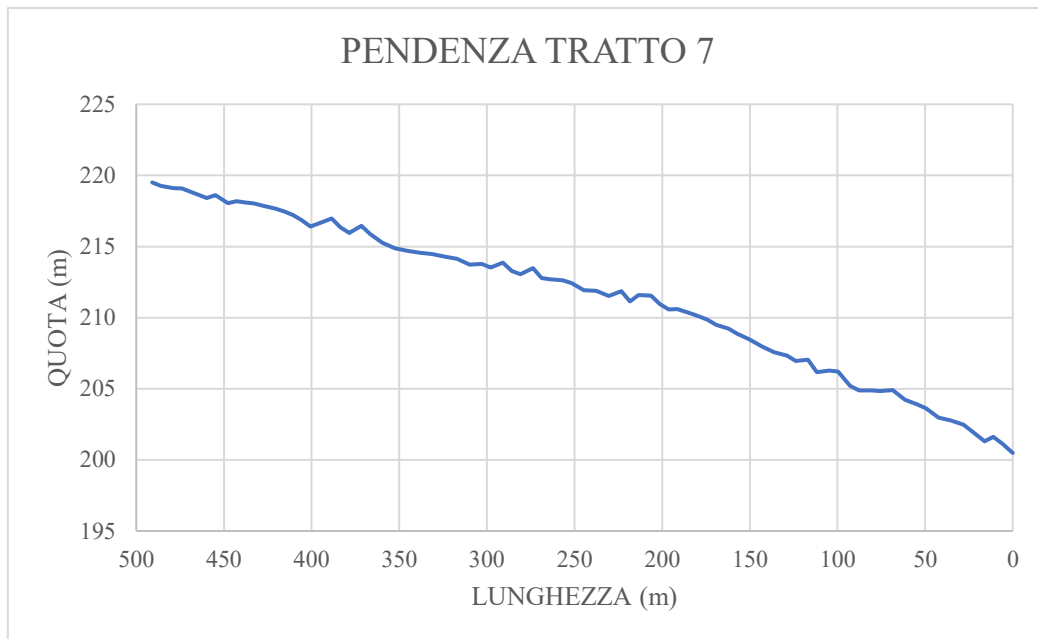


Figura 34: Grafico pendenza TRATTO 7

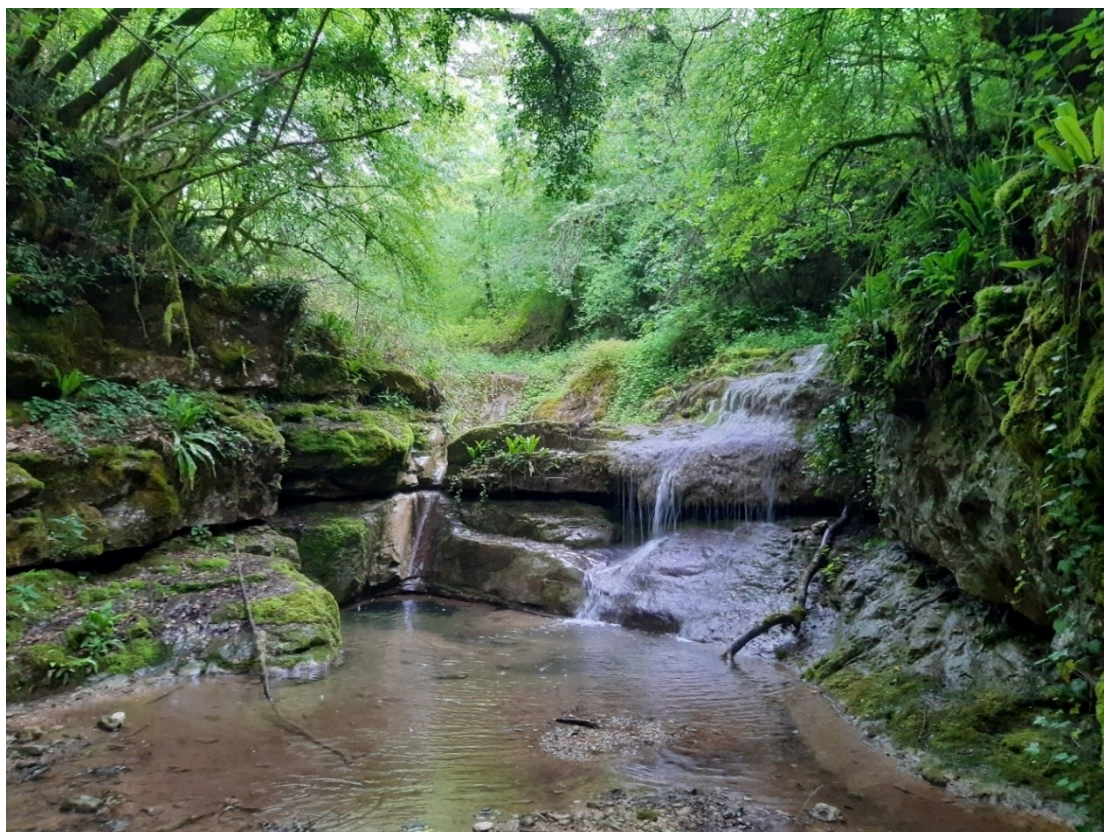


Figura 35: Punto terminale del Tratto 7

Per quanto si possa riassumere, quindi, si denota come gli ultimi tratti, rappresentati dai numeri 5-6-7 sono quelli a pendenza più elevata dove il n. 7 con il valore percentuale di 4,44 è il più elevato e il tratto n. 1 con una pendenza media del 1,56 % risulta essere il segmento meno pendente (Figura 36; Tabella 3).

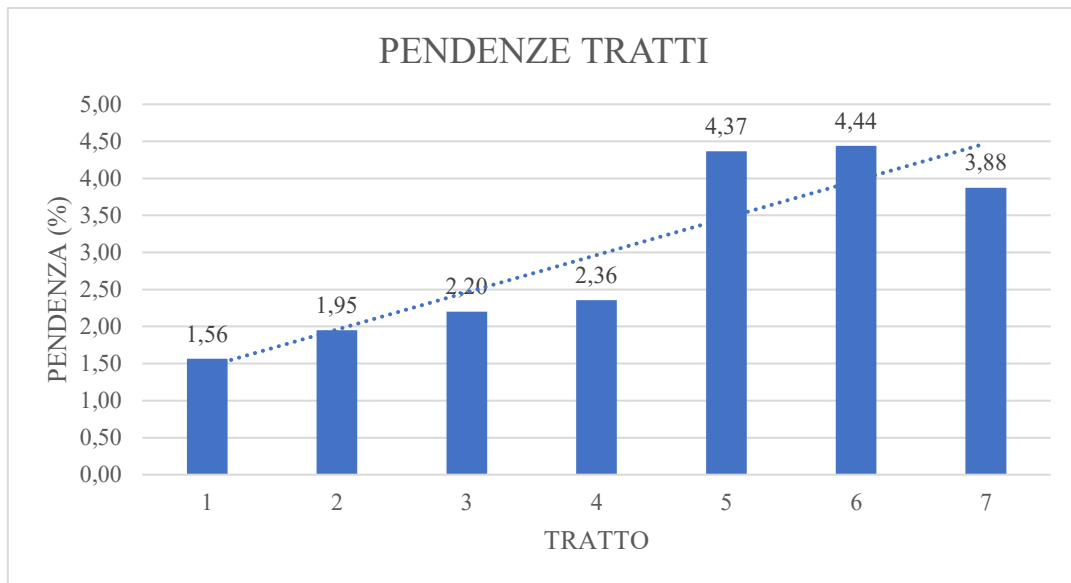


Figura 36: Pendenze tratti a confronto

Di seguito si riportano le formule per il calcolo della pendenza per ogni singolo tratto e per la media complessiva:

- PENDENZA (%):

$$i = \frac{\Delta h}{L} \times 100$$

Dove:

i = pendenza;

Δh = dislivello tra quota max e quota min;

L = lunghezza tratto.

- PENDENZA MEDIA (%):

$$\bar{i} = \frac{h_{max} - h_{min}}{L_{tot}} \cdot 100$$

Dove:

\bar{i} = pendenza media;

h_{max} = quota massima asta tratti;

h_{min} = quota minima asta tratti;

L_{tot} = lunghezza totale tratti uniti.

Nella Figura 37 viene mostrato invece il profilo longitudinale del settore analizzato suddiviso per tratti.

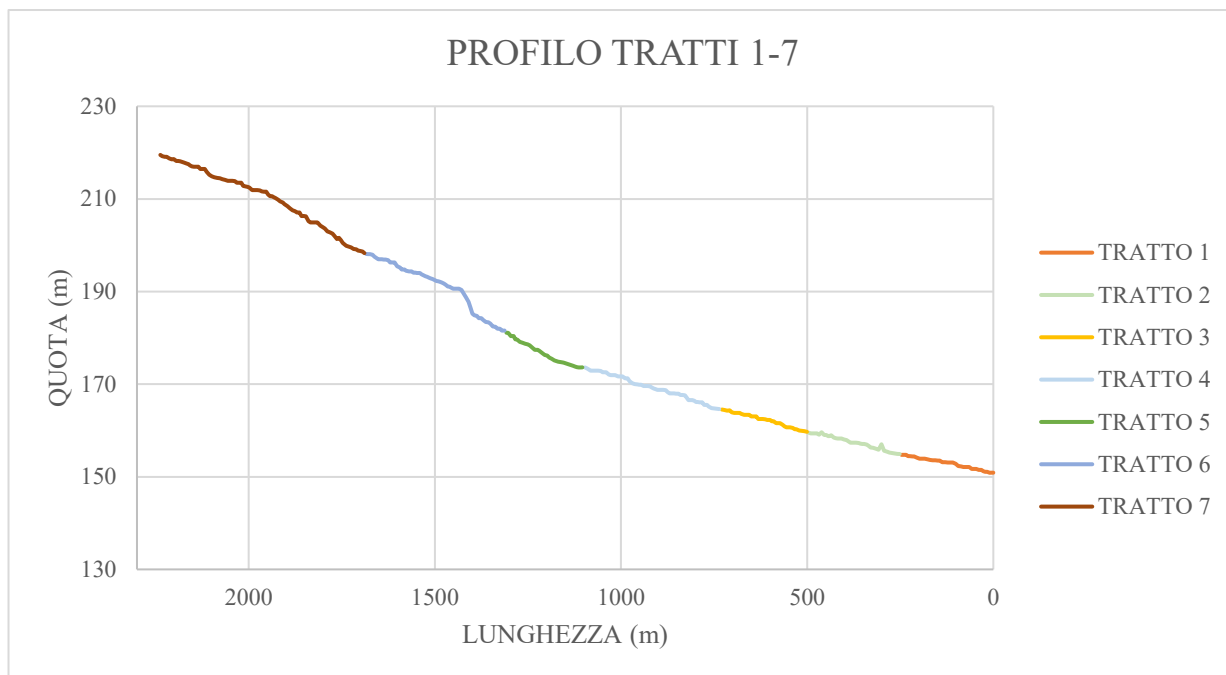


Figura 37: Profilo longitudinale unito dei tratti

Tabella 3: Riassunto dati pendenze

TRATTO	PENDENZA MEDIA (%)	QUOTA (m s.l.m.)		LUNGHEZZA (m)
		MAX	MIN	
1	1,56	154,74	150,88	246,57
2	1,95	159,32	154,74	234,95
3	2,20	167,45	159,32	369,19
4	2,36	174,76	167,45	310,48
5	4,37	183,81	174,76	207,34
6	4,44	200,49	183,81	375,66
7	3,88	219,51	200,49	490,88
Totale	3,07			2235,06

4. CAMPIONAMENTI ED ANALISI GRANULOMETRICA

4.1 SCELTA E CONSIDERAZIONI SULLA TECNOLOGIA UTILIZZATA

Il giorno 6 Maggio 2024 sono stati effettuati dei campionamenti in alveo con lo scopo di analizzare le caratteristiche del materiale in alveo. L'analisi granulometrica è un supporto indispensabile per determinare:

- la scabrezza idraulica del torrente;
- i parametri idraulici di soglia (portata liquida, velocità media della corrente, sforzo tangenziale) in corrispondenza ai quali ha inizio il trasporto solido di fondo;
- la capacità di trasporto solido del torrente.

Per la classificazione dei sedimenti si è fatto riferimento alla progressione dell'American Geophysical Union e riportata nella Tabella 4; nella tabella vengono evidenziate con maggiore dettaglio le classi diametriche che interessano i corsi d'acqua. La classificazione per i diametri segue la scala di Wentworth che si basa su una progressione esponenziale dei diametri: la base è 2 e l'esponente è l'indice $-\phi$ (sarà quindi: $D = 2^{-\phi}$, con il diametro D espresso in mm; od anche $-\phi = \log_2 D$). Generalmente ogni classe è costituita da incrementi dell'indice $-\phi$ pari 0.5 o, se si desidera una descrizione più minuziosa del campione, di 0.25. In questo modo con valori di $-\phi$ compresi fra 12 e -12 si descrive l'intera granulometria (Tabella 4). La transizione tra valori positivi e negativi di $-\phi$ avviene in corrispondenza dei diametri delle sabbie. La tabella è stata predisposta una suddivisione in classi che tiene conto dell'impossibilità del metodo di rilievo in campo di poter distinguere le granulometrie più fini (in genere si arriva a distinguere in modo accettabile le sabbie molto grosse dalle sabbie grosse, e con un poco di attenzione, le grosse dalle medio fini). Nella stessa tabella si è invece privilegiata la distinzione in classi per le granulometrie più grossolane, utilizzando incrementi di 0.5 dell'indice ϕ .

Tabella 4: Classi e dimensioni dei sedimenti incoerenti (American Geophysical Union)

Tipo di sedimento	Indice: $-\phi$ $2^{-\phi}$	Classe diametrica D (mm)
Massi molto grossi	$2^{12} - 2^{11.5}$	4096 – 2896
Massi molto grossi	$2^{11.5} - 2^{11}$	2896 – 2048
Massi grossi	$2^{11} - 2^{10.5}$	2048 – 1448
Massi grossi	$2^{10.5} - 2^{10}$	1448 - 1024
Massi medi	$2^{10} - 2^{9.5}$	1024 – 724
Massi medi	$2^{9.5} - 2^9$	724 – 512
Massi piccoli	$2^9 - 2^{8.5}$	512 – 362
Massi piccoli	$2^{8.5} - 2^8$	362 – 256
Ciottoli grossi	$2^8 - 2^{7.5}$	256 – 181
Ciottoli grossi	$2^{7.5} - 2^7$	181 – 128
Ciottoli piccoli	$2^7 - 2^{6.5}$	128 – 90
Ciottoli piccoli	$2^{6.5} - 2^6$	90 – 64

Ghiaia molto grossa	$2^6 - 2^5$	64 – 32
Ghiaia grossa	$2^5 - 2^4$	32 – 16
Ghiaia media	$2^4 - 2^3$	16 – 8
Ghiaia fine	$2^3 - 2^2$	8 – 4
Ghiaia molto fine	$2^2 - 2^1$	4 – 2
Sabbia molto grossa	$2^1 - 2^{0.5}$	2 – 1.4
Sabbia grossa	$2^{0.5} - 2^{-1}$	1.4 – 0.5
Sabbia da media a molto fine	$2^{-1} - 2^{-4}$	0.5 – 0.06
Limo	$2^{-4} - 2^{-8}$	0.06 – 0.004
Argilla	$2^{-8} - 2^{-12}$	0.004 – 0.002

Per l'esecuzione dei rilievi è stato utilizzato il metodo numerale, che a differenza di quello ponderale in cui tramite un setaccio a maglia quadrata vengono vagliati i sedimenti per ottenere una curva granulometrica che esprime l'andamento delle percentuali in peso del campione che sono passate attraverso le maglie dei rispettivi vagli, quello numerale prevede di non rimuovere i sedimenti dal letto ma di misurare sul campo il loro diametro intermedio "b" ottenendo una curva granulometrica in cui le percentuali passanti si riferiscono a frequenze numerali dei diametri del campione anziché a frequenze in peso. Nella letteratura scientifica sono state proposte varie modalità di esecuzione del campionamento numerale ma quello utilizzato per questi rilievi è il campionamento in linea ("transect line") data l'impossibilità di eseguire l'analisi, ad esempio in un reticolo, per via della geometria della sezione molto stretta dell'alveo tipica dei torrenti alpini. Individuato preliminarmente il tratto d'alveo da campionare, si è disteso la cordella metrica, quindi si è prefissato un'unità spaziale di riferimento secondo la quale eseguire il campionamento (0,5 metri) in cui sono stati evidenziati lungo la linea gli intervalli spaziali di campionamento. Ad ogni intervallo, dunque, veniva eseguito la rilevazione del sedimento presente in quel punto annotandolo in tabella utilizzando la classificazione sopra descritta (Tabella 4).

