



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI PADOVA

Dipartimento Territorio e Sistemi Agro-Forestali

Corso di Laurea Magistrale in Scienze Forestali e Ambientali

Indirizzo Protezione del Territorio

**Analisi del legname in alveo e modellazione  
idrologica nel bacino del Rio Rì (TN)**

Relatore

**Dott. Martino Bernard**

Laureanda

**Romana Pallaoro**

Matricola n. **2026783**

ANNO ACCADEMICO 2022-2023



## Indice

Indice delle Figure.....	5
Indice delle Tabelle .....	7
Indice delle Foto.....	9
Sintesi .....	11
Abstract .....	13
1. Morfologia degli alvei e LWD.....	14
2. Stima dei volumi di legname movimentabili durante un evento di piena.....	17
2.1 Parametri morfometrici del bacino e volumi di legname .....	17
2.2 Volumi di legname di base e potenziali.....	19
3. GIS - AdB Toolbox e Modello idrologico.....	21
3.1 I Sistemi Informativi Geografici - GIS.....	21
3.2 Il software AdB-ToolBox.....	22
3.3 Il Modello Idrologico.....	23
3.3.1 Il modello HydroModel.....	25
4. L'area di studio: Il bacino del Rio Rì.....	38
4.1 Inquadramento geografico.....	38
4.2 Caratteristiche climatiche .....	40
4.3 Caratteristiche geolitologiche e stratigrafiche .....	41
4.4 Caratteristiche idrologiche, idrogeologiche e morfologiche .....	43
4.5 Caratteristiche vegetazionali.....	45
4.6 Analisi morfometrica del bacino .....	52
4.7 Rio Rì: geo-morfologia del collettore.....	57
4.8 Grado di sistemazione del bacino e di efficienza delle opere.....	59
5. Analisi storica degli eventi alluvionali .....	64
6. Metodi di rilievo .....	70
6.1 Legname in alveo e trasporto solido.....	70



6.1.1	Rilievi passati .....	70
6.1.2	Analisi dei volumi .....	73
7.	Risultati analisi rilievo 2021 .....	75
7.1	Analisi degli elementi dispersi .....	75
7.1.1	Analisi per classi di lunghezza .....	75
7.1.2	Analisi della lunghezza media e del diametro medio.....	77
7.1.3	Analisi del volume .....	79
7.1.4	Briglia filtrante .....	80
7.2	Analisi dei cluster .....	82
7.3	Analisi delle ceppaie.....	83
7.3.1	Analisi del numero e della lunghezza delle ceppaie movimentabili .....	85
7.3.2	Analisi del volume delle ceppaie movimentabili .....	87
7.3.3	Analisi delle ceppaie non facilmente movimentabili e “log steps” .....	88
7.4	Influenza dei singoli settori sul volume complessivo e influenza delle singole categorie sul volume totale di ogni settore. ....	89
8.	Confronto tra 2021 e 2023 nel Settore 4 .....	91
8.1	Confronto degli elementi dispersi.....	91
8.2	Confronto dei cluster .....	93
8.3	Confronto delle ceppaie.....	93
9.	Confronto con i rilievi precedenti .....	95
9.1	Confronto degli elementi dispersi.....	95
9.1.1	Settore 1.....	95
9.1.2	Settore 2.....	100
9.1.3	Settore 3.....	103
9.1.4	Settore 4.....	107
9.1.5	Confronto della distribuzione del volume nei 4 settori per i rilievi del 2004, 2013 e 2021 .....	111
9.2	Confronto dei cluster .....	112



9.3	Confronto delle ceppaie.....	113
10.	Analisi con il modello idrologico e risultati.....	118
10.1	Fase di pre-processamento 1: Terrain Pro .....	118
10.2	Fase di pre-processamento 2: GeoPro .....	119
10.3	Gruppi idrologici e Curve Number.....	124
10.4	L'idrogramma di piena .....	125
10.4.1	Pluviometria .....	126
10.4.2	Monitoraggio deflussi e taratura del modello .....	128
10.4.3	Risultati delle simulazioni: Idrogrammi di piena per ogni evento simulato ....	129
10.5	Confronto tra i risultati delle simulazioni e i volumi misurati .....	136
11.	Conclusioni.....	138
	Bibliografia.....	140



## Indice delle Figure

Fig. 1 Inquadramento geografico dell'area di studio. ....	38
Fig. 2: Bacino del Rio Rì.....	39
Fig. 3 Valori delle precipitazioni e delle temperature registrate dalle stazioni di riferimento per lo studio. ....	41
Fig. 4: Estratto della Carta geologica. ....	42
Fig. 5: Carta della Permeabilità del bacino del Rio Rì (fonte: Alberti R.).....	44
Fig. 6 Distribuzione delle specie forestali nel Comune di Caldonazzo (Piano di Assestamento forestale).....	46
Fig. 7 Carta dei Tipi Forestali Reali del Comune di Caldonazzo (Piano di assestamento forestale).....	49
Fig. 8: Carta d'uso del suolo del bacino del Rio Rì (fonte: Alberti R.) .....	51
Fig. 9: Curva ipsometrica dimensionale del bacino del Rio Rì.....	53
Fig. 10: Curva ipsometrica adimensionale del bacino del Rio Rì.....	53
Fig. 11: Carta delle pendenze (verde pendenze ridotte, rosso pendenze elevate).....	54
Fig. 12: Cartografia dell'esposizione del bacino del Rio Rì. ....	55
Fig. 13: Distribuzione delle aree del bacino del Rio Rì in funzione della quota .....	56
Fig. 14: Distribuzione delle aree del bacino del Rio Rì in funzione della pendenza .....	56
Fig. 15 Ortofoto riportante le briglie presenti lungo l'asta principale del rio Rì e loro numerazione. ....	60
Fig. 16 Inquadramento dei tratti analizzati durante il rilievo del 2004 (Alberi R., 2012). ....	72
Fig. 17: Istogramma riportante il numero di elementi dispersi presenti nei diversi settori.....	77
Fig. 18: Confronto dei volumi stimati con le diverse metodologie per i 4 settori. ....	79
Fig. 19: Lunghezza e numero delle ceppaie per ogni settore, confrontato con la luce massima del ponte. ....	86
Fig. 20: Istogramma riportante il numero di elementi dispersi presenti nel settore 4 nei due rilievi: anno 2021 e 2023 .....	91
Fig. 21: Confronto degli elementi dispersi per classi di lunghezza nel Settore 1. ....	97
Fig. 22: Confronto tra le lunghezze medie degli elementi dispersi nel Settore 1. ....	98
Fig. 23: Confronto tra i diametri medi degli elementi dispersi nel Settore 1.....	98
Fig. 24: Confronto tra i volumi stimati nel Settore 1 nei diversi rilievi.....	99
Fig. 25: Volume degli elementi dispersi nella briglia filtrante .....	100
Fig. 26: Confronto degli elementi dispersi per classi di lunghezza nel Settore 2. ....	101



Fig. 27: Confronto tra le lunghezze medie degli elementi dispersi nel Settore 2. ....	102
Fig. 28: Confronto tra i diametri medi degli elementi dispersi nel Settore 2. ....	102
Fig. 29: Confronto tra i volumi stimati nel Settore 2 nei diversi rilievi. ....	103
Fig. 30: Confronto degli elementi dispersi per classi di lunghezza nel Settore 3. ....	105
Fig. 31: Confronto tra le lunghezze medie degli elementi dispersi nel Settore 3. ....	106
Fig. 32: Confronto tra i diametri medi degli elementi dispersi nel Settore 3. ....	106
Fig. 33: Confronto tra i volumi stimati nel Settore 3 nei diversi rilievi. ....	107
Fig. 34: Confronto degli elementi dispersi per classi di lunghezza nel Settore 4. ....	109
Fig. 35: Confronto tra le lunghezze medie degli elementi dispersi nel Settore 4. ....	110
Fig. 36: Confronto tra i diametri medi degli elementi dispersi nel Settore 4. ....	110
Fig. 37: Confronto tra i volumi stimati nel Settore 4 nei diversi rilievi. ....	111
Fig. 38: Distribuzione in % del volume totale degli elementi dispersi nei 4 settori. ....	112
Fig. 39: Volume dei cluster nel Settore 4 nei diversi rilievi. ....	113
Fig. 40: Confronto tra le ceppaie dei diversi rilievi. ....	114
Fig. 41: Confronto tra le ceppaie dei diversi rilievi con le ceppaie non facilmente movimentabili. ....	114
Fig. 42: Incidenza delle ceppaie sul volume totale nel Settore 4. ....	115
Fig. 43: Incidenza delle ceppaie sul volume totale nel Settore 1. ....	117
Fig. 44: DEM depittato ritagliato lungo lo spartiacque del bacino del Rio Rì. ....	118
Fig. 45: Direzioni di deflusso nel bacino del Rio Rì con il modello D8 (celle 2mx2m). ....	119
Fig. 46: Area drenata del bacino del Rio Rì calcolata con il modello D8 (celle 2mx2m). ....	120
Fig. 47: Area drenata del bacino del Rio Rì calcolata con il modello MultiFlow (celle 2mx2m). ....	120
Fig. 48: Reticolo idrografico sintetico (Drain Network) del Rio Rì con area di soglia 5000 m <sup>3</sup> , confrontato con il reticolo idrografico ufficiale della PAT. ....	121
Fig. 49: Carta della velocità di propagazione del deflusso (Flow velocity) per il bacino del Rio Rì (celle 2mx2m). ....	122
Fig. 50: Carta dei tempi di propagazione del deflusso lungo il reticolo (Routing Network) del bacino del Rio Rì (celle 2mx2m). ....	123
Fig. 51: Carta dei tempi di propagazione del deflusso lungo il versante (Routing Slope) del bacino del Rio Rì (celle 2mx2m). ....	123
Fig. 52: Carta dei gruppi idrologici per il bacino del Rio Rì (celle 2mx2m). ....	124
Fig. 53: Carta del Curve Number del bacino del Rio Rì (celle 2mx2m). ....	125
Fig. 54: Schermata del sito “Meteotrentino” con le tre stazioni in evidenza. ....	126



Fig. 55: Prospetto e pianta della gaveta della briglia n.13, sezione di chiusura del Rio Rì. ..	130
Fig. 56: Idrogramma di piena dell'evento del 28 – 29 ottobre 2018 nel bacino del Rio Rì...	132
Fig. 57: Idrogramma di piena dell'evento del 05-06 dicembre 2020 nel bacino del Rio Rì..	133
Fig. 58: Idrogramma di piena simulata relativa alla precipitazione del 29 luglio 2022 nel bacino del Rio Rì. ....	134
Fig. 59: Idrogramma di piena simulata relativa alla precipitazione del 10-11 maggio 2023 nel bacino del Rio Rì. ....	135

## Indice delle Tabelle

Tab. 1: Categorie AMC secondo la stagione e l'altezza di precipitazione nei 5 giorni antecedenti l'evento (mm). ....	31
Tab. 2: Codici numerici utilizzati nella costruzione della carta d'uso del suolo. ....	32
Tab. 3: Tabella per l'identificazione del gruppo idrologico in funzione dell'infiltrazione e permeabilità. ....	33
Tab. 4: Tabella per l'identificazione del gruppo idrologico in funzione della conducibilità idrica e profondità.....	33
Tab. 5: Tabella per l'identificazione del gruppo idrologico in funzione della tessitura. ....	34
Tab. 6: Percentuali delle varie classi di uso del suolo presenti nel Rio Rì.....	50
Tab. 7: Parametri morfometrici Rio Rì .....	52
Tab. 8: Numero di elementi dispersi suddivisi per classi di lunghezza (m).....	76
Tab. 9: Valori medi di lunghezza (m) degli elementi dispersi nei quattro settori.....	77
Tab. 10: Valori medi di diametro (cm) degli elementi dispersi nei quattro settori.....	78
Tab. 11: Valori volumetrici in m <sup>3</sup> e in % per ogni settore. ....	79
Tab. 12: Numero di elementi per classi di lunghezza rilevati sul filtro della briglia filtrante n°6. ....	81
Tab. 13: Confronto tra il volume stimato degli elementi dispersi e il volume trattenuto nella parte più prossima al filtro della briglia filtrante.....	81
Tab. 14: Numero e volume dei cluster rilevati nei 4 settori. ....	82
Tab. 15: Numero di ceppaie per ogni settore .....	85
Tab. 16: Volume delle ceppaie.....	87
Tab. 17: Volumi delle ceppaie non movimentabili e log steps. ....	88
Tab. 18: Confronto e somma totale dei volumi delle ceppaie del settore 4. ....	88
Tab. 19: Volumi e percentuali del volume sul volume totale. ....	89



Tab. 20 Comparazione tra i volumi delle singole categorie e il volume totale stimato. ....	90
Tab. 21: Numero di elementi dispersi per classe di lunghezza nel settore 4 negli anni 2021 e 2023 .....	92
Tab. 22: Lunghezza media (m) nel settore 4 nei 2 differenti rilievi.....	92
Tab. 23: Diametro medio (cm) nel settore 4 nei 2 differenti rilievi .....	93
Tab. 24: Volume nel settore 4 nei 2 differenti rilievi.....	93
Tab. 25: Numero e volume dei cluster nel Settore 4 nei rilievi 2021 e 2023.....	93
Tab. 26: Confronto tra le ceppaie movimentabili nei rilievi del 2021 e del 2023 nel Settore 4. .....	94
Tab. 27: Confronto tra numero di elementi dispersi per classe di lunghezza nel Settore 1. ....	95
Tab. 28: Valori di lunghezza media e diametro medio degli elementi dispersi nel Settore 1 nei diversi rilievi.....	97
Tab. 29: Valori in m <sup>3</sup> degli elementi dispersi nel Settore 1 nei diversi campionamenti. ....	99
Tab. 30: Volume degli elementi dispersi intrappolati nella briglia filtrante .....	99
Tab. 31: Confronto tra numero di elementi dispersi per classe di lunghezza nel Settore 2. ..	100
Tab. 32: Valori di lunghezza media e diametro medio degli elementi dispersi nel Settore 2 nei diversi rilievi.....	101
Tab. 33: Valori in m <sup>3</sup> degli elementi dispersi nel Settore 2 nei diversi campionamenti. ....	103
Tab. 34: Confronto tra numero di elementi dispersi per classe di lunghezza nel Settore 3. ..	104
Tab. 35: Valori di lunghezza media e diametro medio degli elementi dispersi nel Settore 3 nei diversi rilievi.....	105
Tab. 36: Valori in m <sup>3</sup> degli elementi dispersi nel Settore 3 nei diversi campionamenti. ....	106
Tab. 37: Confronto tra numero di elementi dispersi per classe di lunghezza nel Settore. ....	108
Tab. 38: Valori di lunghezza media e diametro medio degli elementi dispersi nel Settore 4 nei diversi rilievi.....	109
Tab. 39: Valori in m <sup>3</sup> degli elementi dispersi nel Settore 4 nei diversi campionamenti. ....	111
Tab. 40: Distribuzione in m <sup>3</sup> (stimato con il metro stero) e in % del volume totale degli elementi dispersi nei 4 settori. ....	112
Tab. 41: Volume in m <sup>3</sup> e in % sul volume totale del settore delle ceppaie nel Settore 4.....	115
Tab. 42: Volume in m <sup>3</sup> e in % sul volume totale del settore delle ceppaie nel Settore 1.....	116
Tab. 43: Parametri utilizzati per la simulazione degli idrogramma di piena. ....	130
Tab. 44: Altezza totale delle precipitazioni cadute nei 3 e 5 giorni precedenti i vari eventi e rispettivo valore di AMC.....	131





Tab. 45: Parametri ottenuti dalla simulazione dell'idrogramma di piena per l'evento del 28-29 ottobre 2018.....	132
Tab. 46: Parametri ottenuti dalla simulazione dell'idrogramma di piena per l'evento del 5-6 dicembre 2020. ....	133
Tab. 47: Parametri ottenuti dalla simulazione dell'idrogramma di piena per l'evento del 29 luglio 2022.....	134
Tab. 48 Parametri ottenuti dalla simulazione dell'idrogramma di piena per l'evento del 10-11 maggio 2023. ....	135
Tab. 49: Valori di precipitazione, portata liquida per gli eventi analizzati con il modello idrologico nel Rio Rì e volume del legname misurato in alveo tra il 2013 e il 2023. ....	137

## Indice delle Foto

Foto 1: Briglia filtrante n°6 posta a protezione della zona a valle. ....	45
Foto 2: Briglia austriaca .....	59
Foto 3: Briglia filtrante posta a chiusura del bacino del rio Rì: a) vista da monte; b) vista da valle .....	61
Foto 4: Briglie n° 7,8,9 in cemento armato poste a valle della strada provinciale.....	61
Foto 5: Briglia a finestre n.13 e soglie in massi ciclopici a valle della stessa.....	62
Foto 6: Soglie in massi ciclopici costruite, su entrambi i rami del Rio Rì, alla confluenza. ...	63
Foto 7: Scogliera in massi ciclopici a protezione dell'ala in destra idrografica della briglia n°13. ....	63
Foto 8: Briglia filtrante n°6 dopo l'evento del 2002 (fonte: PISIF, T. Centa). ....	65
Foto 9: Briglia a finestre n°13 e piazza di deposito dopo l'evento del novembre 2004 (fonte: PISIF, T. Centa). ....	66
Foto 10: Briglia filtrante ostruita dal materiale legnoso durante l'evento del 2012 (fonte: Servizio Bacini Montani TN).....	67
Foto 11: Alveo a monte della piazza di deposito della briglia n.13 (fonte: Servizio Bacini Montani). ....	67
Foto 12: Materiale di grosse dimensioni a monte della briglia a finestre n.13, nella relativa piazza di deposito (fonte: Servizio Bacini Montani TN). ....	68
Foto 13: Legname di grosse dimensioni e detrito accumulato nei pressi della briglia filtrante (fonte: Servizio Bacini Montani TN). ....	68



Foto 14: Legname di grosse dimensioni e detrito accumulato nella piazza di deposito della briglia filtrante (fonte: Servizio Bacini Montani TN).....	68
Foto 15: Scalzamento della briglia n.13 (fonte: Servizio Bacini Montani TN). ....	69
Foto 16: Briglia filtrante ostruita dal detrito (fonte: Servizio Bacini Montani TN).....	69
Foto 17: Piazza di deposito a monte dell'attraversamento della strada provinciale (cerchio rosso).....	78
Foto 18: a) Briglia filtrante vista da valle con in evidenza due tronchi di media lunghezza; ..	80
Foto 19: Ramaglie e foglie presenti nella piazza di deposito della briglia filtrante. ....	81
Foto 20: Cluster nel settore 4 .....	82
Foto 21: Esempio di ceppaia movimentabile, la prima nel settore 1, la seconda nel settore 2.	83
Foto 22: Esempi di ceppaie non movimentabili e log jam nel settore 4 .....	83
Foto 23: Tratto del settore 4 dove sono presenti sia ceppaie movimentabili che non movimentabili .....	84
Foto 24: Sponde laterali instabili con vegetazione nel settore 2, la prima a valle della briglia °13, la seconda a monte del ponte della strada provinciale. ....	84
Foto 25: Sponda laterale con all'interno ceppaie e elementi vegetali, a seguito di accumulamenti laterali del detrito presente in alveo a seguito delle lavorazioni di sistemazione. ....	85
Foto 26: Ponte della Strada Provinciale SP133 e piazza di deposito a monte. ....	86



## Sintesi

Il bacino del Rio Rì è un tipico bacino montano caratterizzato da dimensioni ridotte, forti pendenze sia dei versanti che dell'alveo principale e dalla presenza di sponde instabili. L'instabilità delle sponde determina l'accumulo di materiale detritico e legnoso in alveo, che, in occasione di eventi di piena intensi, viene movimentato e trasportato verso valle.