L'analisi granulometrica è stata effettuata in due transetti identificabili con i numeri 1 e 2. Il primo transetto ricade nel Tratto 1 (a monte della briglia) e il secondo nel Tratto 4. Questa scelta, anche se di tipo casuale rispetto alla localizzazione dei transetti, è stata presa in quanto si è considerato la parte terminale dell'area montana del bacino come la più rappresentativa nell'ottica di un possibile evento di piena con conseguente trasporto solido di fondo dovuta alla forza della corrente del corso d'acqua nella parte valliva del bacino.

4.2 RAPPRESENTAZIONE GRAFICA DELL'ANALISI GRANULOMETRICA

La granulometria è una proprietà che identifica le singole particelle che compongono una roccia sedimentaria, un terreno o un suolo in base alle dimensioni; la classificazione granulometrica prescinde dalla natura chimica o chimico mineralogica delle particelle e prende in considerazione esclusivamente la loro dimensione, secondo la quale vengono suddivise in classi granulometriche.

I dati ottenuti dal campionamento e successivamente suddivisi secondo la classificazione di Wentworth per una più semplice ed immediata lettura vengono rappresentati con la costruzione di istogrammi di frequenza e curve granulometriche. Tali curve possono rappresentare la frequenza assoluta o relativa degli elementi costituenti ogni singola classe granulometrica. Si elencano di seguito le definizioni delle due curve per capirne il loro uso:

- *Curva di frequenza relativa*: per ogni classe diametrica, esprime la sua percentuale rispetto al totale del campione. Ha un andamento di solito a campana, ma può presentare più valori modali (picchi), indicativi della presenza contemporanea di diverse frazioni granulometriche tra loro disgiunte. In termini analitici, rappresenta la derivata della curva di frequenza cumulata;
- *Curva di frequenza cumulata*: rappresenta la percentuale, riferito al totale del campione, del sedimento più fine (detto passante) relativamente ad ogni classe diametrica. È in sostanza l'integrale della curva di frequenza relativa, in termini discreti. È una curva crescente, terminante a 100, con punti di flessi in corrispondenza dei valori modali. Da essa si ricavano i diametri percentili.

4.2.1 ISTOGRAMMI DI FREQUENZA RELATIVA

Noto il numero complessivo di sedimenti costituenti il campione, noti i sedimenti appartenenti a ciascuna classe, si può costruire un istogramma di frequenza relativa, con in ordinata la percentuale di materiale appartenente ad una certa classe granulometrica ed in ascissa la classe corrispondente. Inoltre, partendo da tale istogramma, se si uniscono i punti medi delle classi granulometriche, si ottiene la curva di frequenza relativa. Dalla suddivisione di Wentworth, nota la numerosità del campione rispetto al numero totale degli elementi costituenti il campione stesso, si riescono ad ottenere istogrammi a barre, con in ordinata la percentuale di frequenza ed in ascissa le dimensioni delle classi.

L'istogramma a barre è un metodo di rappresentazione dei dati, nel quale le superfici delle singole barre sono proporzionali al valore delle singole classi granulometriche; in teoria diminuendo l'intervallo delle classi, per assurdo è possibile farlo fino all'infinito, si ottiene proprio la curva di frequenza, che è la rappresentazione continua e reale della distribuzione granulometrica.

4.2.2 CURVE GRANULOMETRICHE

Le percentuali dei frammenti delle varie dimensioni si distribuiscono secondo curve ben distinte chiamate curve granulometriche.

In ordinata si trova la "percentuale passante", ossia la percentuale di materiale più fine della maglia del setaccio che passa attraverso la maglia stessa, mentre in ascissa il diametro, cioè la larghezza minima della maglia del setaccio in caso di maglia rettangolare, o diametro in caso di fori circolari.

La curva granulometrica ha una forma crescente terminante al valore di 100, ossia al 100%, perché ad ogni classe granulometrica corrisponde in ordinata un valore percentuale del passante uguale alla somma tra il valore percentuale di quella classe e quello delle altre a granulometria minore.

Sulla curva di frequenza cumulata, i diametri associati ad una certa percentuale di passante vengono definiti diametri percentili e si indicano come D_{16} , D_{50} , D_{90} , dove il numero indica la percentuale considerata. I percentili si possono calcolare per via grafica (solo approssimativamente) o più correttamente tramite equazioni matematiche.

Dall'analisi delle curve granulometriche possono essere ricavati alcuni parametri come indicatori dell'uniformità od eterogeneità del campione, ossia quanto una miscela si presenti formata da particelle di dimensioni equivalenti.

4.3 PARAMETRI DELLA DISTRIBUZIONE GRANULOMETRICA

Dato che non si riscontrano mai granulometrie perfettamente uniformi, non basta un solo diametro a caratterizzarle. Si fa uso quindi di parametri relativi a:

- tendenza centrale (moda, media, mediana);
- ampiezza della distribuzione (deviazione standard, vari indici di gradazione, modulo di uniformità);
- simmetria rispetto alla moda;
- appiattimento della curva.

In generale, si possono calcolare tramite due approcci, uno basato sui percentili, l'altro fondato sui momenti di vario ordine della distribuzione. Verranno qui presentati i più comuni parametri calcolati tramite il metodo dei percentili.

Moda, media e mediana

La moda (o valore modale) è dato dalla classe che presenta la frequenza relativa maggiore. Rappresenta il picco della distribuzione. Si possono riscontrare distribuzioni bimodali o plurimodali, ma per poterle effettivamente definire in questo modo bisogna effettuare dei test di verifica.

Il diametro medio è il baricentro della curva di frequenza relativa, e quindi può venir calcolato come una media ponderata; in termini dell'indice *phi* si ha quindi:

$$\Phi_m = \frac{\sum f_i \cdot \Phi_{ci}}{100}$$

Con:

- f_i = frequenza relativa
- Φ_{ci} = valore centrale della classe *i*-esima

Da cui poi il diametro in millimetri:

$$D_m = 2^{-\Phi_m}$$

La mediana è invece il centro della distribuzione cumulata, ed è data dal diametro che la divide in due parti arealmente equivalenti, ovvero il diametro percentile relativo al 50%, il cosiddetto D_{50} . È il parametro più usato.

Ampiezza della curva (uniformità-eterogeneità)

Quanto più una miscela si presenta formata da particelle di dimensioni diverse, tanto più essa può essere descritta come avente delle specifiche caratteristiche che possono essere ricondotte ai seguenti parametri:

- Deviazione standard: rappresenta la misura della variabilità dimensionale entro il campione, ovvero del grado di omogeneità o di eterogeneità nella dimensione dei clasti. Se tale valore risulta essere uguale all'unità significa che la curva è uniforme (campione uniforme), se invece risulta essere maggiore di 1 la curva tende all'eterogeneità (campione eterogeneo). Questo parametro è dato dalla formula seguente:

$$\sigma = \sqrt{\frac{D_{84}}{D_{16}}}$$

Con:

- D_{84} : diametro corrispondente al passaggio in peso dell'84% del campione;
 - D_{16} : diametro corrispondente al passaggio in peso dell'16% del campione.
-
- Coefficiente di uniformità: definito come il rapporto tra il diametro delle particelle corrispondenti al 60% di passante ed il diametro delle particelle per cui si ha il 10% di passante. Tale coefficiente assume un valore pari a 1 nel caso di terreno perfettamente uniforme e valori via via crescenti all'aumentare dell'eterogeneità. Il calcolo di tale coefficiente è dato dall'equazione:

$$U = \frac{D_{60}}{D_{10}}$$

Con:

- D_{60} : diametro corrispondente al passaggio in peso dell'60% del campione;
 - D_{10} : diametro corrispondente al passaggio in peso dell'10% del campione.
-
- Indice di gradazione: misura il livello di gradazione delle particelle e risulta essere uguale alla deviazione standard in caso di curve simmetriche. Si calcola con la formula:

$$G = \frac{\frac{D_{84}}{D_{50}} + \frac{D_{50}}{D_{16}}}{2}$$

- Coefficiente di classazione: noto anche come coefficiente di *sorting*, è una misura della distribuzione granulometrica del sedimento, che indica quanto bene o male sono assortite le dimensioni delle particelle nel campione. Un sedimento ben assortito ha particelle di dimensioni molto simili tra loro, mentre un sedimento mal assortito ha particelle di dimensioni diverse. Tra i vari metodi disponibili per il calcolo viene usato quello proposto (Folk and Ward, 1957) di seguito in quanto più preciso perché più “sensibile” alle code della distribuzione:

$$s = \left| \frac{\Phi_{84} - \Phi_{16}}{4} \right| + \left| \frac{\Phi_{95} - \Phi_5}{6.6} \right|$$

I risultati di tale coefficiente possono essere interpretati secondo la Tabella 5:

Tabella 5: Grado di classazione secondo Folk and Ward (1957)

Coefficiente di classazione s (Folk and Ward, 1957)	Grado di classazione
>4	Estremamente basso
2-4	Molto basso
1-2	Basso
0.71-1	Moderato
0.50-0.71	Moderatamente elevato
0.35-0.50	Elevato
<0.35	Molto elevato

Simmetria della curva (skewness)

Le curve dei sedimenti fluviali tendono ad essere log-normali, cioè presentano una forte asimmetria con la coda verso la parte più grossolana. Dopo la trasformazione logaritmica operata tramite il passaggio all'indice *phi*, è del resto comune che le curve presentino ancora un certo grado di asimmetria. Se l'asimmetria è positiva, la distribuzione presenta un eccesso di componenti fini rispetto ad una curva simmetrica. In questo caso si parla di “coda fine”. Se invece, è negativa, allora la distribuzione presenta un eccesso di componenti grossolane rispetto ad una curva simmetrica. In questo caso si parla di “coda grossolana”.

In termini grafici l'espressione del coefficiente di asimmetria, secondo la proposta di Folk and Ward (1957), risulta essere la seguente:

$$sk = \frac{\Phi_{84} - \Phi_{50}}{\Phi_{84} - \Phi_{16}} - \frac{\Phi_{50} - \Phi_5}{\Phi_{95} - \Phi_5}$$

I risultati di tale coefficiente possono essere interpretati secondo la Tabella 6:

Tabella 6: Interpretazione valori di asimmetrie (Folk and Ward, 1957)

Coefficiente di asimmetria (Folk and Ward, 1957)	Descrizione
-0.3 a -1	Molto asimmetrica verso il fine
-0.1 a -0.3	Asimmetrica verso il fine
-0.1 a 0.1	Quasi simmetrica
0.1 a 0.3	Asimmetrica verso il grossolano
0.3 a 1	Molto asimmetrica verso il grossolano

4.4 FASI OPERATIVE

In questo paragrafo si analizza la parte di lavoro pratico, ossia direttamente in loco e successivamente quella di elaborazione dei dati lavorati al computer, con le operazioni e metodologie impiegate, ed un accenno alla strumentazione utilizzata.

Si inizia con il campionamento dei clasti attraverso il campionamento lineare, per poi passare alla costruzione degli istogrammi di frequenza e delle curve granulometriche, per concludere con un'analisi dei risultati ottenuti.

4.4.1 CAMPIONAMENTO DEI TRANSETTI

Per l'analisi granulometrica, come spiegato nel paragrafo 4.1, si è utilizzata la metodologia del campionamento lineare, che operativamente è risultata la scelta più adeguata a causa della ristretta sezione dell'alveo del torrente Mezzane.

La strumentazione necessaria per tale operazione comprende una cordella metrica necessaria per coprire l'intera lunghezza del transetto, una piastra forata con fori ad intervalli di 0,5 *phi* (da 2 mm a 180 mm) e di una tabella su supporto cartaceo per la raccolta dei diametri di ciascun grano considerato.

La giornata dedicata per svolgere le operazioni di campionamento è stata organizzata per il giorno 6 Maggio 2024.

Una volta giunti in loco nel letto del torrente, dopo una rapida analisi, si è decisi di procedere come segue:

- quantificazione degli elementi da analizzare;
- determinazione dell'interdistanza di campionamento;
- selezione sistematica camminando lungo linee ad intervalli regolari (preferito per i minori errori dell'operatore);
- determinazione della distanza di campionamento, da mantenere per tutta la lunghezza del transetto.

Si è scelto un passo di campionamento di 50 cm, ossia posizionato la cordella metrica come indicatrice della linea sulla quale eseguire le misurazioni, ogni 50 cm si è individuato il grano che ricadeva in quel punto, misurandone la classe diametrica entro cui ricadeva mediante l'ausilio della piastra forata con fori ad intervalli di 0,5 ϕ . Per quei massi di dimensioni maggiori ai fori della griglia, le misurazioni sono state eseguite mediante l'utilizzo di un metro stabilendo l'asse da tenere in considerazione per il rilievo come quello intermedio tra l'asse maggiore e l'asse minore.

Inoltre, si è dovuta stabilire la lunghezza dei transetti: il valore per il transetto 1 è stato stabilito in 50 metri, mentre per il transetto 2 in 60 metri. Il rilevamento dei grani è stato eseguito da monte a valle e viceversa ad un'interdistanza di 50 cm l'uno dall'altro per ciascun transetto.

La posizione dei due transetti campionati è la seguente:

- transetto 1: situato poco più a monte della briglia filtrante, in prossimità dell'inizio del tratto 1;
- transetto 2: situato in una posizione intermedia all'interno del tratto 4.

In totale quindi si è riusciti a coprire una distanza tale da acquisire un numero di elementi quantificabili in 100 grani per il transetto 1 e 120 grani per il transetto 2, che risulta formare un campione attendibile nei suoi risultati.

4.4.2 ATTRIBUZIONE DELLE CLASSI GRANULOMETRICHE, CALCOLO DELLE FREQUENZE RELATIVE E COSTRUZIONE DELLE CURVE GRANULOMETRICHE

Una volta annotati i dati relativi ai vari grani incontrati per ciascun transetto con un passo costante pari a 50 cm, la successiva operazione consiste nell'analizzare tali dati ed ottenere la curva granulometrica per ogni sezione. Ogni grano è stato appuntato in tabella inserendolo già all'interno della sua classe di appartenenza e non indicando il relativo diametro. Di conseguenza al termine del rilievo, la somma dei clasti presenti per ogni classe, ha fornito già una prima indicazione sulla frequenza assoluta per ciascuna classe diametrica.

Descritta la distribuzione delle classi e stabilito l'indice ϕ per ciascuna classe diametrica secondo la scala di Wentworth (vedi paragrafo 4.1), è stata calcolata la frequenza assoluta e relativa di tali classi, quest'ultima ottenuta con la seguente formula:

$$F_{rel} = \left(\frac{n}{N}\right) \cdot 100$$

Dove:

- n = numerosità per ciascuna classe (o frequenza assoluta);
- N = numero totale degli elementi ottenuta come somma di tutti gli elementi del campione.

Si ricorda come il valore percentuale corrispondente alla somma delle frequenze relative debba essere uguale obbligatoriamente a 100, e come la frequenza relativa possa essere rappresentata graficamente attraverso un grafico a torta o un istogramma.

Tale operazione di calcolo delle frequenze (Allegato A) è stata eseguita per i campionamenti dei due transetti. Di seguito si inseriscono i grafici delle frequenze relative (Figura 38) e delle curve granulometriche (Figura 39) dei due campionamenti a confronto.

Una volta suddiviso il campione di materiale nelle rispettive classi granulometriche, per i due transetti si sono costruite le relative curve granulometriche.

Una considerazione va fatta nella costruzione delle curve, in quanto sono stati inseriti i valori delle due classi più estreme (Indice *phi*: 0 – 0.5; -10.49 – 11) anche se considerate non significative dato che la loro somma in termini di frequenza è nulla.

A seguito di questa considerazione si ha che il 100% del passante in peso risulta essere pari ad un diametro di 2048 mm (estremo superiore dell'ultima classe).

Una volta ottenute le frequenze assolute e relative delle classi, è stato possibile calcolare le frequenze cumulate grazie alla sommatoria di volta in volta del peso della prima classe con quello delle successive. Ciò a permesso, infine di ottenere la rispettiva curva granulometrica. Le rispettive curve granulometriche relative ai transetti vengono riportate nell'Allegato A.