La propensione al trasporto solido di questo piccolo bacino è ben nota da secoli: sono infatti stati parecchi gli eventi che hanno causato delle alluvioni a valle, di cui le prime testimonianze sono del 1700. Per questo, nel corso degli anni, ci sono stati anche diversi interventi di sistemazione dell'alveo per ridurre il pericolo a valle, tra i quali la costituzione di piazze di deposito e di una briglia filtrante.

Questo lavoro è suddiviso in più parti, al fine di avere una visione unitaria dei processi che determinano il trasporto a valle del materiale detritico, con particolare riferimento al materiale legnoso e alla pericolosità di una sua movimentazione in caso di eventi straordinari.

Dopo aver svolto un'analisi conoscitiva del bacino dal punto di vista idrogeologico, climatico, di uso del suolo e morfometrico, si è analizzato il materiale legnoso in alveo misurato durante i rilievi in campo svolti nell'autunno del 2021 e nella tarda primavera del 2023. Questi rilievi sono stati in seguito confrontati fra di essi e con i rilievi effettuati nel bacino in passato, ponendo particolare attenzione al volume del materiale legnoso misurato.

Nella sezione conclusiva, si sono infine esaminati i principali eventi di piena che si sono verificati nel decennio 2013-2023 (28-29 ottobre 2018 e 5-6 dicembre 2020) e un paio di eventi di modesta entità avvenuti tra i rilievi del 2021 e del 2023, per cercare di giustificare le variazioni nella presenza di materiale legnoso misurate negli ultimi due rilievi. Tale analisi è stata compiuta basandosi sui risultati ottenuti da delle simulazioni effettuate con un modello idrologico cinematico distribuito di tipo afflussi-deflussi basato sul metodo del "SCS-CN" implementato con un modello di filtrazione di tipo lineare ad esaurimento esponenziale, sviluppato nell'ambito del progetto europeo PARAMount dal Dipartimento Territorio e Sistemi Agro-Forestali dell'Università di Padova (Gregoretto & Degetto, 2012) per il software GIS AdB-ToolBox.

In base ai risultati ottenuti dalle analisi e dalle simulazioni si evince che il volume totale di LWD, pur rimanendo all'incirca costante, a seguito di eventi di diversa intensità cambia nella distribuzione lungo l'alveo analizzato: alcuni settori risultano essere più propensi all'accumulo o al contrario al trasporto a seconda del volume della portata che defluisce. In particolare, si è



riscontrato un accumulo nei tratti più a monte durante i periodi di ordinarietà, mentre un incremento di LWD nei tratti a valle a seguito degli eventi straordinari (confermando l'efficacia delle piazze di deposito).



## Abstract

The Rio Ri basin is a typical mountain basin characterized by small dimensions, steep slopes on both sides and in the main channel and the presence of unstable banks. The instability of the banks leads to the accumulation of debris and woody material in the channel, which, during intense flood events, is mobilized and transported downstream.

The propensity for solid transport in this small basin has been well known for centuries: there have been several events that have caused floods downstream, with the earliest records dating back to the 1700s. For this reason, over the years, there have been various interventions to arrange the channel to reduce the danger downstream, including the creation of storage areas and a filtering dam.

This work is divided into multiple parts, aiming to provide a comprehensive view of the processes that determine the downstream transport of debris material, with a particular focus on woody material and the risk associated with its movement during extraordinary events.

Initially, a cognitive analysis of the basin was carried out from a hydrogeological, climatic, land use, and morphometric perspective. Subsequently, the woody material in the channel, measured during field surveys carried out in the autumn of 2021 and in the late spring of 2023, was analysed. These surveys were subsequently compared with each other and with surveys conducted in the basin in the past, paying special attention to the volume of woody material measured.

In the last section, the main flood events that occurred in the decade 2013-2023 (28-29 October 2018 and 5-6 December 2020) were examined, along with a couple of minor events that occurred between the surveys of 2021 and 2023, to justify the variations in the presence of woody material measured in the last two surveys. This analysis was carried out based on the results obtained from hydrological simulations carried out with a distributed kinematic hydrological model based on the “SCS-CN” method, developed as part of the European project PARAMount by the Department of Land, Environment, Agriculture and Forestry of the University of Padua (Gregoretto & Degetto, 2012) for the GIS software AdB-ToolBox.



## 1. Morfologia degli alvei e LWD

In corsi d'acqua di ordine medio-basso che drenano bacini forestati sono comuni accumuli in alveo di grossi detriti legnosi (LWD “large woody debris”).

Molte ricerche mostrano come i grandi detriti legnosi siano importanti nella formazione della morfologia dei canali fluviali in molti ecosistemi temperati (e.g. Harmon e altri, 1986; Lienkaemper and Swanson, 1987; Montgomery and Buffington, 1997).

La loro presenza può contribuire alla diminuzione dell'energia potenziale della corrente, grazie alla formazione di “pool”, di barre ghiaiose laterali e, trattenendo i detriti di varie origini e dimensioni, che aumentano notevolmente la rugosità, creano una barriera fisica, diminuiscono la pendenza dell'alveo e agiscono sulle forze di taglio (all'aumentare del carico del legno, lo sforzo di taglio del grano diminuisce). Inoltre, innalzano il letto dell'alveo e causano l'allargamento del canale.

La presenza di LWD nei corsi d'acqua contribuisce anche alla qualità dell'habitat acquatico e ripariale, come fonte di materia organica e per le implicazioni significative per i macroinvertebrati. Infatti, in alcuni corsi d'acqua, se non fossero presenti questi sedimenti, l'habitat non sarebbe adeguato alla vita, per esempio in canali rocciosi inospitali.

La presenza di detrito legnoso in alveo, soprattutto quello di grandi dimensioni, non ha però solo un aspetto positivo; infatti, se associato a un flusso eccezionale, esso può essere movimentato assieme al detrito accumulato, aumentando la forza del flusso stesso, oppure creando ostruzioni che potrebbero generare delle esondazioni.

L'abbondanza di LWD dipende, in parte, dalle dimensioni e dalla tipologia del canale. I canali di piccole dimensioni tendono ad avere un numero maggiore di LWD per unità di superficie rispetto ai canali di grandi dimensioni, poiché i grandi canali hanno una maggiore capacità di trasporto del legname (Bilby e Ward 1989, Swanson e altri 1982). Nei canali non vincolati con substrato fine la presenza di LWD è maggiore rispetto ai canali vincolati con substrato roccioso e confinato (Bilby e Wasserman 1989). L'elemento principale è però la presenza e dalla tipologia di foresta nella zona ripariale. I corsi d'acqua delle foreste di conifere sono più ricchi di LWD di quelli delle foreste di latifoglie, poiché le conifere sono generalmente più grandi e meno facilmente trasportabili (Harmon e altri, 1986). Analogamente, i corsi d'acqua nelle foreste mature tendono ad avere più LWD rispetto ai corsi d'acqua in quelle giovani, dove la foresta ripariale è spesso composta da piccole latifoglie (Bilby and Ward 1991, Grette 1985).



La dimensione media del LWD, misurata in lunghezza, volume o diametro, aumenta con la dimensione del canale (Bilby e Ward 1989). I canali più grandi hanno una maggiore capacità di trasporto del legno. Piccoli pezzi vengono scaricati a valle, lasciando per lo più grandi detriti. Pertanto, mentre l'abbondanza è inferiore nei grandi canali, la dimensione media dei LWD è più grande.

La distribuzione di LWD dipende dalla dimensione e dal tipo di canale, ma anche dai processi di input (eventi occasionali oppure no). Inizialmente la distribuzione dei detriti legnosi risulta casuale, in seguito, essi verranno raggruppati ad opera dei vari processi fluviali in cluster e poi in dighe, ad intervalli regolari lungo il corso d'acqua (Clifford E. Kraft, Dana R. Warren 2001). La scala temporale in cui si sviluppano le aggregazioni di LWD dipenderà dal trasporto fluviale, che è funzione dell'intensità del flusso, della lunghezza del pezzo e dell'angolo rispetto alla direzione del flusso (Lienkaemper e Swanson, 1987; Braudrick e Grant, 2000).

Le piante interagiscono e modificano i processi di erosione delle sponde del fiume alterando l'idrologia delle rive, l'idraulica dei flussi e le proprietà geotecniche. Le piante ripariali influiscono sulla stabilità delle sponde fluviali e sui processi fisici di erosione delle sponde.

Ricerche sul ruolo della vegetazione nelle frane e in altri problemi di stabilità dei pendii hanno dimostrato che anche una bassa densità delle radici può determinare un notevole aumento della resistenza al taglio rispetto ai terreni nudi (Wu e altri, 1979; Waldron e Dakessian, 1981; Ziemer, 1981; Gray e Leiser, 1982; Greenway, 1987; Riestenberg, 1994; Schiechl e Stern, 1996).

La vegetazione è parte integrante del paesaggio rivierasco e svolge un ruolo importante nella stabilizzazione delle rive del fiume e nella moderazione dell'erosione.

La presenza di vegetazione che cresce sulle rive di un fiume ha il potenziale di influenzare sia il tasso che la distribuzione dell'erosione delle rive. Ciò a sua volta può influenzare la velocità e la direzione della migrazione della curva, o la geometria idraulica, e quindi alterare il modello di evoluzione del canale.