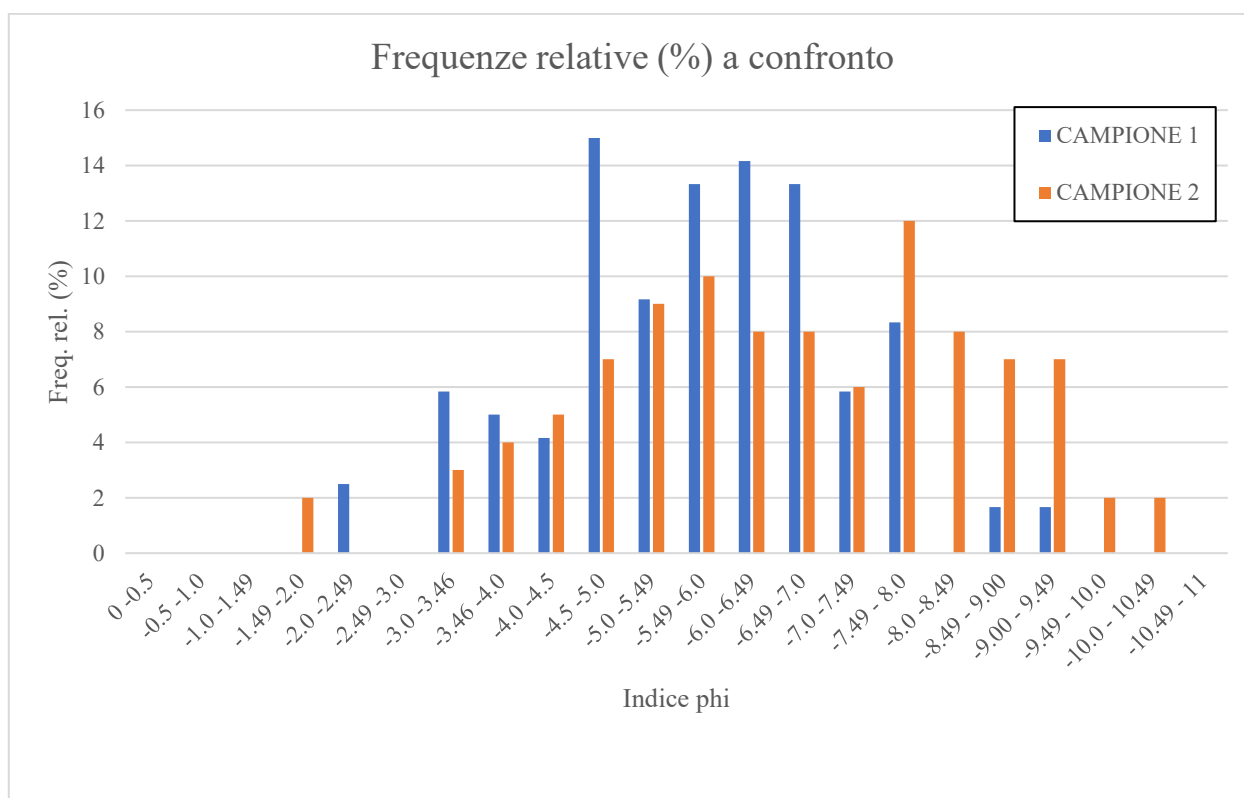


Figura 38: Grafico delle frequenze relative a confronto

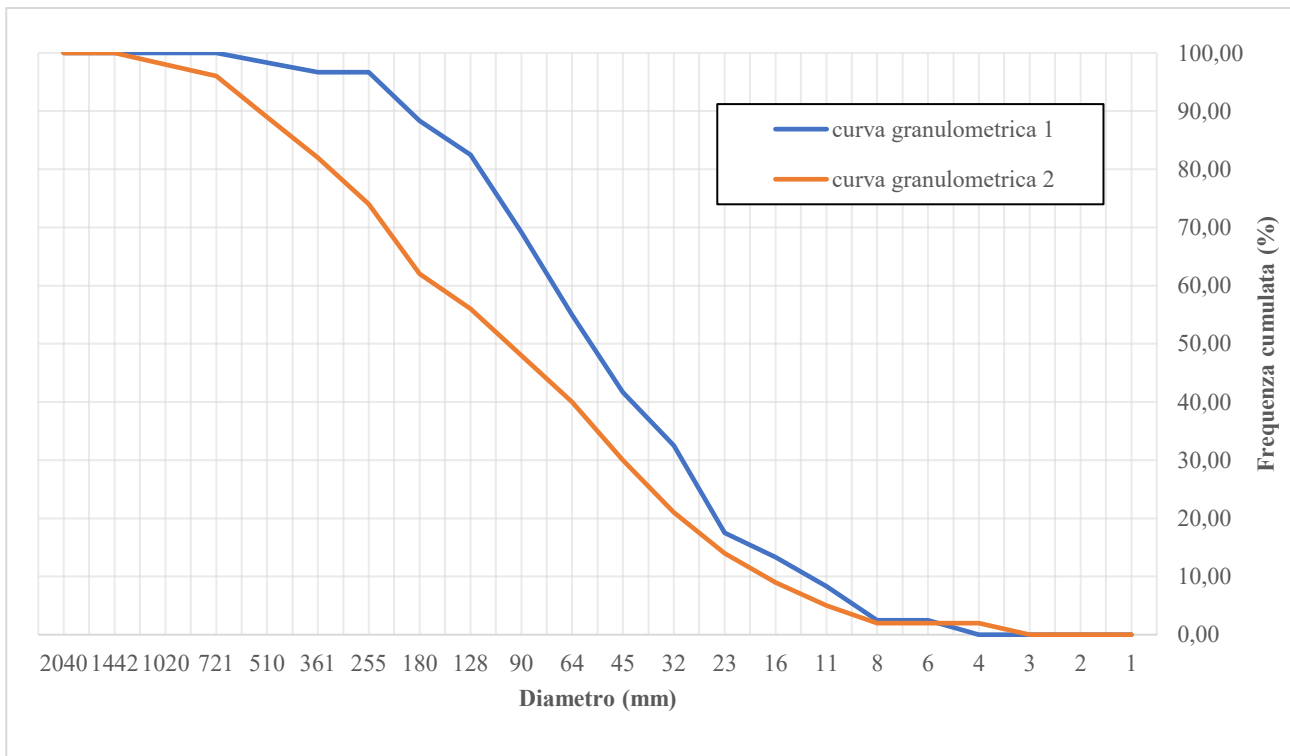


Figura 39: Grafico delle curve granulometriche a confronto

Per calcolare i parametri descritti nel paragrafo 4.3, si sono calcolati oltre al D_{50} anche il D_5 , D_{10} , D_{16} , D_{30} , D_{60} , D_{84} , D_{90} , D_{95} , D_{100} .

Per ottenere, invece, il valore di phi_x è stata utilizzata la seguente formula:

$$\Phi_x = \Phi_{inf} + \frac{\Phi_{sup} - \Phi_{inf}}{F_{sup} - F_{inf}} \cdot (F_x - F_{inf})$$

Dove:

- Φ_{inf} = estremo superiore della classe inferiore rispetto a x;
- Φ_{sup} = estremo superiore della classe superiore rispetto a x;
- F_{inf} = frequenza cumulata della classe inferiore rispetto a x;
- F_{sup} = frequenza cumulata della classe superiore rispetto a x;
- F_x = frequenza di classe x (es: $F_5 = 5$).

Nella Tabella 7 si riportano i valori in tabella divisi per campione.

Tabella 7: Calcolo diametri caratteristici di una distribuzione granulometrica

CAMPIONE 1			CAMPIONE 2		
	ϕ_{ix}	Dx (mm)		ϕ_{ix}	Dx (mm)
D5	-3,20	9,17	D5	-3,46	11,00
D10	-3,64	12,47	D10	-4,10	17,15
D16	-4,32	19,97	D16	-4,64	24,98
D30	-4,92	30,20	D30	-5,49	44,94
D50	-5,81	56,05	D50	-6,62	98,19
D60	-6,17	72,15	D60	-7,33	160,53
D84	-7,13	139,68	D84	-8,64	398,06
D90	-7,59	192,78	D90	-9,07	535,75
D95	-7,89	237,73	D95	-9,42	686,24
D100	-9,49	721,07	D100	-10,49	1442,14

4.5 RISULTATI

L'analisi granulometrica è, come detto in precedenza, uno strumento utile per valutare il grado di assortimento delle particelle, cioè quanto le particelle che compongono il campione presentano eterogeneità di dimensioni. Da un'analisi generale dei dati, si evince che il materiale granulare presenti un diametro compreso tra 32 e 181 mm per il *campione 1* con diametro medio (D_m) uguale a 52,89 mm, mentre per il *campione 2* le dimensioni delle particelle variano in un range compreso tra 45 e 362 mm con diametro medio (D_m) maggiore rispetto al precedente, approssimativamente di 97 mm.

Per ogni transetto è stata costruita la rispettiva curva granulometrica, dalla quale sono stati ottenuti i parametri inseriti nella Tabella 8: la deviazione standard (σ) ed il coefficiente di gradazione (G) assumono valori pressoché identici in quanto i coefficienti di asimmetria (sk) descrivono le distribuzioni come “quasi simmetriche” (Folk and Ward, 1957). Considerato che i valori di sk sono compresi nella parte di range negativo della classe considerata, anche se per qualche unità decimale, si deduce che la distribuzione confermi una leggerissima tendenza a presentare componenti grossolane (“*coda grossolana*”).

Il coefficiente di classazione (s) assume valori di 1,41 per il *campione 1* e di 1,90 per il *campione 2*, indicando un grado di classazione basso e un mal assortimento delle dimensioni delle particelle dei sedimenti.

La deviazione standard (σ) e il coefficiente di uniformità (U) assumono entrambi valori maggiori dell'unità per ciascun campione. Tali risultati portano al fatto che il materiale granulometrico risulta essere abbastanza eterogeneo.

Tabella 8: Tabella riassuntiva parametri

	CAMPIONE 1	CAMPIONE 2
<i>phi</i> medio (Φ_m)	-5,73	-6,60
Dm (cm)	52,89	97,01
Dev. Standard (σ)	2,64	3,99
Coeff. di uniformità (<i>U</i>)	5,79	9,36
Coeff. di gradazione (<i>G</i>)	2,65	3,99
Coeff. di classazione (<i>s</i>)	1,41	1,90
Coeff. di asimmetria (<i>sk</i>)	-0,09	-0,02

5. LEGNAME IN ALVEO

5.1 ORIGINE, TRASPORTO, DEPOSITO, EFFETTI

Il legname presente lungo i corsi d'acqua può provenire da diverse fonti, subire varie dinamiche di trasporto e accumulo, e presentare dimensioni, forme e caratteristiche del legno molto variabili. Sulla base di questi parametri, il legname in alveo è stato classificato in diversi sistemi. Nell'ambiente anglosassone, con il termine Large Wood (LW) si identifica il materiale legnoso che supera una certa soglia dimensionale. Diversi autori hanno proposto soglie differenti, ma comunemente si considera LW il legname con un diametro minimo di 0,1 m e una lunghezza minima di 1 m (Gurnell et al, 2002). Il Large Wood è la componente legnosa che incide maggiormente sulle dinamiche fluviali, con effetti sia positivi che negativi. Il Fine Wood (FW), la componente più piccola del legname che si trova nell'alveo del fiume, ha un ruolo minore nella fluviomorfologia ma è ecologicamente importante e, quando si accumula, può stabilizzare gli ammassi di legname. La distinzione tra LW e FW è in gran parte convenzionale, poiché l'influenza del legname dipende dalle sue dimensioni relative a quelle del canale in cui si trova (Hassan et al, 2005).

I fattori che provocano l'ingresso del legname in alveo sono vari e includono sia la vegetazione ripariale che altre tipologie di cause. Tra questi vi sono cause biologiche come la mortalità naturale, gli insetti e le malattie fungine, e cause non biologiche come frane, erosioni spondali, schianti da vento e neve, colate detritiche e attività umane. Si distingue inoltre, tra reclutamento attivo, dovuto all'erosione causata dal fiume stesso, e meccanismi passivi, dove i fattori scatenanti sono esterni e possono coinvolgere aree boschive lontane dal corso d'acqua (Trentini e Fossi, 2015). In determinate condizioni del versante, soprattutto in relazione alla pendenza, possono raggiungere l'alveo tronchi provenienti da aree molto distanti dalla zona di influenza del corso d'acqua. Le caratteristiche principali del legname in alveo, come diametro e lunghezza massimi, peso specifico e geometria, sono determinate dalla natura delle superfici boscate del bacino idrografico. In particolare, età, densità e stato fitosanitario del soprassuolo influenzano le proprietà del legname.

Altre peculiarità del LW, come menzionato da Trentini e Fossi (2015), possono essere dedotte dalla composizione specifica dei popolamenti, in particolare:

- boschi di conifere favoriranno l'immissione in alveo di tronchi molto lunghi e senza ramificazioni, con peso specifico basso, quindi facilmente fluitabili a valle;
- boschi di latifoglie favoriranno l'immissione in alveo di tronchi più corti, di peso maggiore e con molte più ramificazioni, dei quali è favorita la ritenzione.

La geomorfologia dell'area e l'individuazione delle zone in dissesto sono altrettanto importanti. Le dinamiche di reclutamento del legname lungo i corsi d'acqua variano in relazione all'ordine del collettore. I torrenti di primo e secondo ordine, caratterizzati da elevate pendenze e una maggiore percentuale di superficie boscata, sono soggetti a frequenti fenomeni di frane e colate detritiche, risultando i principali processi di immissione di

legname nelle aree montane dei corsi d'acqua.

I fattori menzionati fino a questo punto sono principalmente di origine naturale; tuttavia, è evidente l'influenza dell'uomo attraverso le pratiche selvicolturali e le opere idraulico-forestali, che possono significativamente influenzare i fenomeni descritti.

Lo studio delle modalità di trasporto e della dinamica di trasferimento del legno flottante (LW) è fondamentale per la gestione del detrito legnoso, permettendo di determinare la quantità di legname mobilitabile e le condizioni di deposizione. Il movimento incipiente del legname è determinato dall'equilibrio delle seguenti forze:

- forza idrodinamica della corrente;
- forza di resistenza del tronco;
- spinta di galleggiamento;
- peso del tronco.

Il movimento inizia quando la forza idrodinamica che agisce sul tronco supera la forza di resistenza generata dal suo peso specifico e dagli attriti causati dalla sua forma; inoltre, la spinta di galleggiamento deve essere superiore al peso del tronco. Queste forze sono influenzate dalle caratteristiche del tronco e del corso d'acqua, come la densità del legno, il coefficiente di forma, la velocità della corrente e la pendenza dell'alveo. Anche il tirante idrico e il diametro del tronco sono cruciali, con un rapporto che deve essere maggiore di 1 - 1,2, oppure 1,5 in presenza di rami o 1,7 se ci sono radici, per garantire la fluitazione (Abbe e Montgomery, 2003).

Il trasporto del legname può avvenire in diverse modalità, determinate principalmente da due rapporti: la densità relativa e la sommersione relativa. Il primo è il rapporto tra la densità del tronco e quella dell'acqua, il secondo è il rapporto tra il diametro del tronco e il tirante idrico. Le tre modalità di trasporto sono:

- trascinalamento e rotolamento sul fondo: avviene quando il tronco ha una densità superiore a quella dell'acqua o quando il tirante idrico è insufficiente per sollevarlo dal fondo. In questa condizione, il tronco è sempre a contatto con il letto del fiume e le forze di attrito rallentano significativamente il movimento;
- sospensione: si verifica quando il peso specifico del tronco è molto simile a quello dell'acqua e il tirante idrico è superiore al diametro del tronco. Il trasporto avviene all'interno del flusso, senza emergere sulla superficie né toccare il fondo;
- fluitazione: le condizioni per la fluitazione del legname sono una densità inferiore a quella dell'acqua e un tirante idrico maggiore del diametro del tronco. In questo caso, il tronco viene trasportato per galleggiamento, con parziale emersione sulla superficie.

Il peso specifico del tronco è determinato dalle caratteristiche della specie, ma è influenzato anche dal grado di deterioramento. Il processo di imbibizione, infatti, aumenta il peso specifico, rendendo il legname non più

fluitabile. I processi di degradazione non interessano solo la densità, ma anche la forma e dimensione del legno. Durante il trasporto verso valle, i tronchi possono rompersi e perdere ramificazioni a causa di rotolamenti, abrasioni dai sedimenti, degradazioni biologiche, impatti con massi o pareti rocciose, imbibizione e marcescenza (Trentini e Fossi, 2015). Un altro parametro che influisce notevolmente sulla dinamica del trasporto è la lunghezza del tronco, che è strettamente correlata alla distanza percorsa. La lunghezza del legname deve essere considerata in relazione alla larghezza del canale e alla sinuosità del tratto in esame.

In relazione al rapporto tra la lunghezza media del legname e la larghezza del collettore, i corsi d'acqua si possono suddividere in tre categorie (Gurnell et al., 2002):

- *small rivers*: la larghezza del collettore è minore della lunghezza media dei pezzi di legname. In questi tratti, la capacità di ritenzione è generalmente molto alta, poiché i LW sono poco mobili e formano strutture caotiche indipendentemente dalle caratteristiche idrauliche e dalla forma dei tronchi;
- *medium rivers*: la larghezza del collettore è di poco superiore alla lunghezza media dei tronchi. In questi corsi d'acqua, ogni caratteristica del legname e del canale può influenzarne la ritenzione. Il regime delle portate e del trasporto solido, il diametro e il peso specifico dei pezzi sono fattori importanti. Anche forma e lunghezza del legname sono fattori chiave nella capacità di ritenzione;
- *large rivers*: la larghezza del collettore è nettamente superiore alla lunghezza del materiale fluitato. La lunghezza del legname diventa di importanza secondaria, mentre la sua complessità geometrica e la morfologia dell'alveo sono più influenti. Anche la distribuzione della corrente è importante.