I meccanismi di consegna del legno ai corsi d'acqua spaziano da processi che forniscono il legno in modo prevedibile nel tempo a eventi relativamente rari ed episodici che generano grandi quantità di legno in un lasso di tempo molto breve (Keller e Swanson 1979). Il meccanismo più prevedibile di input del legno è la mortalità degli alberi legata allo sviluppo e alla successione. Il tasso di afflusso di LWD al canale a causa della mortalità varia in funzione delle specie arboree e dello stadio di successione del popolamento ripariale. Disturbi relativamente rari e



gravi, tra cui tempeste di vento, incendi o inondazioni, possono aggiungere massicce quantità di legname alla rete del canale (Harmon e altri 1986). Anche valanghe, frane e colate detritiche trasportano il legno dai pendii delle colline attraverso canali affluenti e depositano il legno e i relativi sedimenti nei bacini a valle (Keller e Swanson 1979).





## **2. Stima dei volumi di legname movimentabili durante un evento di piena**

Il legname depositato in alveo, può essere movimentato durante un evento di piena, come pure l'altro sedimento presente. Nei piccoli bacini boscati, soggetti a portata solida, le possibili fonti di alimentazione solida possono essere depositi di frane, di crolli, erosione delle sponde, piante vive o morte e detriti vegetali in alveo.

Se il bacino si trova in una zona non antropizzata, il pericolo sarà trascurabile, mentre nel caso in cui sorga in una zona antropizzata è bene saperne valutare il volume per costruire le opere da difesa necessarie.

Gli studi in tale materia sono iniziati a fine anni '80 in Giappone con le analisi di Ishikawa, per quanto riguarda l'Europa i lavori principali sono quelli di Rickenmann in Svizzera.

### **2.1 Parametri morfometrici del bacino e volumi di legname**

I fattori che possono influenzare la mobilitazione di materiale vegetale sono diversi. Infatti, il volume di legname ( $V_{log}$ ) movimentato è dipendente dall'intensità dell'evento di piena, dai parametri morfometrici che caratterizzano il bacino e dalla presenza o meno di aree che fungono da potenziali serbatoi di materiale vegetale.

In un bacino idrografico si possono individuare "aree serbatoio" ( $A_s$ ) di legname trasportabile dal collettore, le quali sono tutte quelle aree che possono contribuire potenzialmente e direttamente in via eccezionale all'alimentazione del corso d'acqua, e "zone di adiacenza" ( $A_z$ ). Le aree serbatoio comprendono le zone di scorrimento di valanghe o di frane, i pendii instabili o in erosione, le possibili sedi di crolli o frane, i boschi adiacenti gli alvei (anche quelli effimeri). Queste possono esprimere dei volumi potenziali di legname che eccezionalmente potrebbero essere messi in movimento. È comunque improbabile che tutte queste aree possano essere parimenti fonte di alimentazione durante uno stesso evento.

Le "zone di adiacenza" ( $A_z$ ) sono zone boscate, generalmente comprese in una fascia di circa 30-50 m, poste ai margini di qualsiasi collettore o rivolo, le quali possono o meno determinare la mobilitazione di materiale vegetale in occasione di un qualsiasi evento. Le zone di adiacenza fanno parte dell'area serbatoio ma, a differenza di questa, sono coinvolte in modo diverso nei processi di alimentazione e di trasporto del materiale vegetale.



Il concetto di area boscata del bacino idrografico ( $A_w$ ), come comunemente intesa in ambito forestale, si distingue dal concetto di “area serbatoio” e di “zona di adiacenza”. L’area boscata del bacino fornisce il valore della superficie boscata o al massimo ‘l’indice di boscosità del bacino idrografico’ ( $=A_w/A_b$ , con  $A_b$  area drenata del bacino idrografico) ma, non dà alcuna informazione sulle superfici che possono dare luogo ad una alimentazione di legname.

Un parametro fondamentale è la lunghezza del collettore boscato ( $L_w$ ), la quale è più significativa della semplice lunghezza dell’alveo ( $L$ ). Infatti, la lunghezza dell’alveo non fornisce alcun dato riguardo alle possibili fonti d’alimentazione di legname mentre, la lunghezza del collettore boscato è utilizzata per stimare il valore delle “zone di adiacenza”:

$$A_z(Km^2) = 2 \cdot (0.03 \div 0.05) \cdot L_w(Km) \quad [ 1 ]$$

Un altro parametro che condiziona in modo considerevole il volume di legname fluitato è la pendenza ( $i$ ) del collettore, la quale è determinante nel bilanciamento tra le forze idrodinamiche e quelle di resistenza che definiscono il movimento e il trasporto del legname lungo il collettore.

L’area drenata del bacino idrografico ( $A_b$ ) è importante nella determinazione della portata di piena, assieme al tempo di ritorno dell’evento ( $T_r$ ).

Ritenendo che il volume di legname movimentabile ( $V_{log}$ ) sia funzione del valore al colmo  $Q(T_r)$ , si introduce un approccio probabilistico e non deterministico alla stima del  $V_{log}$  (Degetto,1999).

Quindi, il volume di legname potenzialmente fluitabile è esprimibile come:

$$V_{log} = f (Q(T_r); i; L_w; A_s; A_z) \quad [ 2 ]$$

essendo  $Q(T_r)$  la portata di piena al colmo con un certo tempo di ritorno,  $L_w$  la lunghezza del collettore boscato,  $A_s$  l’area serbatoio,  $A_z$  la zona di adiacenza e  $i$  la pendenza di fondo dell’alveo.



## 2.2 Volumi di legname di base e potenziali

Come anticipato, il valore del volume che potenzialmente può giungere in una certa sezione del bacino è determinante affinché il progettista possa dimensionare le eventuali strutture per il controllo del legname.

Si possono distinguere due tipologie di volumi di legname:

- Volume base ( $V_B$ ): è il volume di legname morto presente in alveo.

Tale volume rappresenta il legname che potrebbe, in parte o tutto, essere movimentato da un evento di piena. Non è da considerarsi come un volume progettuale in quanto non è collegato ad alcun tipo di evento, ma può servire alla stima della capacità del solo alveo di 'produrre' legname.

- Volume potenziale ( $V_P$ ): è il volume di tipo progettuale a cui far riferimento.

Esso è ricavato da una analisi dei dati offerti in letteratura considerando solo bacini con superficie minore di 100 km<sup>2</sup>. Corrisponde al volume movimentato per un evento di piena con un certo tempo di ritorno.

Il volume di base ( $V_B$ ) è un volume di legname che può essere calcolato mediante un'analisi statistica.

Tale volume, calcolato sul legname morto presente in alveo, consente di definire empiricamente il volume di legname che l'alveo è in grado di produrre e che potrebbe essere mobilitato dalla corrente. Si tratta di legname 'immagazzinato' dal torrente stesso durante eventi precedenti (depositi di legno lungo le sponde o sull'alveo). È quindi un volume di legname non collegato ad alcun tipo di evento e indica il legname morto presente in alveo disponibile al trasporto (Degetto M., 1999).

Il procedimento proposto per il calcolo di  $V_B$  è formulato assumendo una distribuzione più o meno omogenea del legname lungo tutto l'alveo boscato e considerando il solo volume di legname depositato nell'alveo attivo.

Il volume di base è funzione del volume rilevato nell'alveo attivo, della lunghezza boscata del collettore e della sua pendenza media:

$$V_B = f(V_{log} \text{ rilevato in alveo}; L_w; i) \quad [3]$$

con  $V_B$  volume base di legname per metro di lunghezza  $L_w$  del collettore.



Il volume potenziale può essere definito come volume massimo di legname movimentabile da un evento di piena. Esso è composto da una certa percentuale del volume di base, a cui si somma il volume di legname prodotto dalle zone di adiacenza, ed è strettamente dipendente dall'intensità dell'evento di piena. Infatti, gli eventi di piena, sono causati da eventi pluviometrici che determinano fenomeni di alimentazione del legname in alveo (frane, schianti, ruscellamento superficiale effimero nel bosco).

Il volume potenziale è funzione della forza esercitata dalla corrente (determina la mobilitazione del legname) e del tirante idraulico (determina la sezione d'alveo interessata dalla corrente).

Il Volume potenziale si può scrivere:

$$V_P = f(Q(Tr); Lw; i) \quad [4]$$



### 3. GIS - Adb Toolbox e Modello idrologico

#### 3.1 I Sistemi Informativi Geografici - GIS

I Sistemi Informativi Geografici (GIS) sono un potente set di strumenti per raccogliere, archiviare, richiamare a piacere, trasformare e mostrare dati spaziali dal mondo reale per particolari scopi (Burrough, 1986). In ambito internazionale il termine GIS fa riferimento ad un Sistema Informativo Geografico che è composto da dati spaziali, procedure per il trattamento e l'analisi, software dedicato, hardware dedicato e utenti. In Italia il concetto di GIS così definito si esprime con il termine SIT (Sistema Informativo Territoriale), mentre per GIS spesso si intende la sola componente software.

Un GIS permette di gestire l'informazione rappresentando il mondo reale attraverso una modellazione per livelli (o strati) detti Layers, rendendo possibile rappresentare, richiamare, interrogare, incrociare uno o più livelli. Un Layer corrisponde ad un file o un set di file, ed è composto da singoli elementi detti Features, ognuno dei quali ha un proprio set di attributi.

L'Informazione Territoriale rappresentata nei GIS ha due componenti:

- componente spaziale: proprietà geometriche e topografiche;
- componente non spaziale: dati descrittivi (attributi) associati alla componente spaziale.

In un GIS i dati sono georeferenziati, ovvero hanno una precisa collocazione nello spazio, grazie a dei sistemi di coordinate, che possono essere di due tipi:

- coordinate geografiche: latitudine e longitudine;
- coordinate piane o cartesiane (in Italia metriche): UTM, Gauss Boaga, Cassini-Soldner.