Infine, la lunghezza del LW non sempre rappresenta un fattore negativo per la capacità di trasporto. A parità di diametro, i tronchi più lunghi possiedono una massa maggiore e quindi una maggiore inerzia, permettendo loro di superare più facilmente le zone di secca. L'inerzia è un fattore dominante del trasporto quando vi sono alte percentuali di aree con profondità dell'acqua superiore alla profondità di galleggiamento del legname. L'inerzia si dissipa ogni volta che il tronco incontra il letto del fiume, quindi profondità costanti permettono di mantenere una velocità costante, favorendo i pezzi di massa maggiore nei tratti a tirante ridotto (Braudrick e Grant, 2001).

Un'ultima classificazione delle modalità di trasporto del legname considera il grado di congestione, distinguendo tre categorie (Braudrick et al., 1997):

- non congestionato: i tronchi si muovono senza interagire tra loro e rispondono in modo indipendente a ostacoli e gradienti di velocità;
- congestionato: il legname occupa più del 33% dell'area unitaria del canale e si muove come un'unica massa, con interazioni frequenti. Questo tipo di trasporto è caratterizzato da un movimento tendenzialmente impulsivo;
- semi-congestionato: comportamento intermedio, con tronchi isolati e tronchi raggruppati in piccole

masse.

Questa distinzione è importante perché le tre tipologie di movimento condizionano diversamente l'idrodinamica del legname. I moti congestionati sono più propensi a formare ostruzioni nella sezione di deflusso, soprattutto nei torrenti di ordine inferiore, e tendono a creare accumuli che modificano profondamente la morfologia dell'alveo. Il moto congestionato è quindi il più problematico e pericoloso.

Durante il trasporto, il legname fluitato tende a disporsi parallelamente alla direzione della corrente, con le radici orientate verso valle. Le radici costituiscono il punto di maggior ingombro e sono quindi le prime a entrare in contatto con ostacoli o con il letto del fiume. Quando ciò accade, il tronco inizia a ruotare attorno al punto d'ancoraggio fino a tornare in posizione parallela alla corrente, con le radici rivolte verso monte. Se altri ostacoli bloccano anche l'altra estremità del tronco, questo può stabilizzarsi, anche in posizione obliqua o trasversale rispetto alla corrente.

Analogamente al grado di congestione del legname in movimento, si possono distinguere tre categorie di legname depositato (D'AGOSTINO, 2021):

- DISPERSO: il legname è distribuito senza formare cumuli, con ogni tronco o ramo che costituisce un'entità a sé stante;
- CONCENTRATO: il legname è depositato formando un unico ammasso di dimensioni superiori a 1 m³;
- A GRUPPI: il legname è depositato in piccoli gruppi di dimensioni inferiori a 1 m³.

Le modalità di deposito riflettono generalmente le forme di movimento che le hanno generate. È quindi importante prestare attenzione alle problematiche che possono derivare dal legname depositato in forma concentrata.

Gli accumuli di legname possono formare diverse strutture, che risultano particolarmente caotiche nei torrenti di ordine inferiore e più ordinate e classificabili in specifiche categorie nei corsi d'acqua più grandi. La classificazione proposta da Abbe e Montgomery (2003) suddivide gli accumuli in tre categorie in base alla dinamica di formazione:

1. In Situ Debris and Jams

Accumuli costituiti da materiale rimasto nella posizione di immissione in alveo. Questo materiale possiede una resistenza e una forza tale da contrastare le spinte idrodinamiche della corrente durante eventi di piena ordinaria. Questi accumuli influenzano attivamente la morfologia e l'ecologia del canale e si suddividono in due sottocategorie:

- a. *Log Step*: depositi situati in alveo e disposti trasversalmente al flusso. Sono tipicamente

costituiti da singoli o pochi elementi con le estremità incastrate alle sponde o a grandi massi, formando una sorta di gradino;

- b. *Bank Input*: simile al precedente, ma le piante si trovano esattamente nel punto di immissione, talvolta con l'apparato radicale parzialmente ancorato alla sponda. Non interessa mai l'intera larghezza dell'alveo e la sua interazione con la morfologia è parziale.

2. *Transport Jams*

Accumuli formati da materiale trasportato dalla corrente e depositato durante la fase calante della piena attorno a ostacoli, isole, barre o lungo la sponda. Possono essere distinti nelle seguenti sottocategorie:

- a. *Debris Flow/Flood Jams*: residui legnosi depositati da colate detritiche in grossi accumuli caotici, che possono essere mobilitati durante gli eventi di piena causando congestioni;
- b. *Bench Jams*: accumuli ai margini del canale con elementi disposti parallelamente o obliquamente rispetto al flusso della corrente. Causano deviazione della corrente e tendono a inglobare altro materiale legnoso transitante;
- c. *Bar Apex Jams*: depositi situati sulle barre mediane, costituiscono strutture molto stabili che alterano notevolmente la morfologia dell'alveo, riducendo la sezione di deflusso e inducendo erosione e sedimentazione localizzate;
- d. *Meander Jams*: ammassi formati sulla parte concava della sponda interna dei meandri per sbandamento del flusso. Sono depositi molto stabili che riducono la sezione di deflusso.
- e. *Log Raft Jams*: meno frequente oggi perché tipico di zone non alterate dall'uomo. Deriva dal trasporto congestionato di grosse quantità di legname, creando strutture molto stabili e di grandi dimensioni in grado di ostruire anche grandi canali;
- f. *Bar Top Jams*: accumuli casuali lungo la sponda, su barre spondali, piane alluvionali o golene, depositi durante la fase calante della piena. Queste strutture sono instabili e facilmente rimobilitabili;
- g. *Bank Edge Jams*: elementi depositati lungo la sponda, disposti parallelamente al flusso e facilmente mobilitabili dalle piene successive.
- h. *Bank Revetment Jams*: simili ai *meander jams*, ma meno stabili e con minore capacità di intercettare altro materiale.

3. *Combinated Jams*

Accumuli composti da elementi fluitati ammassati su elementi preesistenti in alveo. Si distinguono due sottocategorie a seconda della dimensione degli accumuli:

- a. *Valley Jams*: formati da piante schiantate in alveo che intercettano altro materiale fluitato. Sono accumuli di grandi dimensioni che spesso formano importanti ostruzioni, caratterizzati dalla presenza di elementi chiave di lunghezza superiore alla larghezza del canale;

- b. *Flow-Deflection Jams*: accumuli costituiti da elementi chiave che si trovano nel luogo di prima immissione e che hanno intercettato molti altri elementi trasportati. La caratteristica distintiva rispetto ai *valley jams* è che sono ancorati alla sponda e possono ruotare attorno a questo punto fisso, tendendo ad allinearsi al flusso della corrente, che viene comunque deviata dalla loro presenza in alveo.

Il legname presente in alveo ha un'influenza significativa sul sistema fluviale, agendo su diversi aspetti con conseguenze sia positive che negative. L'ostruzione di sezioni critiche, come luci dei ponti e tombotti, può causare l'esonazione del corso d'acqua. Inoltre, i tronchi possono rafforzare le colate detritiche e formare sbarramenti temporanei in alveo, con il rischio di *dam-break*, un evento potenzialmente disastroso che genera ondate di piena e rilascio di grandi quantitativi di sedimenti. Tuttavia, la presenza del legname è molto importante per il sistema fluviale, apportando numerosi benefici, soprattutto a livello ecologico e morfologico. Gli effetti del legname possono essere raggruppati nelle seguenti tipologie:

EFFETTI IDRAULICI

La presenza di legname fluitato (LW) e le diverse strutture che si possono formare influenzano notevolmente i processi idraulici. Questi effetti variano in base alle caratteristiche del corso d'acqua e del legname. Un tronco immerso in una corrente libera crea turbolenza, che può essere definita tramite il numero di Reynolds:

$$Re = \frac{U \cdot D}{\nu}$$

Dove:

- U = velocità del flusso libero;
- D = diametro dell'ostacolo;
- ν = viscosità cinematica del fluido.

Con $Re \approx 10$ si generano vortici circolari simmetrici, con $Re \approx 10^2$ si creano vortici alternati e con $Re \approx 10^4$ si ha turbolenza più regolare in regime subcritico. Il regime diventa critico con $Re \approx 10^5$ e supercritico per valori superiori (Mutz, 2003). La morfologia del tratto e il livello idrometrico influiscono molto sull'efficacia del legname nel modificare i flussi d'acqua; nei torrenti di ordine inferiore, ad esempio, la presenza di LW risulta più impattante. Le caratteristiche del LW che determinano la tipologia e l'intensità degli effetti idraulici sono la dimensione, l'orientamento, l'aggregazione e la quantità di detrito legnoso. I LW influenzano in particolare la scabrezza idraulica, la velocità del deflusso, la portata, l'intensità del trasporto di fondo e la sua granulometria. Le ostruzioni create dai tronchi possono essere distinte in quattro categorie in base alla posizione, ognuna con differenti effetti idraulici. I LW possono essere disposti in modo verticale, orizzontale, obliquo o a gradino. Le strutture verticali creano vortici e mulinelli turbolenti con effetti erosivi sul letto del canale (Melville, 1992); le ostruzioni oblique generano effetti simili, complicati da accelerazioni della corrente

sopra, sotto e attorno all'elemento. Gli sbarramenti orizzontali vanno distinti in quelli che non sono appoggiati in alveo, in cui la corrente viene deviata verso il fondo con effetti erosivi, e le ostruzioni a gradino (*log steps*), dalle quali si generano getti liberi e pozze sottostanti. In questo secondo caso si formano vortici circolari davanti e dietro all'ostacolo, diminuendo la velocità idrica e aumentando il tirante. I *log step* sono strutture tipiche di molti torrenti di montagna, molto efficaci nel dissipare l'energia della corrente, motivo per cui lo stesso principio viene adottato in molte sistemazioni idraulico-forestali, come le briglie di consolidamento, che riducono la pendenza del tratto favorendo la stabilizzazione del fondo e delle sponde, oltre a intrappolare il sedimento a monte analogamente a quanto avviene con le formazioni naturali (D'AGOSTINO, 2001). Negli ultimi decenni, molte opere in ambiente montano sono realizzate in legname, come le briglie a palificata e le briglie a cassone, permettendo una migliore integrazione della costruzione con l'ambiente naturale. I *log step* influiscono positivamente sulla risposta a eventi di piena non eccezionali, ma con eventi di maggiore intensità, quando il tirante è di molto superiore al salto, questo effetto è meno significativo (Faustini e Jones, 2003). Tra le problematiche causate dai LW si possono menzionare l'intasamento delle luci dei ponti con conseguente aumento della spinta idrostatica sulle pile fino a possibili cedimenti strutturali, la riduzione della funzionalità idraulica delle opere di trattenuta nei collettori montani e il rallentamento dei meccanismi di auto-pulizia delle opere durante eventi ordinari (Mazzalai et al, 2006). Infine, i LW aumentano la complessità dei deflussi e la ritenzione idrica, diminuendo la portata delle piene di piccolo e medio ordine, ma possono anche incrementare la resistenza al flusso e ridurre la sezione del canale, causando un aumento locale del tirante e del picco di portata massima (Abbe e Montgomery, 1996).

EFFETTI EROSIVI-SEDIMENTOLOGICI

Il trasporto di sedimenti e di detrito legnoso, pur avendo dinamiche differenti, sono strettamente correlati. Gli effetti dipendono dalle caratteristiche del corso d'acqua, come dimensioni, pendenza, condizioni del fondo e morfologia. La posizione e l'orientamento dei LW sono altri fattori determinanti nel definire le dinamiche erosive e sedimentologiche. Le ostruzioni generate dai LW possono trovarsi in quattro posizioni e generano differenti effetti erosivi: le strutture verticali, ad esempio, creano zone di erosione localizzate con forme caratteristiche denominate *scour pools*, *eddy pools* e *diammer pools* (Robison e Beschta, 1990). Il flusso di corrente che passa sotto sbarramenti orizzontali non appoggiati in alveo sottrae sedimenti alla base del legname, creando fosse chiamate *underscour*. Altri fenomeni erosivi includono erosioni spondali causate dalla deviazione del flusso indotta dai cumuli di legname. Spesso il legname è coinvolto nei processi sedimentologici, come nel caso dei *log step* e altre strutture simili. Nei torrenti montani, caratterizzati da dimensioni ridotte dell'alveo, elevata pendenza, abbondanza di LW di grosse dimensioni e granulometria dei sedimenti superiore, si può notare una maggiore interazione. I grossi massi possono creare sezioni critiche in cui il legname tende a incastrarsi e a bloccare altro sedimento sempre più fine. La presenza di legname può quindi contribuire alla trattenuta di sedimento e all'aumento della variabilità granulometrica.

EFFETTI MORFOLOGICI

Il legname, inducendo deposizione o erosione, ostruendo e deviando la corrente e modificandone il profilo longitudinale, può modificare profondamente la morfologia di un corso d'acqua. I singoli elementi possono avere un'influenza locale, ma i grossi accumuli possono modificare sostanzialmente la conformazione del canale, creando talvolta morfologie imposte (Montgomery e Buffington, 1997). Gli ammassi di legname possono far divergere il flusso della corrente creando canali multipli di larghezza minore, ma possono anche causare erosioni spondali che aumentano la sezione del collettore o la migrazione laterale dello stesso. Gli accumuli di grosse dimensioni e molto stabili, come i *valley jams*, possono creare vere e proprie dighe con salti idraulici di notevole altezza. I *log step* possono creare strutture a gradino con sequenze simili agli *step-pool*, con i conseguenti vantaggi in termini di stabilizzazione del letto del torrente. In modo simile, il legname può indurre la formazione di *riffle-pool* anche in tratti caratterizzati da un letto piano o un alveo in roccia (Montgomery et al., 1996). La presenza di LW può infine stabilizzare le sponde e permettere la formazione di barre e isole.

EFFETTI ECOLOGICI

Il legname fluitato (LW), ma anche la componente più minuta denominata Fine Wood, apporta una serie di benefici all'ecosistema fluviale. Innanzitutto, grazie alla loro decomposizione, forniscono sostanza organica e nutrienti alla rete trofica, in particolare a microorganismi e alghe che stanno alla base della catena alimentare. In secondo luogo, i *log step* e altre barriere formate dal legname intrappolano residui e detriti organici, contribuendo alla regolazione e trasformazione delle sostanze nutrienti (Sedell et al., 1988). Queste strutture costituiscono inoltre importanti habitat per numerose specie animali e vegetali, fornendo rifugio dalle correnti veloci, dai predatori e dagli effetti climatici dannosi. Le unità morfologiche create dal legname, come le pozze profonde, sono indispensabili per molte specie ittiche in alcune fasi del loro sviluppo. Infine, il materiale legnoso aumenta l'eterogeneità vegetazionale delle foreste riparie grazie a processi morfologici (deposizione del sedimento) e biologici (radicamento di porzioni vegetali trasportate).

5.2 QUANTIFICAZIONE DEL LEGNAME IN ALVEO

Per una corretta gestione del legname in alveo (LW), è fondamentale quantificarne il volume. Questo può essere fatto utilizzando varie metodologie che differiscono in termini di precisione, costi e impegno. Il volume del legname movimentabile può essere stimato mediante misurazioni dirette o indirette, con formule empiriche o utilizzando modelli previsionali.

Le misurazioni dirette includono il rilevamento a campione, eseguito su tratti rappresentativi o lungo sezioni trasversali, che è meno preciso ma più rapido, e il rilievo sull'intero corso d'acqua, che è più preciso ma anche più lungo e impegnativo. La quantità di legname può essere stimata anche con misure indirette (remote sensing), come l'uso di laser scanner, immagini satellitari o interpretazione fotogrammetrica. Queste tecniche

possono ridurre significativamente i tempi necessari per il rilievo e fornire dati ad alta precisione, utili per ulteriori elaborazioni.

5.2.1 MATERIALI E METODI PER IL RILEVAMENTO IN CAMPO

La parte più montana del bacino oggetto di studio risulta essere, come già descritto nei precedenti paragrafi, di natura prevalentemente selvaggia, dove l'attività antropica è assente e la sua gestione difficile prevalentemente in termini logistici. La quantità di legname che proviene da quest'area è difficilmente prevedibile, pertanto, questo studio si limita a misurarne ed analizzarne in maniera sintetica il suo probabile apporto in alveo, al fine di quantificarne i volumi che potrebbero interessare le opere idrauliche della parte valliva del bacino.

Va detto che il torrente Mezzane non è mai stato interessato da analisi studio di LW e quindi non è stato possibile confrontare i dati rilevati per ottenere una comparazione.

Dopo l'evento alluvionale del 2013 che ha generato un ingente trasporto di legname con una serie di conseguenze disastrose, sono stati finanziati dei lavori di sistemazione idraulico-forestali che hanno comportato, tra le altre opere eseguite, la costruzione di una briglia filtrante (Figura 40) in località Sul Vago, in grado di trattenere gli elementi di dimensioni maggiori e di lasciar passare il materiale più fine. Con una larghezza di circa 18 metri e un'altezza di quasi 5 metri, questo sistema di trattenuta si compone di un pettine realizzato con tubi quadri in acciaio corten, una gaveta di forma trapezoidale e due contrafforti in calcestruzzo armato dello spessore di 60 cm. L'intera area circostante compresa delle pareti arginali e del fondo dell'alveo sono stati ricoperti da un rivestimento in lastre di pietra calcarea compatta dello spessore di 30 cm.