I modelli spaziali di dati GIS sono due:

- Modello dati vettoriale: in questo modello ciascuna entità territoriale di interesse viene rappresentata mediante punti, linee, poligoni o combinazioni più complesse di questi elementi base. La georeferenziazione (fondamentale per il confronto e la giusta sovrapposizione dell'informazione territoriale) delle varie entità fisiche avviene associando a ciascun elemento base la corrispondente posizione geografica; quindi un punto è memorizzato come coppia di coordinate (x;y), una linea essendo costituita da un insieme di punti è memorizzata come serie ordinata di coordinate, le aree infine vengono codificate con una serie di coordinate relative ai segmenti di linea che racchiudono un poligono.
- Modello dati raster: nel modello dati raster l'area geografica analizzata viene invece rappresentata mediante una griglia regolare suddivisa in tante piccole celle (pixel) di uguale



dimensione (rappresentazione matriciale). Ad ogni cella è associato un unico valore il quale codifica in forma alfanumerica un attributo associato alla porzione di area definita dalla cella stessa; ovviamente in questo modo a zone del territorio aventi le stesse caratteristiche, relativamente all'attributo considerato, corrispondono celle di ugual valore.

### 3.2 Il software AdB-ToolBox

AdB-Toolbox è un applicativo GIS Open Source basato su piattaforma OpenJUMP (Java Unified Mapping Platform), che può essere utilizzato per visualizzare, gestire, integrare ed elaborare un insieme di dati/informazioni (dataset) spaziali. Il software, è stato sviluppato per conto del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare (MATTM), e consente numerose analisi di dati spaziali, tra le quali il calcolo dell'idrogramma di progetto. Per l'elaborazione dei dati, il programma si serve di banche dati territoriali che coprono l'intero territorio nazionale, effettuando una modellazione ad evento del processo afflussi-deflussi.

Dal punto di vista operativo, il progetto è stato realizzato in due fasi che hanno previsto un primo sviluppo dell'infrastruttura del Sistema Cartografico Cooperante, e un aggiornamento delle banche dati del GN (2006-2008) e la loro sua successiva estensione (2008-2010).

Il software applicativo AdB-ToolBox, oltre alle più comuni funzionalità dei Sistemi Informativi Geografici, mette a disposizione dei Centri Federati del SCC strumenti e funzionalità specifiche per l'analisi idrologica (Sottosistema Analisi Idrologiche). La versione 1.3 del software, inoltre, inserendosi nel quadro di una infrastruttura tecnologica di servizi e funzionalità comuni a tutto il Sistema Cartografico Cooperante, implementa meccanismi di interoperabilità quali i servizi WMS (Web Map Service), WFS (Web Feature Service) e WCS (Web Coverage Service).

L'applicazione consente l'elaborazione di specifiche analisi, attraverso le seguenti estensioni e funzionalità (Plug-in):

- “Analisi Climatiche” (AClim): consente l'elaborazione, la correzione e l'interpolazione di dati climatici, in particolare delle precipitazioni e delle temperature.
- “Analisi Geomorfologiche” (AGeom): consente la generazione di una serie di strati informativi connessi alle caratteristiche geomorfologiche del territorio.
- “Analisi Idrologiche” (AIdro): permette la realizzazione di analisi idrologiche.
- “Analisi Topografiche” (ATopo): consente di effettuare elaborazioni connesse alla topografia territoriale, quali ad esempio estrazione di sezioni trasversali, profili longitudinali ecc.
- “Strumenti Raster” (StRas): permette la gestione ed il trattamento di dati di tipo raster.



- “Gestione tecnica e amministrativa del quadro del fabbisogno di interventi finalizzati alla sicurezza del territorio” (FIST).
- “Strumenti per il trattamento dei dati LiDAR” (St\_LiDAR).
- “Analisi e verifiche idrauliche” (AVI): consente l’analisi dell’alveo, dell’efficienza del reticolo, permette di determinare il fattore protettivo della vegetazione.
- “Sistemi di riferimento” (SRC).
- “Modellazione Idraulica Bidimensionale” (IDRA2D): consente un’analisi dettagliata delle aree esondate.
- “Web Coordinate Transformation Service” (WCTS-Client).

Inoltre, nell’ambito del progetto europeo PARAMount, il Dipartimento Territorio e Sistemi Agro-Forestali (TeSAF) dell’Università di Padova ha sviluppato e implementato nel software AdB-ToolBox una serie di “tools” (strumenti) tra cui uno interamente dedicato all’analisi idrologica: HydroModel (Gregoretto, 2011).

### 3.3 Il Modello Idrologico

Un modello fornisce una rappresentazione semplificata di un sistema reale; il sistema reale oggetto di modellazione idrologica è il ciclo dell’acqua, ovvero i processi di precipitazione, evaporazione, traspirazione, deflusso superficiale, infiltrazione, formazione del deflusso sottosuperficiale e sotterraneo, apporto agli oceani.

I modelli idrologici servono a descrivere e prevedere i processi idrologici che avvengono all’interno di un bacino, a valutare i loro rapporti di interazione e di interconnessione, a quantificare l’influenza di ciascun processo fisico sul regime dei deflussi. Sono strumenti indispensabili quali supporto alla pianificazione e alla protezione del territorio.

Un Modello Afflussi-Deflussi è un modello idrologico che permette di calcolare la portata che transita nella sezione di chiusura di un determinato bacino, partendo da dati di precipitazione. Il modello trasforma la precipitazione in deflusso superficiale, il quale viene convogliato al corso d’acqua per poi poterne calcolare la portata generata in una determinata sezione di chiusura.



I Modelli Afflussi-Deflussi possono essere:

- Modelli continui: sono considerate tutte le componenti del ciclo idrologico a scala di bacino e vengono applicati in continuo nel tempo; riproducono quindi ogni condizione idrologica del corso d'acqua (magra, morbida, piena).
- Modelli ad evento o di piena: sono modelli semplificati, in cui vengono considerati i soli processi che si manifestano durante gli eventi di piena; la simulazione dei processi inizia al cominciare dell'evento e termina con la sua conclusione.

La precipitazione che giunge al suolo può infiltrarsi o defluire superficialmente. L'infiltrazione è strettamente legata alle caratteristiche del sito, quali pendenza, tipo di vegetazione, permeabilità del suolo, e dalle condizioni di saturazione antecedenti alla precipitazione considerata. La precipitazione che non si infiltra si trasforma in deflusso superficiale ed arriva alla sezione di chiusura; la quantità d'acqua passante per una certa sezione di un corso d'acqua si definisce portata. L'andamento della portata nel tempo, può essere riportato graficamente attraverso un grafico chiamato idrogramma.

Il modello idrologico utilizzato per la simulazione è un modello afflussi-deflussi ad evento, empirico sperimentale basato sul metodo SCS-CN ma con elementi concettuali, di tipo lineare e distribuito, deterministico. Il modello cioè simula il comportamento di un bacino montano solo in occasione di singoli eventi meteorici di entità non trascurabile (ipotizzando così di poter rendere irrilevanti alcuni fenomeni del ciclo idrologico quali evapotraspirazione e intercettazione vegetale), basandosi principalmente su relazioni matematiche sperimentali fra le variabili rilevanti del processo e, in maniera minore, su leggi fisiche semplificate. Le caratteristiche del bacino e le grandezze di input, escluse le precipitazioni, vengono considerate mutevoli nello spazio, ciò permette di determinare il valore della variabile in uscita, ovvero la portata alla sezione di chiusura.





### 3.3.1 Il modello HydroModel

In questo lavoro, la simulazione è stata fatta attraverso l'HydroModel, che come accennato precedentemente, è stato sviluppato da Gregoretti nel 2011 per il software AdB-Toolbox. Tale modello contiene una serie di routine che attraverso quattro fasi operative permette di giungere alla simulazione di un idrogramma di piena.

Le quattro fasi sono:

- Fase di pre-processamento 1 (TerrainPro): creazione del DEM (Digital Elevation Model) relativo allo spartiacque (watershed) definito in funzione della sezione di chiusura del bacino partendo dal DEM depittato (ossia idrologicamente privo di depressioni) dell'intera area oggetto di analisi.
- Fase di pre-processamento 2 (GeoPro): definizione delle mappe raster delle direzioni di deflusso e dei tempi di scorrimento che saranno utilizzate dal modello di simulazione per la propagazione della portata liquida alla sezione di chiusura del bacino.
- Costruzione del Curve Number: costruzione della mappa dei gruppi idrologici e, mediante sovrapposizione con l'uso del suolo, determinazione della mappa del CN secondo il metodo del Soil Conservation Service (1972).
- Idrogramma di piena: simulazione e calcolo dell'idrogramma liquido di piena.

#### Fase di pre-processamento 1: TerrainPro

Nella prima fase si elabora il DTM attraverso l'utilizzo delle funzionalità messe a disposizione del modulo TerrainPro in Adb-ToolBox. Dati i limiti di calcolo del software idrologico, i dati del DTM, forniti dalla Provincia Autonoma di Trento (fonte: <https://siat.provincia.tn.it/>) e derivato dal rilievo LiDAR (Light Detection And Ranging) effettuato nel 2013-2014-2015 ed aggiornato con voli effettuati nel 2018 realizzato nell'ambito del Piano Straordinario di Telerilevamento Ambientale (PST-A) dell'allora Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare del 2014, sono stati riaggregati passando dalla dimensione delle celle pari 0.5x0.5 m ad una di 2x2.



### Calcolo del DEM privo di depressioni

Durante il calcolo di un DTM possono essere prodotte accidentalmente delle depressioni locali “spurious pit”, ovvero celle circondate da 8 celle a quota più elevata, che nella realtà non esistono. Per condurre uno studio dell'idrologia superficiale (non tenendo conto dei fenomeni di carsismo) di un bacino su base raster è indispensabile filtrare il DTM per eliminare le depressioni locali, per evitare che questi “spurious pit” isolino porzioni di bacino dalla sezione di chiusura con conseguenti problemi legati alla definizione del deflusso che genera la portata di piena.