Figura 40: Foto aerea scattata con drone della briglia filtrante

La metodologia utilizzata per la raccolta dei dati, avvenuta in data 6 Maggio 2024, rientra nella categoria delle misurazioni dirette, in quanto il rilevamento è avvenuto a campione per un tratto di lunghezza di circa 2,2 km. Il tratto oggetto del rilievo è stato suddiviso successivamente in ulteriori 7 tratti di minore estensione e descritti al paragrafo 3.4.

Tra le considerazioni effettuate per l'individuazione del tratto da analizzare, oltre all'aspetto puramente pratico del rilievo, la scelta è ricaduta sulla parte di bacino avente le maggiori probabilità che il legname presente in alveo si riversi a valle nella zona della briglia filtrante.

L'intera lunghezza del tratto è stata percorsa a piedi misurando qualsiasi elemento avente dimensioni di almeno 1 metro in lunghezza e di 10 cm in diametro, misurato in entrambe le estremità del campione. Per quanto riguarda gli accumuli e le ceppaie, invece, il materiale legnoso è stato rilevato nelle sue tre direzioni ovvero lunghezza, altezza e profondità.

Ad ogni elemento incontrato, quindi, venivano annotati due diametri, quello di testa e quello di coda, più la lunghezza dell'individuo considerato. Per svolgere questa operazione il materiale tecnico in dotazione si componeva di un nastro metrico e una tabella predisposta su supporto cartaceo per le annotazioni dei dati.

Successivamente, attraverso il programma Microsoft Excel, è avvenuta l'elaborazione dei dati.

La determinazione dei volumi per il materiale legnoso è stata eseguita attraverso le formule basate sulle geometrie di solidi rappresentativi del legno:

- formula di Huber: è la formula più di gran lunga utilizzata in Europa; sebbene questa formula permetta la misurazione di un solo diametro per tronco (misurato a metà altezza), nel caso del presente elaborato il diametro è stato calcolato come media tra le misure prese all'estremità del tronco stesso. La formula è la seguente:

$$V_H = \pi \cdot r^2 \cdot h$$

Dove:

r = raggio misurato a metà lunghezza;

h = lunghezza dell'elemento;

- formula di Huber + 10%: utilizzata per compensare la sottostima che si compie per lunghezze maggiori di 4 metri. La formula è così data:

$$V_{H10} = V_H + 10\%$$

- volume calcolato secondo l'unità di misura del "metro stero": con questo metodo in una catasta di tronchi di 1 m³ i vuoti sono considerati pieni e quindi il diametro Φ diventa il lato di un parallelepipedo. La formula è la seguente:

$$V_{ms} = \Phi^2 \cdot h$$

- formula di Smalian: nella pratica questa formula viene applicata solo per tronchi quando la misura della loro sezione mediana non è facile. Generalmente utilizzata soprattutto in America del Nord, è principalmente usata per tronchi grossi dove vengono misurati i diametri di estremità utilizzando il nastro metrico. La formula è la seguente:

$$V_S = \frac{S_1 + S_2}{2} \cdot h$$

Dove:

S₁ e S₂ = superfici estreme della parte o del tronco in esame;

h = lunghezza del tronco o della sezione in esame.

Considerando la forte variabilità del fenomeno del "materiale flottante", l'approccio estimativo adottato è stato quello di mantenere una posizione cautelativa, evitando al contempo di sovrastimare i volumi (Degetto, 2000). Utilizzando il "metro stero", si è scelta una misura ragionevolmente cautelativa, poiché il volume calcolato con questo metodo è superiore, compensando così le possibili sottostime.

Nell'Allegato B sono riportati gli elementi del campionamento suddivisi per tratto.

5.2.2 RISULTATI

Nei rilievi in campo sono stati misurati, come detto precedentemente, i principali parametri relativi al legname presente in alveo: lunghezza e diametro del materiale.

L'operazione preliminare ha comportato un sopralluogo parziale del collettore, con l'obiettivo di ottenere una visione d'insieme e comprendere le caratteristiche e le particolarità del torrente e dei versanti adiacenti.

Il diametro è stato misurato con l'approssimazione, per eccesso al centimetro superiore, mentre la lunghezza va riferita alla classe di lunghezza che ha ampiezza di 2 m (per esempio nella classe 5 m va considerato tutto il materiale con lunghezza compresa tra 4, ovvero il limite inferiore incluso e 6, ovvero il limite superiore escluso). Non serve quindi, avere l'esatta lunghezza del legname ma inserirlo nella classe corretta; in questo modo si ottengono dei valori cautelativi.

Dai rilievi eseguiti è stato possibile definire i seguenti parametri del legname:

- lunghezze e diametri (medie, massime, distribuzione);
- stima del volume in alveo del legname totale e per singolo tratto.

ANALISI CLASSI DI LUNGHEZZA

Quest'analisi evidenzia il numero di elementi per classi di lunghezza pari a 2 m per ognuno dei sette settori del tratto oggetto di studio (Tabella 9).

Da quanto riportato in Figura 41, si nota come gli elementi maggiormente presenti in alveo siano quelli appartenenti alle prime classi di appartenenza, in particolare, più della metà (61,9 %) degli elementi misurati appartengono alla prima e alla seconda classe, dove in quest'ultima si registra la numerosità più alta (32).

Per quanto riguarda i tratti, il settore 7 è indubbiamente quello con il maggior numero di elementi (60 % del totale) mentre i settori 4-5-6 si spartiscono la quasi totalità del rimanente materiale. Nei settori 1-2-3 si registrano elementi puntuali, a causa principalmente della minor pendenza dei tratti, della poca vegetazione forestale nei versanti, che sono praticamente assenti in questi tratti. Nel caso invece del settore 7, che è quello più a monte, gioca un ruolo importante in questa statistica la pendenza dei versanti e la lunghezza del settore stesso che risulta essere il più esteso tra tutti gli altri.

Tabella 9: Numerosità elementi per tratto

Val. medio di classe	tratto 1	tratto 2	tratto 3	tratto 4	tratto 5	tratto 6	tratto 7	Totale
1	1	1	0	2	6	1	9	20
3	0	0	0	7	4	6	15	32
5	0	0	1	2	0	1	10	14
7	0	0	0	0	0	1	6	7
9	0	0	0	0	0	1	6	7
11	0	0	0	0	0	0	2	2
13	0	0	0	0	0	0	1	1
15	0	0	0	0	0	0	1	1
17	0	0	0	0	0	0	0	0
19	0	0	0	0	0	0	0	0
Totale	1	1	1	11	10	10	50	84
	1%	1%	1%	13%	12%	12%	60%	100%

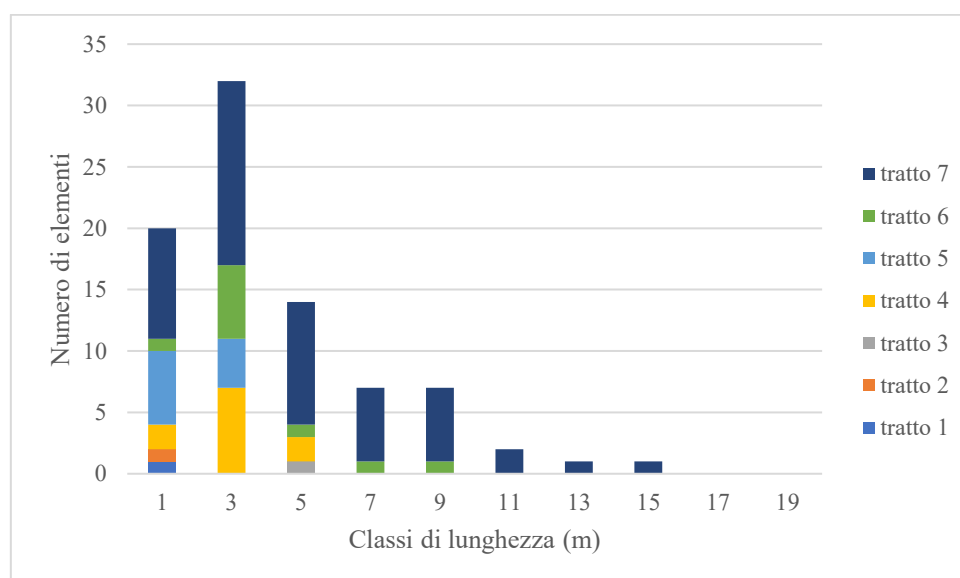


Figura 41: Classi di lunghezza nei 7 tratti

ANALISI DELLA LUNGHEZZA MEDIA E DEL DIAMETRO MEDIO

Per quanto riguarda il materiale legnoso rilevato, si può notare come la lunghezza media sia non superiore ai 5 metri. Dalla Tabella 10 si vede come il settore 7 sia quello caratterizzato da una lunghezza media maggiore, forse dovuto al fatto che il settore si trova in una zona con versanti fitti di vegetazione e con pendenza elevate e pertanto, il materiale in situ proviene da aree circostante quindi non ancora soggetto a trasporto e conseguenti possibili rotture.

Il diametro medio degli elementi, invece, è piuttosto simile nei vari tratti, eccezion fatta per il tratto 3 e 5. Questo perché nel tratto 3 l'unico elemento rilevato risulta essere un vecchio residuo di utilizzazione che è

apparso difficilmente movimentabile. Nel tratto 5 si nota che il diametro è superiore alla media degli altri tratti, anche se meno rispetto a quello del terzo settore, in quanto, qui vi è la presenza di una ceppaia e di alcuni accumuli di materiale incastrati il più delle volte in massi di grosse dimensioni.

Tabella 10: Valori medi di lunghezza e diametro degli elementi nei 7 tratti

TRATTO	Lunghezza media (m)	Diametro medio (m)
1	1,00	0,23
2	1,20	0,14
3	4,50	0,90
4	2,42	0,20
5	1,90	0,61
6	3,62	0,13
7	4,89	0,15

ANALISI DEL VOLUME

L'analisi del volume è stata effettuata sia nel campione complessivo, sia più specificatamente per ogni singolo tratto, con quattro metodologie differenti, come riportato nel paragrafo 5.2.1. Nell'Allegato B.2 viene riportata la tabella con tutti i volumi calcolati per ogni elemento.

Tabella 11: Valori volumetrici in m³ per ogni settore

	TRATTO							TOTALE
	1	2	3	4	5	6	7	
V (Huber) (m³)	0,04	0,02	2,86	1,02	23,11	0,60	5,94	33,59
V (H + 10%) (m³)	0,04	0,02	3,15	1,13	25,42	0,66	6,53	36,95
V (ms) (m³)	0,05	0,02	3,65	1,30	29,42	0,76	7,56	42,77
V (Smalian) (m³)	0,06	0,03	4,29	1,64	24,01	1,21	11,22	42,47

In Tabella 11 sono riportati i valori ottenuti dall'applicazione delle quattro metodologie. Si può notare da questa, come la metodologia più cautelativa sia quella del volume stero (V_{ms}). Il valore medio risultante dai quattro metodi è pari a 39 m³ che corrisponde, tenendo conto dei 2,24 km di asta rilevata, a 17,4 m³/km.

Se per numerosità di elementi il tratto 7 era quello con il valore più alto, per quantitativo di legname il tratto 5 risulta essere quello con i valori di volume maggiori. Ciò è dovuto particolarmente alla pendenza dei versanti e alla presenza di una serie di accumuli più o meno di grosse dimensioni che ne alterano i valori. A conferma di quanto detto sopra, si denota dalla Tabella 12, rappresentativa del tratto 5, come il valore di deviazione standard (σ) sia parecchio alto dimostrando analiticamente come sia elevata l'eterogeneità degli elementi campionati.

La presenza nel tratto 5 di elementi con volumetrie alte rispetto agli altri campioni può essere oggetto quindi di diverse considerazioni. In primis, come già detto in precedenza, il settore 5 comprende ceppaie e accumuli

che incidono significativamente sul volume totale di ogni singolo tratto. In secondo luogo, va menzionata anche la geometria dell'alveo: in questo tratto il letto del fiume è più ampio rispetto agli altri settori, la granulometria vede la presenza di qualche masso di modeste dimensioni che funge da ostacolo naturale per il materiale legnoso di piccole dimensioni e le arginature e i versanti circostanti sono ripidi, facilitando il rovesciamento in alveo di tronchi e altro materiale legnoso.

Tabella 12: Confronto valori dei volumi del tratto 5

	Huber	Huber + 10%	Metro stero	Smalian
Totale	23,11	25,42	29,42	24,01
V medio	2,31	2,54	2,94	2,40
V max	21,21	23,33	27,00	21,21
V min	0,01	0,01	0,02	0,02
σ	6,30	6,93	8,03	6,28

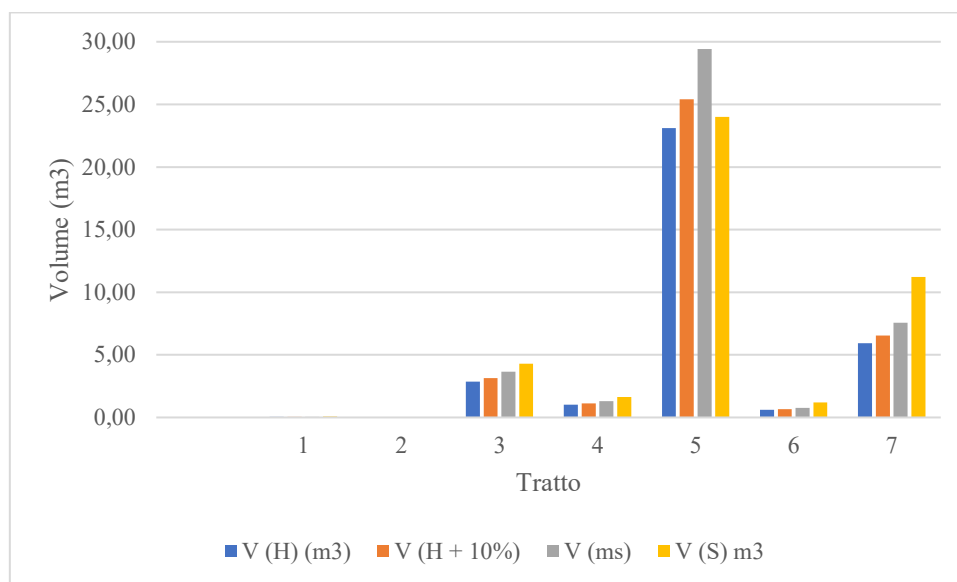


Figura 42: Confronto dei volumi stimati con le diverse metodologie per i 7 tratti

Per confrontare valori con grandezze diverse fra loro, è necessario eseguire un'operazione di normalizzazione dei dati. Questo metodo è stato utilizzato per normalizzare i dati del volume in maniera da trasformarli in valori che siano compresi tra un minimo e un massimo che, in questo caso, sono rappresentati rispettivamente da 0 e 1. La Figura 43 mostra i risultati del processo di normalizzazione, il quale si crea rapportando il volume totale calcolato con le 4 metodologie per la lunghezza totale di ciascun tratto. La stessa metodologia è stata applicata anche per l'intero tratto analizzato.

I valori mostrano come il calcolo del volume con la tecnica del "metro stero" risulti il metodo più cautelativo in termini di campione totale e fornisce valori piuttosto diversi per il tratto 5 dove si adatta meglio alle caratteristiche proprie del sito.

Il metodo di Huber, sebbene semplice e utile, ha alcuni limiti e considerazioni da tenere presente:

- forma del tronco: il metodo presuppone che il tronco abbia una forma regolare e cilindrica, con una variazione minima del diametro lungo la sua lunghezza. Se il tronco è significativamente conico o irregolare, la stima del volume può risultare inaccurata;
- misurazione del diametro: la precisione del metodo dipende dalla precisione della misurazione del diametro a metà lunghezza del tronco. Errori nella misurazione possono portare a stime errate del volume;
- non adatto a tronchi suddivisi: questo metodo non è ideale per tronchi che sono stati suddivisi in sezioni o per tronchi con molte ramificazioni e nodi, dove il diametro può variare significativamente;
- distribuzione irregolare del diametro: se il diametro del tronco varia in modo irregolare, una singola misurazione a metà lunghezza potrebbe non rappresentare adeguatamente il volume totale del tronco.

Rispetto ad altri metodi come il metodo di Smalian, il metodo di Huber può risultare meno accurato in alcuni casi, specialmente per tronchi con variazioni significative di diametro lungo la lunghezza.

Per tronchi che si restringono significativamente (taperati), il metodo di Huber può sovrastimare o sottostimare il volume reale, dato che si basa su una singola misurazione del diametro.

In conclusione, questa tecnica è utile per la sua semplicità e velocità, ma è meglio utilizzarlo per tronchi relativamente uniformi e regolari. Per tronchi con variazioni significative di diametro o forma, è preferibile utilizzare metodi che considerino più punti di misurazione per ottenere stime più accurate, come ad esempio il metodo Smalian. Quest'ultimo, infatti, fornisce una stima più accurata perché utilizza i diametri alle estremità del tronco ed è risultato parecchio cautelativo quasi al pari del metodo del "metro stero".