La funzione del modulo TerrainPro, che elimina dal DTM iniziale le singole celle o gli aggregati più celle (pits) a quota inferiore rispetto alle circostanti è la funzione “DEM DEPIT”. Il depittaggio del DEM può essere effettuato attraverso differenti algoritmi:

- algoritmo “antipits di scavo”: individua tra le otto celle presenti al contorno della cella pit, quella con la quota altimetrica minore e successivamente innalza la quota altimetrica del pixel depresso fino ad un valore leggermente inferiore ( $<0.001$  m) alla quota minima rilevata al contorno. Quindi, considerando una finestra di  $500 \times 500$  pixel, l'algoritmo procede col ricercare la cella “solver” posta ad una quota minore e verso la quale la pendenza è massima. Infine si abbassa il valore di quota altimetrica delle celle comprese tra la “pit” e il “solver” creando, attraverso lo scavo di questo canale fittizio, una via superficiale del deflusso verso la sezione di chiusura.
- algoritmo “antipits di riempimento”: questo algoritmo opera in modo opposto al precedente cioè identificata tra le otto celle presenti al contorno della cella pit quella con la quota altimetrica minore, procede con l'incrementare l'attributo altimetrico della zona depressa fino ad una quantità superiore ( $>0.001$  m) rispetto al valore minimo rilevato al contorno.

Attualmente AbB-ToolBox possiede solo l'algoritmo di riempimento.

### Area drenata 1 (Upslope area 1)

Attraverso la funzione “Upslope Area 1” del modulo TerrainPro si va ad individuare la superficie drenata dal reticolo idrografico relativa all'intera area analizzata. L'analisi viene effettuata su base raster, utilizzando il DTM depittato. Il modello utilizzato da AbB-Toolbox è definito unidirezionale di flusso D8; esso schematizza il movimento dell'acqua da ciascuna cella verso una delle 8 celle circostanti, utilizzando come parametro la massima pendenza tra la cella considerata e le 8 celle limitrofe. Si tratta di un tool ottimizzato per facilitare l'estrazione dello spartiacque del bacino idrografico.



### Estrazione dello spartiacque

Utilizzando la funzione Spartiacque all'interno del modulo TerrainPro e utilizzando il DEM privo di depressioni si procede all'identificazione dello spartiacque "watershed" del bacino idrografico, identificando tutte le celle contribuenti al deflusso rispetto alla sezione di chiusura scelta.

### Fase di pre-processamento 2: GeoPro

La seconda fase di pre-processamento si basa sull'utilizzo delle funzionalità messe a disposizione del modulo GeoPro.

#### Area drenata 2 (Upslope area 2)

Questa funzione, partendo dal DTM depittato e ritagliato lungo lo spartiacque del bacino, determina per ciascuna cella la direzione di deflusso, l'area contribuyente e la lunghezza dei percorsi di flusso fino alla sezione di chiusura del bacino idrografico.

L'individuazione delle direzioni di flusso per ciascun pixel può essere effettuata mediante quattro differenti modelli:

1. D8 Classic (single flow): si tratta di un modello di flusso di tipo unidirezionale basato su un algoritmo che computa la pendenza tra la cella considerata e gli otto pixel presenti al suo contorno, come il rapporto tra la differenza di quota e la distanza che separa i centri delle celle. Di conseguenza la direzione del flusso corrisponde alla direzione per la quale è associata la massima pendenza sulle 8 possibili direzioni separate a 45°.
2. D8 Facets: è un metodo "single flow" come il D8 Classic. L'azimuth di deflusso viene calcolato con le stesse modalità del  $D_{\infty}$  ma forzato ad assumere un valore multiplo di 45°.
3. Multiple Flow: si tratta di un modello di flusso multidirezionale. In questo caso per ciascuna cella l'algoritmo identifica tante direzioni di flusso quante sono le celle (tra le otto che contornano quella considerata) aventi una quota altimetrica minore, suddividendo il flusso in funzione del gradiente topografico. Questo significa che maggiore è la pendenza, associata a una determinata direzione, maggiore sarà la quantità di flusso scambiata nella direzione stessa e viceversa.
4. D Infinito ( $D_{\infty}$ ): questo modello considera le otto facce triangolari ottenute collegando i centri delle celle che appartengono a un Kernel (gruppo di celle) centrato sul pixel analizzato. I tre vertici di ogni faccia triangolare definiscono in modo univoco un piano con pendenza specifica, di conseguenza la direzione con la massima pendenza rappresenta



la direzione di flusso. Questo modello, al pari del Multiple Flow, risponde in maniera efficace alle condizioni reali del bacino; a differenza del modello multidirezionale ammette un livello di dispersione del flusso limitato. Per questi motivi il modello  $D_{\infty}$ , assieme al modello D8, è uno dei più utilizzati nelle analisi idrologiche.

Per quanto riguarda invece la definizione della superficie drenata contribuente relativa ad ogni singola cella del watershed viene effettuata in modo automatico mediante la somma progressiva, lungo le direzioni di flusso dei pixel compresi tra la cella che origina il flusso e la cella considerata.

La “Flow Distance”, o lunghezza dei percorsi di flusso, viene calcolata collegando i centri delle celle adiacenti fra loro lungo le direzioni di flusso assumendo, come unità di misura, le dimensioni dei pixel. Nei modelli multidirezionali (multiflow,  $D_{\infty}$ ) la lunghezza dei percorsi di flusso è calcolata come media pesata delle lunghezze di tutti i possibili percorsi.

#### Tempi di propagazione del deflusso

Il tempo di propagazione del deflusso è il tempo che impiega la precipitazione efficace “Pe” a giungere alla sezione di chiusura. La precipitazione efficace è quella frazione della precipitazione totale che contribuisce al deflusso diretto, dato dal deflusso superficiale e della frazione più rapida del deflusso sottosuperficiale. Per deflusso diretto si intende quella porzione di deflusso che contribuisce alla formazione della piena.

Attraverso la funzione di Routing del modulo GeoPro è possibile determinare i tempi di propagazione del deflusso diretto (routing times) lungo i versanti e nel reticolo idrografico.

Per la stima dei tempi di propagazione, sono necessari i file raster della direzione di deflusso e dell’area drenata; mentre il file raster dell’uso del suolo viene utilizzato per suddividere i percorsi di flusso su versante in tanti segmenti quante sono le regioni territoriali omogenee nell’uso e nella copertura del suolo (ciò consente di differenziare i tempi di propagazione del deflusso su versante in base al tipo di copertura o uso del suolo).

In questa fase, il software elabora il reticolo idrografico di sintesi (Drainage Network) utilizzando il metodo dell’“Area soglia”, in cui sono considerate celle del reticolo idrografico tutte le celle con Area drenata maggiore del valore soglia, mentre quelle con valore inferiore vengono considerate celle di versante. Per fissare il valore da attribuire all’area soglia, si possono utilizzare diverse metodologie, in questo lavoro si è optato per il confronto visivo con le blue lines della rete idrografica cartografata della Provincia Autonoma di Trento.

Per il bacino del rio Rì è stata utilizzata un’area di soglia, che determina il passaggio dal deflusso di versante al deflusso su reticolo, pari a  $5000 \text{ m}^2$ . Il valore di soglia è stato posto pari



al valore per cui il reticolo sintetico era in grado di descrivere completamente il reticolo idrografico ufficiale, ma che tenga anche conto dei numerosi canali ed impluvi in grado di produrre deflusso superficiale canalizzato. Si è così portato ad avere un reticolo sintetico più sviluppato di quello ufficiale.

Altri file di output di questa routine sono:

- il “Routing network” cioè la mappa raster dei tempi di propagazione del deflusso superficiale lungo il reticolo idrografico;
- il “Routing slope” cioè la mappa raster dei tempi di propagazione del deflusso lungo i versanti;
- il “Flow velocity” cioè il file raster che rappresenta la velocità di propagazione del deflusso.

Questi file saranno poi necessari nella simulazione della portata di piena.

### Gruppi idrologici e Curve Number

Per la stima della portata di piena ci sono diversi metodi, questo modello idrologico utilizza la metodologia del “CN-SCS” ovvero del Curve Number del Soil Conservation Service sviluppata dal Ministero dell’Agricoltura Americano nel 1972 e poi rivisto più volte fino, all’ultima versione corretta e modificata del 2009.

Per poter simulare l’idrogramma di piena alla sezione di chiusura è necessario calcolare il valore di precipitazione efficace “ $P_e$ ” che determina il deflusso superficiale. Il metodo CN-SCS assume che la  $P_e$  sia proporzionale alla precipitazione lorda “ $P$ ”, depurata dalle perdite iniziali “ $I_a$ ”, secondo il rapporto fra il volume specifico infiltrato “ $F$ ” e il volume specifico di saturazione del terreno “ $S$ ”:

$$P_e = (P - I_a) \frac{F}{S} \quad [5]$$

Sostituendo ad  $F$  l’espressione ottenuta dall’equazione di continuità:

$$F = P - I_a - P_e \quad [6]$$

Si ottiene:

$$P_e = \frac{(P - I_a)^2}{P - I_a + S} \quad [7]$$



Il volume specifico di saturazione  $S$  dipende dalla natura del terreno e dall'uso del suolo, globalmente rappresentati dal parametro CN (Curve Number), secondo la relazione:

$$S = S_0 \left( \frac{100}{CN} - 1 \right) \quad [8]$$

$S_0$  è un fattore di scala pari a 254 mm, ovvero 10 inches (pollici); mentre il parametro CN è compreso teoricamente fra 0 e 100 (CN=0 quando tutta la precipitazione si infiltra e CN=100 quando tutta la precipitazione si trasforma in deflusso superficiale). In realtà, dalle sperimentazioni effettuate, l'intervallo di variazione del CN è compreso fra 40 e 98, con qualche eccezione.

Il parametro  $I_a$  rappresenta un volume specifico di pioggia sottratto a priori al bilancio e descrive in modo globale diversi processi, ovvero: intercettazione da parte della vegetazione, accumulo nelle depressioni superficiali, imbibimento iniziale del terreno. Il parametro  $I_a$  può essere espresso in funzione di "S":

$$I_a = cS \quad [9]$$

$c$  è generalmente variabile da 0.1 a 0.2; per le aree in ambienti montani si assume che le perdite iniziali valgano  $I_a = 0.1S$ . Si può quindi dire che questo modello di formazione del deflusso utilizza un solo parametro "S", ovvero CN, per descrivere il processo di assorbimento.