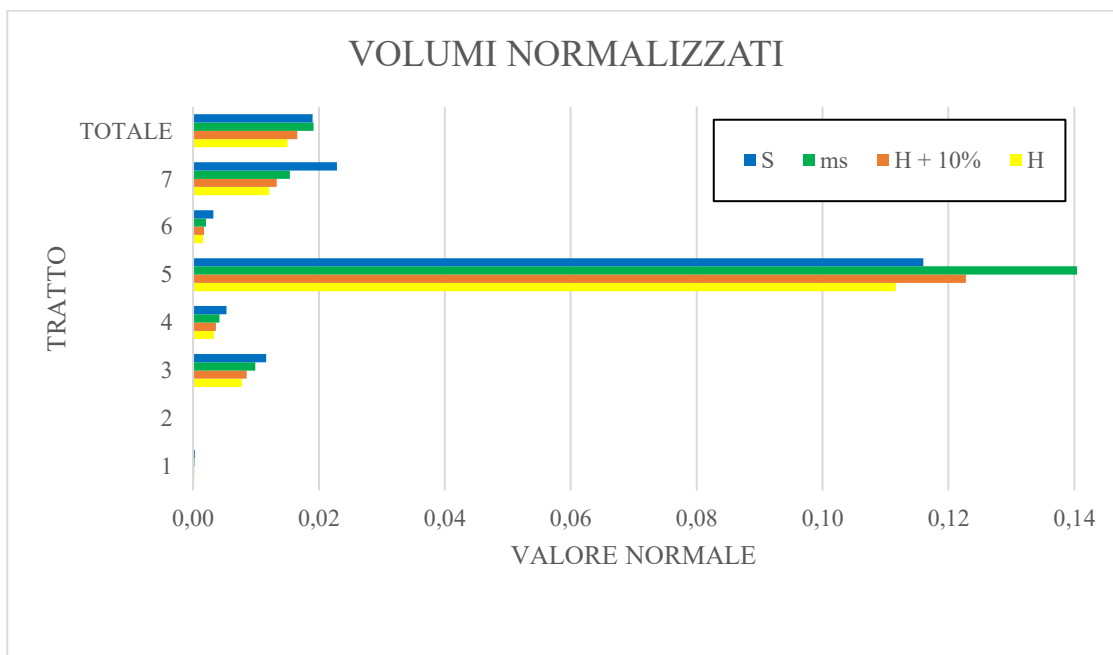


Figura 43: Valori normali di volume dei tratti a confronto

6. DISCUSSIONE

Il torrente Mezzane è stato interessato da un evento di piena eccezionale nel Maggio 2013, che ha generato una serie notevole di problematiche legate soprattutto all'aspetto idraulico. La morfologia del corso d'acqua era, e in parte tutt'ora, caratterizzata da opere molto datate che con il passare degli anni, a seguito di processi di degrado di varia natura, hanno visto ridursi la loro funzione di regimazione idraulica. Al momento della piena, quindi, il torrente si presentava privo di protezioni adeguate necessarie a sopportare portate liquide e solide di determinata importanza (60-70 m³/s) e ciò ha scatenato, una serie di conseguenze sfavorevoli per le attività economiche e sociali coinvolte dall'evento avverso.

Queste problematiche ricorrono, seppur in maniera diversa tra loro, integralmente sull'intero percorso dell'asta principale del bacino, partendo dal tratto di monte fino al tratto di valle. Se per la prima parte le incognite principali riguardano l'apporto di materiale solido (materiale legnoso e granulare), per la seconda risultano necessarie azioni di consolidamento delle arginature e ripristino delle opere di difesa trasversali. Queste opere sono necessarie anche per evitare che la luce dei ponti del tratto di valle venga occlusa facendo esondare lateralmente il torrente, come accaduto nel 2013.

Rispetto alla parte montana del bacino, e più precisamente ai fattori di apporto di legname in alveo, va detto che i numerosi affluenti naturali (detti "Vaj") del torrente contribuiscono, e non poco, ad assicurare un notevole accumulo di materiale perché caratterizzati da elevate pendenze e versanti interamente boscati.

Durante l'evento alluvionale del 2013, uno studio idraulico redatto successivamente alla piena, ha valutato che il volume di materiale vegetale movimentato era pari ad almeno 1.000 m³. Si notava anche come l'aspetto pluviometrico abbia inciso sulla genesi dell'evento stesso, ipotizzando una correlazione tra la capacità di infiltrazione dei suoli e la precipitazione dei tre mesi precedenti un evento. A questo proposito una tesi di laurea ha prodotto uno studio e, analizzando i dati pluviometrici precedenti ad un evento, ha determinato che ad incidere maggiormente sull'innescò delle piene sono le precipitazioni cumulate nelle 12-48 ore che precedono la piena. Le quantità di legname che si sono rilevate nel torrente nell'ambito di questa tesi (17,4 m³/km pari a 350 m³ se estesi, come estrema ipotesi, alla lunghezza complessiva di 20 km), seppure abbiano interessato solo il tratto più accessibile, sono risultate sicuramente ben lontane (di almeno un ordine di grandezza inferiori) rispetto a quelle associate all'evento dell'anno 2013. Tenendo anche conto che dall'evento del 2013 sono trascorsi più di 10 anni, si può concludere che per questo tipo di bacino la pericolosità del materiale legnoso associato alle piene liquide è da attribuirsi in via principale proprio al reclutamento dello stesso che avviene in corso di evento. Tale reclutamento è dovuto alle frane spondali e all'ingresso in alveo di piante che vengono prima destabilizzate e poi repentinamente catturate dal flusso. Un ruolo più secondario sembra quindi essere giocato dal legname già presente in alveo (detto anche volume di base; D'AGOSTINO, 2021).

La stima condotta sui quantitativi di legname presenti, ha interessato la parte più a sud del bacino montano del torrente analizzando le caratteristiche del segmento individuato, sia dal punto vegetazionale sia da quello

morfo-dinamico. Dalla suddivisione del segmento principale in sette tratti, si è capito come la pendenza di ciascun tratto influenzi il quantitativo di questo legname. Si suppone pertanto che, data la natura selvaggia e l'assenza di gestione selvicolturale dei versanti del torrente nella parte più a nord del bacino, la presenza di materiale legnoso in alveo più a monte sia maggiore rispetto al tratto analizzato. Anche le dimensioni stesse del materiale che poi vanno a quantificarne questo volume di base potrebbero essere maggiori e quindi idraulicamente un po' più critiche rispetto a quelle riscontrate nel tratto campionato.

Nel 2023 è stata realizzata una briglia filtrante nei pressi della località Sul Vago, a monte dell'abitato di Mezzane di Sotto, in grado di trattenere il materiale legnoso che si produce nella porzione montana del bacino idrografico. La briglia è stata progettata simulando alcuni scenari di accadimento di piene ed eventi eccezionali: nell'evento del 16 Maggio 2013 il tratto a monte della briglia non ha registrato problematiche di esondazione e quindi si deduce che sia caratterizzato da una capacità di deflusso abbondantemente superiore alla piena centennale di $70 \text{ m}^3/\text{s}$. Il dimensionamento della briglia, pertanto, è stato determinato in maniera tale che possa gestire anche portate di $100 \text{ m}^3/\text{s}$, perché la sua forma a pettine permette, grazie anche all'ampliamento della piazza di deposito immediatamente a monte della stessa, che il legname si accumuli senza generare un sollevamento dei tiranti a ridosso della briglia con conseguente rigonfiamento dei tiranti più a monte. Il legname che continua ad accumularsi, inoltre, non provoca significativi innalzamenti della corrente perché si posiziona parallelamente al fondo dell'alveo. Ciò produce un comportamento favorevole perché la capacità di accumulo viene aumentata.

Lungo il tratto montano del torrente Mezzane le pendenze del fondo dell'alveo sono discontinue, il che provoca dinamiche del flusso di corrente diverse. Il legname analizzato e depositato in alveo potrebbe essere un fattore di pericolo in caso di piena eccezionale: solitamente il legname, durante le onde di pulizia di un evento viene distribuito lungo il corso del fiume ma, come si è osservato durante l'evento del Maggio 2013, il legname era congestionato in testa al flusso della corrente. Si suppone che a determinare quanto accaduto sia stata una combinazione di fattori geologici, idrologici, e meccanici. Innanzitutto, le strettoie del torrente possono agire come colli di bottiglia, rallentando il flusso d'acqua e causando l'accumulo di detriti, incluso il legname. La presenza di sifoni e marmitte rende complesso e variabile il comportamento del legname. I sifoni possono intrappolare il legname, soprattutto se gli elementi sono di grandi dimensioni e non possono passare facilmente attraverso questi condotti stretti. Il legname che rimane bloccato nei sifoni può creare ulteriori ostacoli, aumentando la pressione dell'acqua a monte e potenzialmente causando accumuli di detriti e ulteriori blocchi. Le marmitte possono agire come trappole naturali per il legname: durante una piena, il legname può essere risucchiato nelle marmitte e rimanere bloccato al loro interno. Questo accumulo può ulteriormente amplificare i processi erosivi e modificare la dinamica del flusso d'acqua, creando turbolenze intense e vortici che possono spezzare il legname in pezzi più piccoli, facilitando il suo trasporto a valle. Il legname che non rimane bloccato nei sifoni o nelle marmitte può essere trasportato rapidamente a valle, ma con un andamento irregolare dovuto alle continue variazioni di velocità e direzione del flusso d'acqua causate dalla presenza di queste strutture geomorfologiche. Gli elementi di legno più grandi e pesanti tendono a muoversi più lentamente e a depositarsi

nei punti in cui l'energia del flusso diminuisce, mentre i pezzi più piccoli e leggeri possono essere trasportati più facilmente e lontano. Inoltre, come detto, le variazioni di pendenza del letto del torrente giocano un ruolo importante. In tratti più ripidi, il flusso d'acqua è più veloce e trasporta il legname rapidamente, ma quando il flusso incontra un tratto di canale meno pendente, la velocità diminuisce, permettendo al legname di accumularsi. Ostacoli naturali come rocce e alberi caduti possono trattenere il legname in un punto, creando barriere naturali che impediscono ai LW di muoversi ulteriormente a valle. In certi casi, il legname trasportato dal torrente può accumularsi e formare dighe temporanee di detriti, che trattengono ulteriori detriti e legname, causando un accumulo significativo. Gli eventi di piena nei torrenti montani possono essere rapidi e intensi, trasportando grandi quantità di legname in breve tempo. Quando il flusso d'acqua diminuisce improvvisamente, il legname può depositarsi in grandi quantità in testa al flusso. Le caratteristiche morfologiche del bacino idrografico, come la forma stessa del bacino e la disposizione della vegetazione, influenzano il trasporto del legname. Aree con elevate quantità di vegetazione caduta o abbattuta possono contribuire a un maggiore carico di legname nel torrente.

Legata a questo aspetto si inserisce la componente granulometrica che, come analizzato dai campionamenti effettuati, appare molto eterogenea con la tendenza a diminuire di dimensioni medie con il ridursi della pendenza dell'alveo. Ciò comporta che nei tratti più a monte alcuni clasti di elevate proporzioni possano comportarsi da barriera naturale stabilizzando il materiale legnoso più fine, limitandone il trasporto verso valle con portate più esigue, ma innescando potenzialmente fenomeni di *dam-break* con portate di maggiore rilevanza. Se una briglia progettata per trattenere una grande quantità di legname, come quella che interessa il bacino del Mezzane che si è analizzato, deve affrontare un evento di piena che comporta anche un significativo trasporto solido di fondo, possono verificarsi diversi scenari problematici. La briglia potrebbe riempirsi rapidamente non solo di legname, ma anche di sedimenti e materiali solidi di varia dimensione. Questo accumulo combinato di legname e sedimenti può ridurre rapidamente la capacità dell'opera idraulica di trattenere ulteriori materiali, portando a un potenziale straripamento. Inoltre, l'accumulo di materiali solidi può creare una sorta di tappo che, aumentando la pressione dell'acqua a monte, può compromettere l'integrità strutturale della briglia.

La manutenzione regolare e la rimozione dopo ogni piena dei detriti e del LW accumulatisi risultano, quindi, assolutamente necessari perché possono aiutare a garantire che la briglia mantenga la sua funzionalità più a lungo possibile in occasione dei successivi eventi alluvionali.

7. CONCLUSIONI

I torrenti montani sono ecosistemi complessi e dinamici che giocano un ruolo cruciale nella gestione delle risorse idriche, nella stabilità del territorio e nella biodiversità. In questo contesto, il materiale legnoso in alveo, il trasporto di sedimenti, gli eventi alluvionali e le conseguenze dei cambiamenti climatici rappresentano fattori critici che influenzano significativamente la morfologia e la funzionalità dei torrenti montani.

Il materiale legnoso in alveo, composto principalmente da tronchi, rami e radici, è un elemento naturale che svolge funzioni ecologiche e geomorfologiche importanti. Esso contribuisce alla creazione di habitat diversificati per la fauna acquatica, stabilizza le sponde dei torrenti e modula il trasporto dei sedimenti. Tuttavia, in situazioni di elevata accumulazione, può rappresentare un rischio per la sicurezza idraulica, ostruendo il flusso d'acqua e aumentando il rischio di esondazioni. La gestione sostenibile del materiale legnoso in alveo è quindi fondamentale per bilanciare la conservazione ecologica con la sicurezza idraulica.

Nei tratti considerati dal presente studio si è osservato che la quantità di legname in termini di elementi presenti in alveo sia molto notevole nel tratto più montano analizzato. Qui le condizioni ambientali sono tipiche di ambienti impervi dove la vegetazione cresce rigogliosa e allo stesso tempo per meccanismi di competizione, anche intraspecifica, genera un certo tasso di mortalità che porta ad immettere in alveo, grazie alla ripidità dei versanti, una certa quantità di materiale legnoso.

Nei torrenti montani, il trasporto di sedimenti è un processo dinamico e complesso che influisce sulla morfologia del letto del torrente e sulla composizione granulometrica del materiale trasportato. Una delle caratteristiche distintive di questi sistemi è la gradazione del materiale granulare lungo il corso del torrente, con sedimenti più grossolani presenti nelle zone montane e materiale più fine che si accumula verso valle. Questo fenomeno è il risultato di diversi processi fisici e meccanismi di trasporto che operano lungo il percorso del torrente.

La gradazione del materiale granulare si riferisce alla distribuzione delle dimensioni dei particolati all'interno del sedimento. Nei torrenti montani, questa distribuzione varia lungo il corso del torrente a causa di diversi fattori, tra cui la velocità del flusso, la pendenza del canale, e la capacità di trasporto del torrente.

Nella parte alta dei torrenti montani, dove la pendenza è più elevata, il flusso dell'acqua è più veloce e turbolento. Questo tipo di flusso ha una maggiore energia cinetica, che gli permette di trasportare sedimenti di dimensioni maggiori, come massi, ciottoli e ghiaia. Il risultato è un letto del torrente composto principalmente da materiale granulare grosso.

Man mano che il torrente scende, la pendenza diminuisce gradualmente, riducendo la velocità e l'energia del flusso. In queste zone di transizione, il torrente inizia a depositare il materiale più grossolano, poiché non ha più sufficiente energia per trasportarlo. Di conseguenza, il letto del torrente inizia a presentare una combinazione di materiale granulare di varie dimensioni, dalla ghiaia alla sabbia.

Attraverso le analisi granulometriche condotte in alveo, è stato possibile misurare la granulometria del torrente Mezzane nella parte più valliva del bacino montano. I due transetti hanno mostrato come le tendenze tipiche

dei torrenti montani sono rispettate anche in questo caso: il transetto effettuato nel tratto 4, ovvero quello più a monte dei due, presenta un diametro medio dei grani maggiore di quasi due volte rispetto al transetto 1. Anche i valori di eterogeneità ne confermano la natura del torrente: grado di classazione basso e mal assortimento delle dimensioni delle particelle, indicano, insieme ai valori di deviazione standard e coefficiente di uniformità, un grado di eterogeneità elevato.

Gli eventi alluvionali sono fenomeni naturali caratterizzati da un rapido aumento del livello dell'acqua nei torrenti, spesso causato da precipitazioni intense o dallo scioglimento della neve. In aree montane, questi eventi possono essere particolarmente devastanti, data la pendenza dei versanti e la velocità del flusso d'acqua. Le alluvioni possono causare danni significativi alle infrastrutture, alla vegetazione e alle comunità locali, come già accaduto in occasione negli eventi del Maggio 2013 e del 2016 nella vallata di Mezzane. Nel caso del torrente Mezzane, in particolare, la presenza di materiale legnoso in alveo può aggravare una situazione, che risulta già comunque critica per i quantitativi di 'Large Wood vivo' che possono essere immessi nella corrente in corso di evento aumentando la portata totale transitante - volume liquido cui si addiziona il volume di legname - e il rischio di blocchi e deviazioni del flusso. Strategie di monitoraggio e gestione preventiva sono essenziali per mitigare i rischi associati agli eventi alluvionali.

Se a tutto ciò aggiungiamo anche i cambiamenti climatici, diventa sempre più importante, dunque, un continuo adattamento delle strategie di gestione e protezione delle risorse idriche montane.

A questo proposito, per affrontare le sfide poste dal materiale legnoso in alveo, dal trasporto di sedimenti, dagli eventi alluvionali e dai cambiamenti climatici, è necessaria una gestione integrata dei bacini idrografici montani. Questa gestione deve combinare approcci ingegneristici con pratiche di conservazione ecologica.

APPENDICI

ALLEGATO A

Nell'allegato A sono mostrati dati, risultati e diagrammi riguardanti la parte dedicata all'analisi granulometrica dei transetti, come spiegato nel Capitolo 4.

A.1 Valori ottenuti dal campionamento con transetto

Si è già descritto all'interno del paragrafo 4.1 come alla base dell'analisi granulometrica ci sia il campionamento ottenuto tramite la tecnica del transetto lineare.

Mediante la tabella che segue la scala di Wentworth sono stati raccolti i valori per entrambi i transetti analizzati.

TRANSETTO 1:

Classi diametriche (mm)	Conteggio Clasti	indice phi ($-\log_2 D$)
< 4	0	-2,00
4 - 5,7	3	-2,51
5,7 - 8	0	-3,00
8 - 11,3	7	-3,50
11,3 - 16	6	-4,00
16 - 22,5	5	-4,49
22,5 - 32	18	-5,00
32 - 45	11	-5,49
45 - 64	16	-6,00
64 - 90	17	-6,49
90 - 128	16	-7,00
128 - 181	7	-7,50
181 - 256	10	-8,00
256 - 362	0	-8,50
362 - 512	2	-9,00
512 - 724	2	-9,50
724 - 1024	0	-10,00
1024 - 1448	0	-10,50
Totale	120	

TRANSETTO 2:

Classi diametriche (mm)	Conteggio Clasti	indice ϕ ($-\log_2 D$)
< 4	2	-2,00
4 - 5,7	0	-2,51
5,7 - 8	0	-3,00
8 - 11,3	3	-3,50
11,3 - 16	4	-4,00
16 - 22,5	5	-4,49
22,5 - 32	7	-5,00
32 - 45	9	-5,49
45 - 64	10	-6,00
64 - 90	8	-6,49
90 - 128	8	-7,00
128 - 181	6	-7,50
181 - 256	12	-8,00
256 - 362	8	-8,50
362 - 512	7	-9,00
512 - 724	7	-9,50
724 - 1024	2	-10,00
1024 - 1448	2	-10,50
Totale	100	

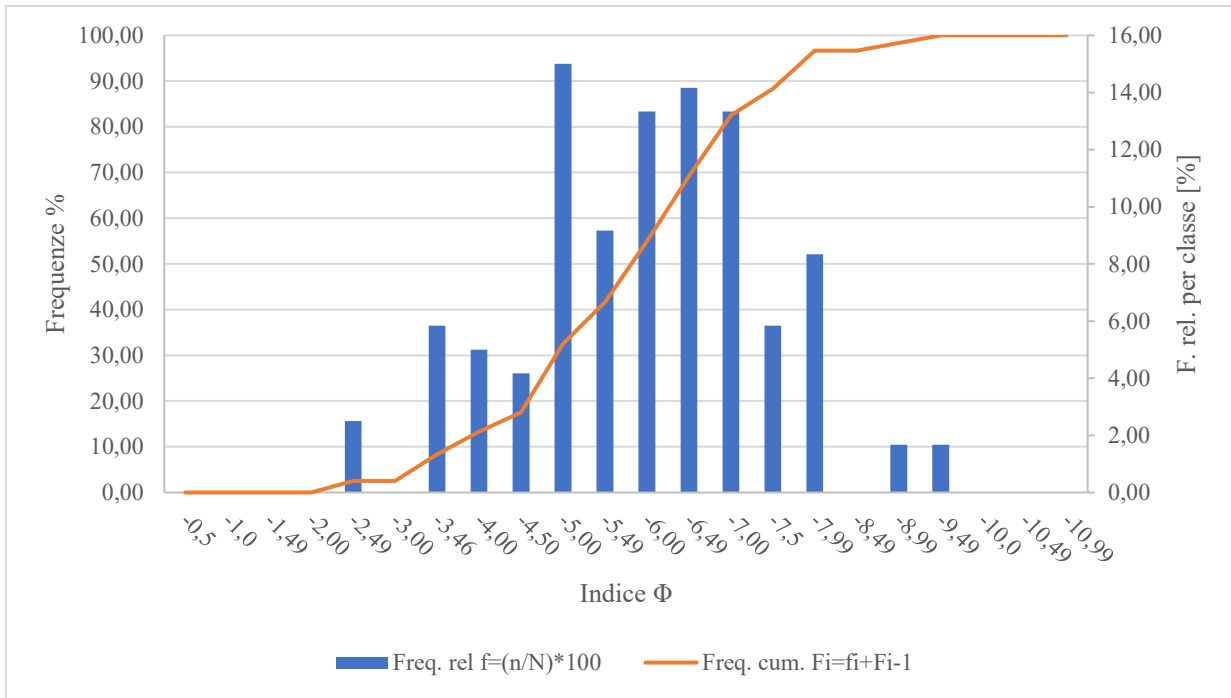
A.2 Frequenze e curve granulometriche

Con le classi identificate secondo la scala di Wentworth si è costruito, come spiegato nel paragrafo 4.4.2, il diagramma delle frequenze relative delle classi e la rispettiva curva granulometrica.

Di seguito vengono riportati i diagrammi e i dati input utilizzati per la costruzione di entrambi i campionamenti.

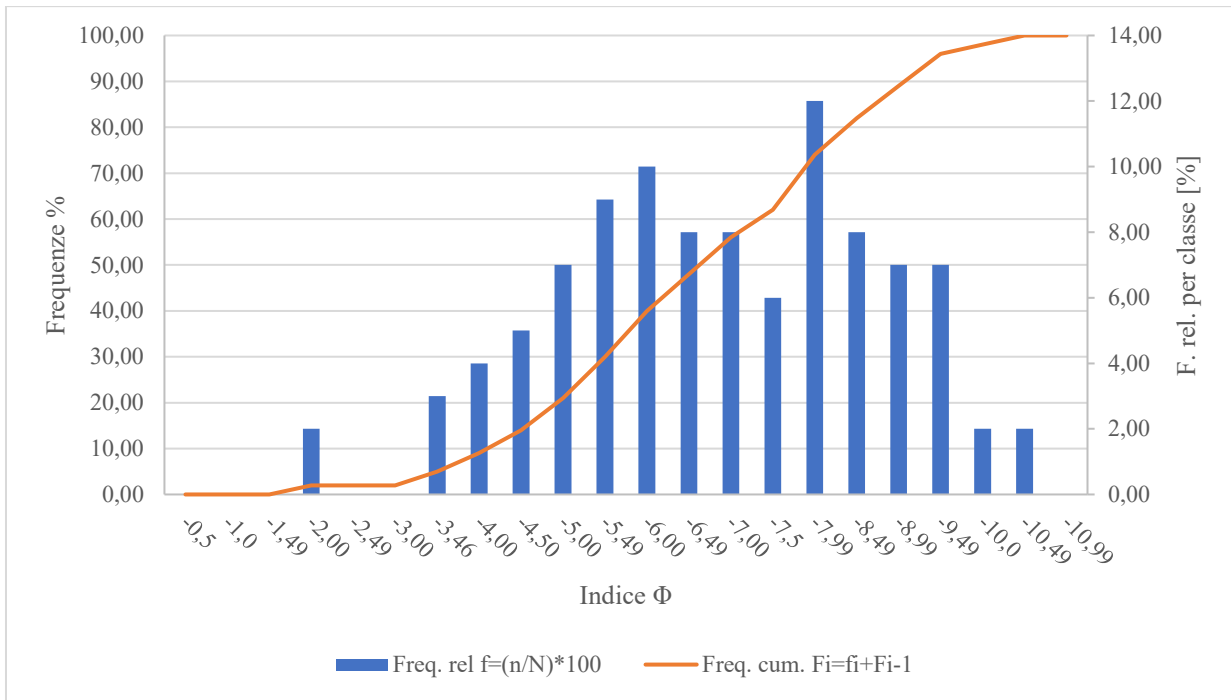
A.2.1 Transetto 1

classi ϕ (passo 0.5)	estremo sup di classe (ϕ)	estremo sup di classe (mm)	val. medio di classe	Numerosità cumulata	Numerosità n	Freq. rel $f=(n/N)*100$	Freq. cum. $F_i=f_i+F_{i-1}$		ϕ medio * f
0 -0.5	-0,5	1,4	0,25	0	0	0,00	0,00		0,00
-0.5 -1.0	-1,0	2,0	-0,75	0	0	0,00	0,00		0,00
-1.0 -1.49	-1,49	2,8	-1,25	0	0	0,00	0,00		0,00
-1.49 -2.0	-2,00	4,0	-1,75	0	0	0,00	0,00		0,00
-2.0 -2.49	-2,49	5,6	-2,25	3	3	2,50	2,50		-5,63
-2.49 -3.0	-3,00	8,0	-2,75	3	0	0,00	2,50		0,00
-3.0 -3.46	-3,46	11,0	-3,25	10	7	5,83	8,33		-18,96
-3.46 -4.0	-4,00	16,0	-3,75	16	6	5,00	13,33		-18,75
-4.0 -4.5	-4,50	22,6	-4,25	21	5	4,17	17,50		-17,71
-4.5 -5.0	-5,00	32,0	-4,75	39	18	15,00	32,50		-71,25
-5.0 -5.49	-5,49	44,9	-5,25	50	11	9,17	41,67		-48,13
-5.49 -6.0	-6,00	64,0	-5,75	66	16	13,33	55,00		-76,67
-6.0 -6.49	-6,49	89,9	-6,25	83	17	14,17	69,17		-88,54
-6.49 -7.0	-7,00	128,0	-6,75	99	16	13,33	82,50		-90,00
-7.0 -7.49	-7,5	179,8	-7,25	106	7	5,83	88,33		-42,29
-7.49 - 8.0	-7,99	254,9	-7,75	116	10	8,33	96,67		-64,58
-8.0 -8.49	-8,49	360,5	-8,25	116	0	0,00	96,67		0,00
-8.49 - 9.00	-8,99	509,9	-8,75	118	2	1,67	98,33		-14,58
-9.00 - 9.49	-9,49	721,1	-9,25	120	2	1,67	100,00		-15,42
-9.49 - 10.0	-10,0	1019,8	-9,75	120	0	0,00	100,00		0,00
-10.0 - 10.49	-10,49	1442,1	-10,25	120	0	0,00	100,00		0,00
-10.49 - 11	-10,99	2039,5	-10,75	120	0	0,00	100,00		0,00
					120	100			-572,50



A.2.2 Transetto 2

classi ϕ (passo 0.5)	estremo sup di classe (ϕ_{im})	estremo sup di classe (mm)	val. medio di classe	Numerosità cumulata	Numerosità n	Freq. rel $f=(n/N)*100$	Freq. cum. $F_i=f_i+F_{i-1}$		ϕ medio * f
0 -0.5	-0,5	1,4	0,25	0	0	0,00	0,00		0,00
-0.5 -1.0	-1,0	2,0	-0,75	0	0	0,00	0,00		0,00
-1.0 -1.49	-1,49	2,8	-1,25	0	0	0,00	0,00		0,00
-1.49 -2.0	-2,00	4,0	-1,75	2	2	2,00	2,00		-3,50
-2.0 -2.49	-2,49	5,6	-2,25	2	0	0,00	2,00		0,00
-2.49 -3.0	-3,00	8,0	-2,75	2	0	0,00	2,00		0,00
-3.0 -3.46	-3,46	11,0	-3,25	5	3	3,00	5,00		-9,75
-3.46 -4.0	-4,00	16,0	-3,75	9	4	4,00	9,00		-15,00
-4.0 -4.5	-4,50	22,6	-4,25	14	5	5,00	14,00		-21,25
-4.5 -5.0	-5,00	32,0	-4,75	21	7	7,00	21,00		-33,25
-5.0 -5.49	-5,49	44,9	-5,25	30	9	9,00	30,00		-47,25
-5.49 -6.0	-6,00	64,0	-5,75	40	10	10,00	40,00		-57,50
-6.0 -6.49	-6,49	89,9	-6,25	48	8	8,00	48,00		-50,00
-6.49 -7.0	-7,00	128,0	-6,75	56	8	8,00	56,00		-54,00
-7.0 -7.49	-7,5	179,8	-7,25	62	6	6,00	62,00		-43,50
-7.49 - 8.0	-7,99	254,9	-7,75	74	12	12,00	74,00		-93,00
-8.0 -8.49	-8,49	360,5	-8,25	82	8	8,00	82,00		-66,00
-8.49 - 9.00	-8,99	509,9	-8,75	89	7	7,00	89,00		-61,25
-9.00 - 9.49	-9,49	721,1	-9,25	96	7	7,00	96,00		-64,75
-9.49 - 10.0	-10,0	1019,8	-9,75	98	2	2,00	98,00		-19,50
-10.0 - 10.49	-10,49	1442,1	-10,25	100	2	2,00	100,00		-20,50
-10.49 - 11	-10,99	2039,5	-10,75	100	0	0,00	100,00		0,00
					100	100			-660,00



ALLEGATO B

Nell'allegato B sono mostrati dati, risultati e diagrammi riguardanti la parte dedicata all'analisi quantificazione del legname in alveo, come spiegato nel Capitolo 5.

B.1 Valori ottenuti dal campionamento diretto

Nel paragrafo 5.2 si è descritto come il campionamento è avvenuto con metodo diretto misurando ciascun elemento incontrato in alveo avente le dimensioni minime stabilite.

Con la tabella seguente si riportano tutti gli elementi annotati durante il rilievo:

ID Tratto	LUNGHEZZA (m)	Dmax (m)	Dmin (m)	Dmed (m)	Note 1	Note 2
1	1,00	0,25	0,20	0,23		
2	1,20	0,17	0,10	0,14		
3	4,50	0,90	0,90	0,90	Vecchio residuo di utilizzazione difficilmente movimentabile	Tratto caratterizzato da vecchie opere
4	1,00	0,15	0,10	0,13		Tratto in roccia
4	4,50	0,20	0,10	0,15		
4	2,40	0,19	0,10	0,15		
4	4,00	0,30	0,25	0,28		
4	2,20	0,18	0,12	0,15		
4	2,00	0,13	0,12	0,13		
4	2,50	0,13	0,10	0,12		
4	2,00	0,10	0,10	0,10		
4	2,00	0,10	0,10	0,10		
4	3,00	0,13	0,10	0,12		
4	1,00	0,80	0,80	0,80	Residuo di utilizzazione di forma cubica	è stato trasportato?
5	1,75	0,65	0,65	0,65	come sopra	Tratto con affioramenti rocciosi estesi
5	1,50	0,10	0,10	0,10		
5	1,25	0,85	0,85	0,85	ceppaia (foto)	
5	2,00	0,20	0,10	0,15	parte di deposito (foto)	
5	3,00	3,00		3,00	pezzi piccoli e uno grande	Forma triangolare: spessore 60 cm, porosità 45%
5	1,00	0,65		0,65	ceppaia	
5	1,40	0,20	0,12	0,16	deriva da frana	
5	1,60	0,20	0,15	0,18	deriva da frana	
5	2,50	0,35	0,15	0,25	deriva da frana	
5	3,00	0,15	0,12	0,14		

6	1,85	0,20	0,11	0,16		Tratto parte rocciosa
6	3,00	0,17	0,10	0,14		
6	6,00	0,25	0,10	0,18		
6	5,00	0,12	0,10	0,11		
6	9,00	0,25	0,10	0,18		
6	2,00	0,12	0,10	0,11		
6	2,00	0,15	0,10	0,13		
6	3,00	0,10	0,10	0,10		
6	2,35	0,16	0,10	0,13		
6	2,00	0,10	0,10	0,10	Tratto termina alle coordinate lat,lon	45.513805, 11.12333
7	15,70	0,35	0,10	0,23		
7	12,00	0,35	0,10	0,23		
7	7,10	0,25	0,24	0,25	tronco + rami di biforcazione	
7	6,90	0,24	0,10	0,17		
7	6,90	0,24	0,10	0,17		
7	1,60	0,15	0,10	0,13		
7	2,80	0,15	0,10	0,13		
7	2,10	0,12	0,10	0,11		
7	2,80	0,13	0,10	0,12	con edera	
7	4,00	0,18	0,13	0,16		
7	8,00	0,20	0,10	0,15		
7	1,20	0,17	0,10	0,14		
7	1,50	0,15	0,12	0,14		
7	1,00	0,10	0,10	0,10		
7	11,80	0,35	0,10	0,23		
7	8,00	0,11	0,10	0,11		
7	3,50	0,15	0,14	0,15		
7	2,50	0,15	0,14	0,15		
7	8,50	0,18	0,10	0,14		
7	6,00	0,25	0,17	0,21		
7	1,50	0,13	0,10	0,12		
7	1,50	0,12	0,10	0,11		
7	5,00	0,15	0,10	0,13		
7	8,80	0,27	0,11	0,19		
7	4,00	0,13	0,12	0,13		
7	4,50	0,15	0,10	0,13		
7	5,00	0,15	0,10	0,13		
7	7,00	0,17	0,10	0,14		
7	2,30	0,30	0,15	0,23		
7	2,70	0,13	0,10	0,12		
7	3,50	0,14	0,10	0,12		
7	2,00	0,15	0,11	0,13		
7	5,00	0,18	0,11	0,15	Accumulo Lun x Lar x h (m) = 5 x 1 x 0,55 - porosità 35%	

7	7,00	0,26	0,16	0,21		
7	3,00	0,15	0,10	0,13		
7	5,00	0,20	0,10	0,15		
7	5,00	0,20	0,10	0,15		
7	2,90	0,12	0,11	0,12		
7	5,90	0,23	0,19	0,21		
7	9,40	0,15	0,12	0,14		
7	9,40	0,12	0,11	0,12		
7	3,00	0,20	0,12	0,16		
7	2,60	0,15	0,14	0,15		
7	1,30	0,10	0,10	0,10		
7	1,60	0,16	0,16	0,16		
7	1,10	0,13	0,12	0,13		
7	4,00	0,11	0,10	0,11		
7	3,70	0,12	0,10	0,11		
7	3,00	0,25	0,19	0,22		
7	10,00	0,30		0,30	pianta morta in piedi	Fine tratto alle coordinate 45.516861, 11,120222

B.2 Volumi calcolati per ogni elemento

I volumi rappresentati sono stati calcolati, per ciascun elemento oggetto di rilievo, con le formule descritte nel paragrafo 5.2.1 e riportati qui di seguito in tabella.