La tendenza al deflusso superficiale è definita dalla mappa dei valori di CN del suolo, ottenuta dalla riclassificazione della carta di copertura del suolo [Tab.1] e della carta dei gruppi idrologici del suolo. I gruppi idrologici sono definiti sperimentalmente dal metodo SCS-CN suddividendo i suoli in 4 classi (A, B, C, D) in funzione della permeabilità complessiva del terreno. Il metodo SCS-CN è stato rivisto e modificato per i bacini montani da Gregoretti e Degetto (2012), che con l'introduzione di alcune tabelle, hanno facilitato l'assegnazione al corretto gruppo idrologico in base alle informazioni disponibili sulle caratteristiche geologiche del terreno [Tab.3, 4 e 5].

Il parametro CN dipende anche dalle condizioni di saturazione del suolo (AMC), esaminando l'altezza cumulata di pioggia caduta nei 5 giorni precedenti l'evento considerato e lo stato vegetativo della stagione in corso [Tab.1].



Tab. 1: Categorie AMC secondo la stagione e l'altezza di precipitazione nei 5 giorni antecedenti l'evento (mm).

AMC categoria	Altezza di precipitazione nei 5 giorni antecedenti l'evento (mm)	
	Stagione di riposo	Stagione vegetativa
AMC I	<12.7	<35.6
AMC II	12.7-27.9	35.6-53.3
AMC III	>27.9	>53.3

Le AMC sono comprese in un intervallo tra 1 (terreno asciutto) e 3 (terreno completamente saturo), considerando che la saturazione del suolo ammette una variabilità continua.

Il parametro CN è tabulato in funzione della tipologia di suolo per le condizioni normali (AMC=2). Tramite alcune semplici formule algebriche si ottiene il valore del CN corrispondente all'AMC di interesse:

$$CN(I) = \frac{CN(II)}{2.3 - 0.013CN(II)} \quad [10]$$

$$CN(III) = \frac{CN(II)}{0.43 + 0.0057CN(II)} \quad [11]$$

Operativamente, il valore del CN per il bacino del Rio Rì è stato calcolato seguendo la procedura proposta nell'ambito del progetto europeo PARAMount (Gregoretti & Degetto, 2012), che si basa sulle seguenti fasi operative:

1. costruzione della carta di uso del suolo.
2. costruzione della carta dei gruppi idrologici.
3. calcolo della mappa del CN.

#### Costruzione della carta d'uso del suolo

Inizialmente è necessario costruire una carta d'uso del suolo in formato vettoriale per l'area oggetto di studio; ad ogni tipologia d'uso del suolo viene assegnato un codice numerico, e una descrizione secondo quanto stabilito dal progetto Corine Land Cover varato dal Consiglio delle Comunità europee nel 1985 e, successivamente, aggiornato e giunto fino ad un grado di dettaglio del quinto livello. Per questo lavoro si è preferito utilizzare un livello di dettaglio pari al terzo perché ritenuto adeguato per caratterizzare idrologicamente il bacino del Rio Rì.

I tipi di uso del suolo utilizzati per la costruzione della mappa del bacino del Rio Rì sono riportati in Tab.2



Tab. 2: Codici numerici utilizzati nella costruzione della carta d'uso del suolo.

Uso del suolo	
Code	Tipo
122	Reti stradali (asfaltate)
133	Strade e piste forestali
311	Boschi di latifoglie
312	Boschi di conifere
331	Alvei
332	Rocce nude, falsie, rupi
333	Area con vegetazione rada
340	Erosione e ghiaioni

Ottenuta la carta d'uso del suolo in formato vettoriale è necessario assegnare ad ogni tipologia di uso il codice corrispondente riconosciuto dai tools del modello [Tab.2] e alla trasformazione in formato raster della mappa.

#### Costruzione della carta dei gruppi idrologici

I gruppi idrologici sono definiti sulla base della velocità di infiltrazione e trasmissione dell'acqua all'interno del suolo, che dipendono da: granulometria dei grani, dimensione dei pori, tensione superficiale, tessitura e struttura del suolo, conduttività idraulica, condizioni iniziali di saturazione (Antecedent Moisture Condition) e dalla pendenza.

Secondo il metodo SCS-CN i gruppi idrologici sono quattro:

- Gruppo A: suoli a bassa capacità di deflusso con elevata propensione all'infiltrazione anche se completamente saturi (es: sabbie e ghiaie profonde ben drenate) con notevole conducibilità idrica;
- Gruppo B: suoli con moderata infiltrazione se saturi, discretamente drenati e profondi con tessitura medio-grossolana e conducibilità idrica media;
- Gruppo C: suoli a tessitura medio-fine con bassa infiltrazione se saturi caratterizzati dalla presenza di uno strato che inibisce la percolazione verticale e con conducibilità idrica bassa;
- Gruppo D: suoli a elevata capacità di deflusso, poco profondi e ricchi di argilla con conducibilità idrica molto bassa.

Per poter costruire una carta dei gruppi idrologici è necessario disporre di diverse cartografie dell'area analizzata: mappa pedologica, geolitologica, delle caratteristiche geotecniche dei terreni, delle pendenze e degli affioramenti rocciosi. Queste mappe vengono poi sovrapposte





digitalmente (overlay) ottenendo tutte le combinazioni e le caratteristiche dello strato di suolo superficiale che viene interessato dal deflusso sottosuperficiale, successivamente con l'utilizzo delle tabelle 3, 4, 5 è possibile costruire la mappa dei gruppi idrologici.

Tab. 3: Tabella per l'identificazione del gruppo idrologico in funzione dell'infiltrazione e permeabilità.

Gruppo idrologico	Tasso di infiltrazione in condizioni sature	Tasso di infiltrazione (cm/h)	Tasso iniziale di infiltrazione potenziale (mm/h)	Tasso asintotico di infiltrazione potenziale (mm/h)	Permeabilità (cm <sup>2</sup> )
A	Molto elevato	0.762 - 1.143	250	25.4	10 <sup>-7</sup> - 10 <sup>-2</sup>
B	Moderato	0.381 - 0.762	200	12.7	10 <sup>-9</sup> - 10 <sup>-7</sup>
C	Basso	0.127 - 0.381	125	6.3	10 <sup>-11</sup> - 10 <sup>-9</sup>
D	Molto basso	0.000 - 0.127	76	2.5	10 <sup>-14</sup> - 10 <sup>-11</sup>

Tab. 4: Tabella per l'identificazione del gruppo idrologico in funzione della conducibilità idrica e profondità.

Gruppo idrologico	Tasso di conducibilità idrica	Conducibilità in condizioni di saturazione	Deflusso potenziale	Drenaggio	Profondità del suolo
A	Molto elevato	Profondità suolo > 1.0 m: 4 · 10 <sup>-5</sup>	Basso e molto basso	Buono e eccessivo	Suoli profondi
B	Moderato	Profondità suolo < 0.5 m: 1 - 10 <sup>-5</sup> - 4 · 10 <sup>-5</sup>	Moderatamente basso	Moderato	Suoli a moderata profondità
		Profondità suolo > 0.5 m: 4 - 10 <sup>-7</sup> - 1 · 10 <sup>-5</sup>			
C	Basso	Profondità suolo < 0.5 m: 1 - 10 <sup>-6</sup> - 1 · 10 <sup>-6</sup>	Moderatamente alto	Cattivo	Suoli superficiali o suoli profondi con uno strato impermeabile
		Profondità suolo > 0.5 m: 4 - 10 <sup>-7</sup> - 1 · 10 <sup>-6</sup>			
D	Molto basso	Profondità suolo < 1.0 m: < 1 · 10 <sup>-6</sup>	Alto e molto alto	Molto cattivo	Suoli superficiali o suoli profondi con uno strato impermeabile superficiale
		Profondità suolo > 1.0 m: < 4 · 10 <sup>-7</sup>			



Tab. 5: Tabella per l'identificazione del gruppo idrologico in funzione della tessitura.

Gruppo idrologico	Tessitura 1	Tessitura 2	Indicazioni geo-litologiche
<b>A</b>	Ghiaie e sabbie (>90%)	Suoli ghiaiosi, sabbiosi-ghiaiosi e sabbiosi. Possono ricadere in questa categoria: limo argilloso, sabbia argillosa, terra grassa con buona struttura o con scheletro >35%	Rocce altamente fratturate, detriti e ciottoli su pendenze moderate, tifi inconsistenti, sabbia, gesso, cenere, calcare non compatto, rocce frammentate più o meno cementate.
	Limo e argilla (<10%)		
	Tessitura: medio-grossolana con scheletro		
<b>B</b>	Ghiaie e sabbie (50-90%)	Suoli sabbiosi e argillosi. Possono ricadere in questa categoria: terre grasse limo argilloso, limo, suoli sabbiosi e argillosi con buona struttura o con scheletro >35%	Rocce piuttosto frammentate, depositi glaciali su pendenze ridotte, conglomerati, sabbie cementate e breccie.
	Limo e argilla (10-20%)		
	Tessitura: medio-grossolana		
<b>C</b>	Sabbie (<50%)	Terre grasse, suoli limosi e argillosi, sabbiosi e argillosi, argillosi con basso contenuto organico. Possono inoltre rientrare: suoli sabbiosi e argillosi, limosi e argillosi argille con buona struttura o con scheletro >35%	Rocce fratturate, rocce sedimentarie compatte, marne, arenaria, pomice, detriti e ciottoli su forti pendenze, calcare dolomitico compatto.
	Limo (>10%)		
	Argilla e colloidali (20-40%)		
	Tessitura: medio-fina		
<b>D</b>	Sabbie (<50%)	Suoli argillosi e limoso argillosi. Sono suoli argilloso rigonfiabili. Ricadono in questa categoria tutti i suoli con strato superficiale impermeabile (profondità <0.5m) o quelli con elevato e permanente strato d'acqua (prof. <0.6m). Affioramenti rocciosi, ghiaione con relativo strato su strato impermeabile sottile a forte pendenza	Rocce leggermente fratturate, rocce ignee, scisti, rocce metamorfiche, micascisti, quarziti, scisti e filladi.
	Limo (<10%)		
	Argilla strutturata e omogenea (>40%)		
	Tessitura: fina		



### Definizione del Curve Number

Il valore del CN è ottenuto per riclassificazione della mappa ottenuta dalla sovrapposizione (overlay) della mappa di uso del suolo e dei gruppi idrologici.