V (Huber) m ³	V (Huber + 10%) m ³	V (metro stero) m ³	V Smalian (m ³)
0,04	0,04	0,05	0,06
0,02	0,02	0,02	0,03
2,86	3,15	3,65	4,29
0,01	0,01	0,02	0,02
0,08	0,09	0,10	0,16
0,04	0,04	0,05	0,08
0,24	0,26	0,30	0,38
0,04	0,04	0,05	0,07
0,02	0,03	0,03	0,04
0,03	0,03	0,03	0,04
0,02	0,02	0,02	0,02
0,02	0,02	0,02	0,02
0,03	0,03	0,04	0,05

0,50	0,55	0,64	0,75
0,58	0,64	0,74	0,87
0,01	0,01	0,02	0,02
0,71	0,78	0,90	1,06
0,04	0,04	0,05	0,07
21,21	23,33	27,00	21,21
0,33	0,37	0,42	0,33
0,03	0,03	0,04	0,05
0,04	0,04	0,05	0,06
0,12	0,13	0,16	0,26
0,04	0,05	0,05	0,07
0,03	0,04	0,04	0,07
0,04	0,05	0,05	0,08
0,14	0,16	0,18	0,32
0,05	0,05	0,06	0,08
0,22	0,24	0,28	0,48
0,02	0,02	0,02	0,03
0,02	0,03	0,03	0,04
0,02	0,03	0,03	0,04
0,03	0,03	0,04	0,06
0,02	0,02	0,02	0,02
0,62	0,69	0,79	1,57
0,48	0,52	0,61	1,20
0,33	0,37	0,43	0,51
0,16	0,17	0,20	0,34
0,16	0,17	0,20	0,34
0,02	0,02	0,03	0,03
0,03	0,04	0,04	0,06
0,02	0,02	0,03	0,03
0,03	0,03	0,04	0,05
0,08	0,08	0,10	0,13
0,14	0,16	0,18	0,28
0,02	0,02	0,02	0,03
0,02	0,02	0,03	0,03
0,01	0,01	0,01	0,01
0,47	0,52	0,60	1,18
0,07	0,08	0,09	0,11
0,06	0,06	0,07	0,09
0,04	0,05	0,05	0,06
0,13	0,14	0,17	0,25
0,21	0,23	0,26	0,36
0,02	0,02	0,02	0,03
0,01	0,02	0,02	0,02
0,06	0,07	0,08	0,11
0,25	0,27	0,32	0,55

0,05	0,05	0,06	0,08
0,06	0,06	0,07	0,10
0,06	0,07	0,08	0,11
0,10	0,11	0,13	0,19
0,09	0,10	0,12	0,18
0,03	0,03	0,04	0,05
0,04	0,04	0,05	0,07
0,03	0,03	0,03	0,04
0,08	0,09	0,11	0,15
0,24	0,27	0,31	0,44
0,04	0,04	0,05	0,06
0,09	0,10	0,11	0,18
0,09	0,10	0,11	0,18
0,03	0,03	0,04	0,05
0,20	0,22	0,26	0,33
0,13	0,15	0,17	0,22
0,10	0,11	0,12	0,15
0,06	0,07	0,08	0,11
0,04	0,05	0,05	0,07
0,01	0,01	0,01	0,02
0,03	0,04	0,04	0,05
0,01	0,01	0,02	0,02
0,03	0,04	0,04	0,05
0,04	0,04	0,04	0,06
0,11	0,13	0,15	0,19
0,71	0,78	0,90	0,71

B.3 Valori riepilogativi dei volumi per tratto

Analizzati i volumi per ogni singolo tratto, sono stati calcolati anche ulteriori valori utili a interpretare i dati. Tra questi troviamo oltre al volume medio calcolato nelle quattro metodologie già descritte, anche i dati del volume massimo e minimo (in m³) e i valori di deviazione standard utili a capire l'eterogeneità del materiale oggetto di studio.

Per i tratti 1-2-3 non verranno inserite le tabelle in quanto gli elementi rilevati per ciascun tratto sono nell'ordine dell'unità. Pertanto, i valori sopra menzionati non sono rilevanti per questi settori.

Il tratto 5, invece, è già stato menzionato nel corpo del presente elaborato, quindi si rimanda la visione della tabella al paragrafo 5.2.2.

TRATTO 4

	Huber	Huber + 10%	Metro stero	Smalian
Totale	1,02	1,13	1,30	1,64
V medio	0,09	0,10	0,12	0,15
V max	0,50	0,55	0,64	0,75
V min	0,01	0,01	0,02	0,02
σ	0,14	0,16	0,18	0,22

TRATTO 6

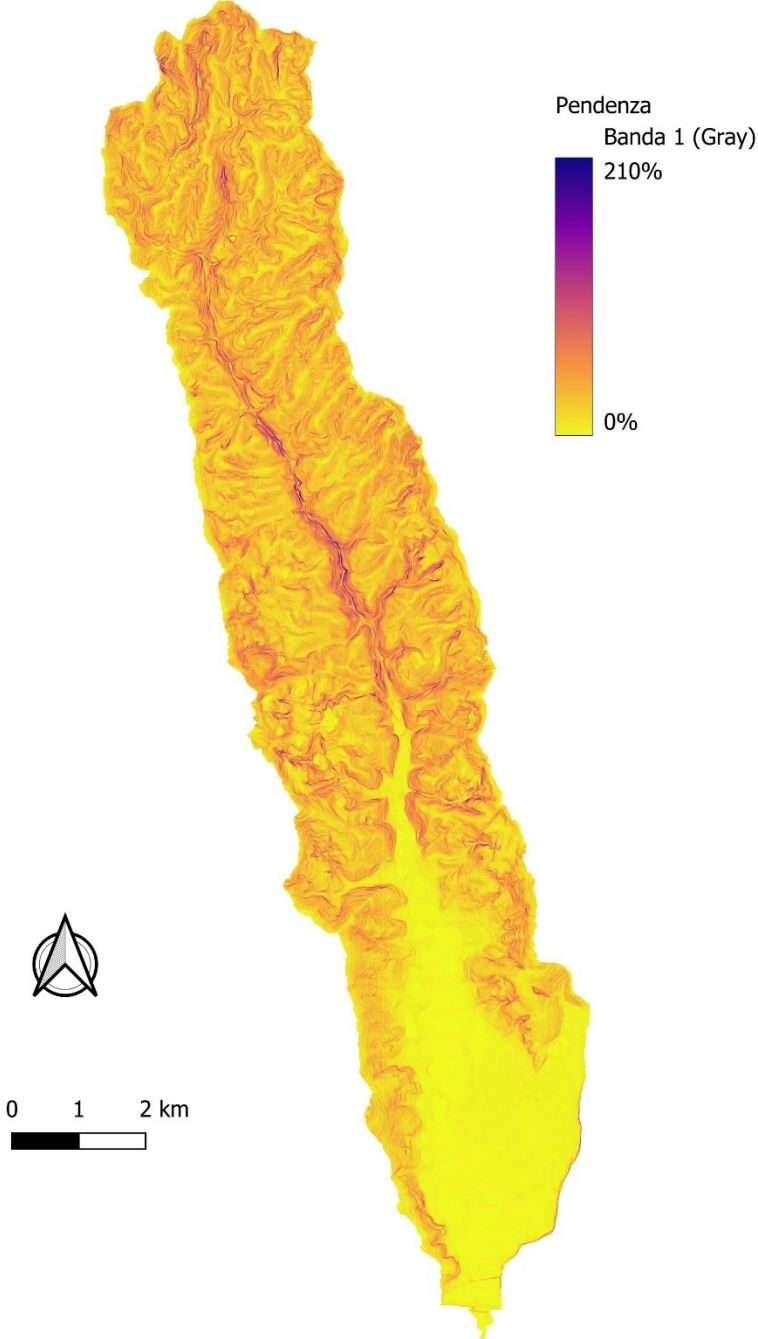
	Huber	Huber + 10%	Metro stero	Smalian
Totale	0,60	0,66	0,76	1,21
V medio	0,06	0,07	0,08	0,12
V max	0,22	0,24	0,28	0,48
V min	0,02	0,02	0,02	0,02
σ	0,06	0,07	0,08	0,14

TRATTO 7

	Huber	Huber + 10%	Metro stero	Smalian
Totale	5,94	6,53	7,56	11,22
V medio	0,12	0,13	0,15	0,22
V max	0,71	0,78	0,90	1,57
V min	0,01	0,01	0,01	0,01
σ	0,15	0,17	0,19	0,32

ALLEGATO C

CARTA DELLE PENDENZE



BIBLIOGRAFIA

"Home - Parco Naturale Regionale della Lessinia", Parco Naturale Regionale della Lessinia - Provincia di Verona, <https://lessiniapark.it/>.

ABBE T.B., MONTGOMERY D.R., 2003 – Patterns and process of wood debris accumulation in the Queets River basin, Washinton. *Geomorphology* 51:81 - 107.

AGANETTI F., - I Tesori della Valle di Mezzane, E-book, 53 pp.

BERNETTI G., 1995 – *Selvicoltura Speciale*. – U.T.E.T., Torino, 415 pp.

BRAUDRICK C.A., GRANT G.E., 2001 – Transport and deposition of large woody debris in stream: a flume experiment. *Geomorphology* 41: 263-283.

BRAUDRICK C.A., GRANT G.E., ISHIKAWA Y., YKEDA H., 1997 – Dynamics of wood transport in streams: a flume experiment. *Earth Surface Processes and Landforms*. Vol. 22: 669-683.

Castagna, Marta. "Caratterizzazione del regime di piena del Torrente Mezzane a Mezzane di Sotto". Tesi di laurea triennale, Università degli Studi di Padova, s.d.

CERADINI A., 2002 – *Grotte dei Lessini e del Baldo*. West Press.

CIANCIO O., MERCURIO R., NOCENTINI S., 1984 – *Le specie forestali esotiche nella selvicoltura italiana*. – *Annali Istituto Sperimentale per la Selvicoltura*, vol. XII e XIII, Arezzo, 731 pp.

D'AGOSTINO V., 2001 – *Strutture di legname nella sistemazione dei corsi d'acqua alluvionali: dalla tradizione all'innovazione*. Quaderni di idronomia montana (19/1). Il controllo dei fenomeni torrentizi, scienza tecnica e strumenti. Editoriale Bios s.a.s. Cosenza. Pag 329-342.

D'AGOSTINO V., 2021 – *Corso di Protezione dal rischio idrogeologico. Appunti di lezione*. Corso di Laurea Magistrale in Scienze Forestali e Ambientali. Università degli Studi di Padova.

DALLA FONTANA, GIANCARLO, E VINCENZO D'AGOSTINO. "La granulometria d'alveo il rilievo in campo e l'elaborazione dei dati". s.d., 9.

DEL FAVERO R., 2004 – *I boschi delle regioni alpine italiane: tipologia, funzionamento, selvicoltura*. – CLEUP editore, Padova, 599 pp.

DEL FAVERO R., DALL'AGNOLA G., DE MAS G., LASEN C., PAIERO P., POLDINI L., URSO T., 1998 – *Il carpino nero nel Veneto*. –Dipartimento Foreste, Regione Veneto, Venezia, 132 pp.

DELLA LESSINIA, Il Parco Naturale Regionale. Gli aspetti geografici delle aree protette: il caso di studio del Parco della Lessinia.

- FARABOLLINI, P., et al., 2018 – Processi di approfondimento dell'erosione in alveo ed effetti dell'inquinamento nei fiumi delle Marche centro-meridionali (Italia centrale). *Italian Journal of Quaternary Sciences*, 2008, 21: 317-330.
- FAUSTINI, J.M., JONES, J.A. 2003 – Influence of large woody debris on channel morphology and dynamics in steep, boulder-rich mountain streams, western Cascades, Oregon. *Geomorphology* 51. 187-205.
- GURNELL A.M., PIÉGAY H., SWANSON F.J., GREGORY S.V., 2002 – Large wood and fluvial processes. *Freshwater Biology* 47, 601-619.
- HASSAN M.A., HOGAN D.L., BIRD S.A., MAY C.L., TAKASHI G., CAMPBELL D., 2005 – *Journal of the American Water Resources Association (JAWRA)*. Paper No. 04073.
- LILJANIC LJ., TOPIC J., 1972 – Seasonal variations of the osmotic pressure of plants from different communities on ocka mountain in Istria (Croatia). – *Ekologija*, 1-2, 153-166.
- MAZZALAI P., CRISTOFORI V., PECORARI E., LENZI M.A., 2006 – Briglia a fune sul Fiume Sarca per la trattenuta dei detriti legnosi. In: D'Agostino V. & Fattorelli S. (Eds.), *Le Sistemazioni Idraulico-Forestali per la Difesa del Territorio, Quaderni di Idronomia Montana* 26, Bios, 425-438.
- MELVILLE, B.W. 1992 – Local scour at bridge abutments. *Journal of Hydraulic Engineering* 118:615-631.
- MONTGOMERY, D.R., ABBE, T.B., PETERSON, N.P., BUFFINGTON, J.M., SCHMIDT, K., AND STOCK, J.D. 1996 – Distribution of bedrock and alluvial channels in forested mountain drainage basins. *Nature (London)* 381:587-589.
- MONTGOMERY, D.R., BUFFINGTON, R. 1997 – Channel-reach morphology in mountain drainage basin. *GSA bulletin*, Maggio 1997. Vol. 109, pp. 596-611.
- MUTZ, M. 2003 – Hydraulic effects of wood in streams and river. *American Fisheries Society Symposium* 37, Ed. by S. Gregory, K. Boyer, A. Gurnell. 93-107.
- PACI M., BIANCHI L., MALTONI A., MARIOTTI B., 2003 – I castagneti da frutto abbandonati della Toscana. – *Dip. Sc. Tec. Ambient. Forest.*, Università di Firenze, 79 pp.
- PACI M., MALTONI A., TANI A., 1999 – I castagneti abbandonati della Toscana: dinamismo e proposte gestionali. – *Atti II Congresso S.I.S.E.F.*, Bologna, 9-16.
- PEDROTTI F., 1965 – Contributo alla conoscenza dell'idratazione e della pressione osmotica nelle specie di tre associazioni forestali delle Marche. II: La pressione osmotica. *Giorn. Bot. Ital.*, 93-113.
- PIUSSI P., MAGINI E., 1966 – Insediamento spontaneo di specie arboree sui castagneti abbandonati: considerazioni pratiche sul fenomeno. – *Atti Congr. Internaz. sul castagno*, Cuneo, 293-294.

POLIE., ZORZIN R., 2012 – Gli aspetti geografici delle aree protette: il caso di studio del Parco della Lessinia. La Lessinia Ieri Oggi Domani - Quaderno Culturale. 27-34.

Portale ARPAV: www.arpa.veneto.it.

ROBINSON, E.G., BESCHTA, R.L. 1990 – Coarse woody debris and channel morphology interactions for undisturbed streams in southeast Alaska, USA. *Earth Surface Processes and Landforms* 15:149-156.

STEUBING L., WILLMANN C., 1962 – Wasserhaushaltuntersuchungen in Rasengesellschaften des kroatischen Karstgebietes. – *Z. Bot.*, 34-51.

TRENTINI G., FOSSI G., 2015 – Linee guida per la gestione della vegetazione lungo i corsi d'acqua in provincia di Trento. Pubblicazione realizzata nell'ambito del progetto LIFE11/NAT/IT/000187, Trento.