Il tool è presente in AdB-ToolBox usando la routine “curve number” presente in “HydroModel”. La tabella di riclassificazione che assegna ad ogni combinazione un valore di CN è quella realizzata per l’ambito alpino nel progetto PARAmount (Gregoretto e Degetto, 2012) riferita ad una condizione di saturazione iniziale AMC (Antecedent Moisture Condition) normale (AMC-II). Questo valore potrà, se necessario, essere automaticamente convertito ad una condizione di saturazione iniziale secca (AMC-I) oppure umida (AMC-III) in funzione dell’altezza di precipitazione caduta nei cinque giorni precedenti l’evento considerato.

### Idrogramma di piena

Il raster del Curve Number è necessario per stimare il valore della precipitazione efficace, la quale serve per effettuare le simulazioni degli idrogrammi di piena degli eventi considerati. Infatti, a seconda del differente valore di CN, ci sarà una diversa risposta di pioggia efficace.

Il software calcola per ogni pixel la  $P_e$ , calcola la sua direzione di propagazione lungo il reticolo idrografico o lungo il versante, fino alla sezione di chiusura, seguendo la linea di massima pendenza esistente tra la cella di riferimento e le otto celle circostanti, determinata dal DTM depittato.

Ciascuna cella andrà ad alimentare l’idrogramma alla sezione di chiusura secondo il proprio tempo di contribuzione, ovvero il tempo necessario alla  $P_e$  di una determinata cella per arrivare alla sezione di chiusura. I valori di velocità di propagazione su versante sono in funzione dell’uso e copertura del suolo mentre, la velocità di propagazione nella rete di drenaggio è assunta uguale alla velocità media massima raggiunta alla sezione di chiusura (valore al picco del deflusso simulato/area della sezione idraulica).

La funzione dell’HydroModel di AdB-ToolBox che consente alla definizione dell’idrogramma di piena è la funzione “Idrogramma”.

Per la simulazione sono necessari i seguenti file raster di input:

- Mappa raster dei tempi di propagazione del deflusso superficiale su versante.
- Mappa raster dei tempi di propagazione del deflusso superficiale lungo il reticolo idrografico.
- Mappa raster del valore del Curve Number.



Il tool del modello idrologico richiede i dati della pioggia che possono essere forniti con varie modalità:

- parametri di probabilità pluviometrica ottenuti dall'analisi storica dei dati di pioggia:
  - dati distribuiti su mappe raster da metodologie: GEV, Gumbel e TCEV
  - parametri "a" ed "n" ottenuti dalle Linee Segnalatrici di Probabilità Pluviometrica (LSPP);
  - selezione del tempo di ritorno dell'evento da simulare;
- curve di soglia di precipitazione oltre la quale si verifica l'innescio di colate detritiche (selezione tra una serie di curve già implementate nel modello);
- file di precipitazione di un evento registrato.

Nel caso del rio Rì sono stati utilizzati file di pioggia ottenuti dalla compensazione (metodo dei topoieti o dei poligoni di Thiessen) e ragguaglio dei dati pluviometrici registrati dalle varie stazioni pluviometriche (Centa S. Nicolò, Levico e Lavarone).

Per completare la fase di input dei parametri del modello idrologico è necessario eseguire il settaggio dei parametri avanzati relativi all'idrogramma di piena. Nel nostro caso, utilizzando file di pioggia reali già predisposti rimangono da definire i seguenti parametri:

- la portata iniziale,  $Q_0$  ( $m^3/s$ ), che può essere definita dall'utente oppure viene automaticamente posta pari al 5 % dell'area del bacino dal software.
- la costante di esaurimento dell'idrogramma di piena ( $s^{-1}$ ), che fa riferimento ad un serbatoio lineare in cui la costante di esaurimento è generalmente un valore compreso tra 6.0 e 12.0.
- il parametro PFSF-CDS, che è un fattore di riduzione della precipitazione massima per la ricerca del tempo critico. Questo parametro regola la ricerca della durata della precipitazione critica che viene posta uguale alla percentuale dell'area del bacino che contribuisce al deflusso alla sezione di chiusura.
- le perdite iniziali per infiltrazione. Il programma imposta un valore di default delle perdite iniziali pari al 10 %, va però ricordato che recenti studi (Hawkins et al., 2009) indicano per l'ambiente montano un valore più probabile del 5%.
- la velocità massima di versante ( $m/s$ ).
- le caratteristiche geometriche della sezione di chiusura del bacino (comando OC - Outlet Characteristics): la velocità media di reticolo ( $m/s$ ), la pendenza del fondo alveo ( $^\circ$ ), la larghezza al fondo dell'alveo ( $m$ ), la scarpa della sponda destra e sinistra, la scabrezza secondo Gauckler-Strickler ( $m^{1/3}/s$ ).



Gli output generati dal programma a seguito del run modellistico sono:

- Un report dell'idrogramma in pdf.
- Una tabella dati con grafici in xls.
- Un file comandi.
- Un file testo con tutti i dati della simulazione.
- Un file con la velocità media di reticolo ottenuta dall'elaborazione.
- Un file con i valori di CN apparente utilizzati per il bacino.

## 4. L'area di studio: Il bacino del Rio Rì

### 4.1 Inquadramento geografico

L'area oggetto di studio è il bacino idrografico del Rio Rì o rio Val dei Làresi, sottobacino di destra idrografica del torrente Centa, principale corso d'acqua del Comune di Caldonazzo.

Caldonazzo è un comune dell'Alta Valsugana, in Provincia di Trento [Fig.1]; esso è situato a circa 500 m di quota, e si trova a 22 km da Trento e 110 km da Padova.

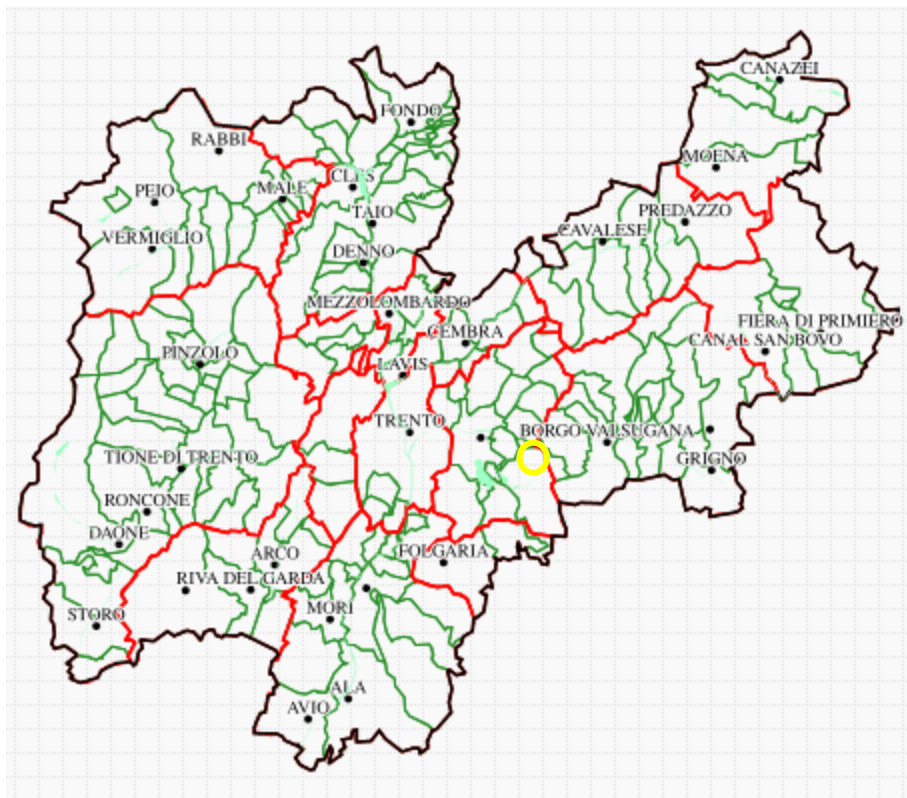


Fig. 1 Inquadramento geografico dell'area di studio.

L'abitato di Caldonazzo, costruito sulla piana alluvionale del torrente Centa, sorge all'estremità meridionale dell'omonimo lago ed è circondato dai colli di Brenta, dal monte delle Rive (dietro il quale spunta il Becco di Filadonna), dal monte Cimone, dal Pizzo di Levico, dal Mandriolo. I confini di Caldonazzo sono vasti anche se l'entroterra è chiuso ben presto dai monti che scendono a ridosso del paese. Il limite territoriale scende dal ciglione della collina di Brenta fino alla località Costa, circa all'altezza del cavalcavia stradale, va a toccare le Lochere e sale la val Scura fino all'albergo Monterovere; ridiscende sfiorando la località Laghetto, sale verso lo spigolo del Monte Cimone e piega in giù lungo la Val Carretta toccando il vecchio mulino



Gotto, sul fondo della val del Centa; sale ancora una volta verso i Campregheri e va a finire sul Lago dopo aver attraversato il monte delle Rive.

Il paese è adagiato nella piana alluvionale del torrente Centa, all'estremità meridionale del lago. Una campagna squadrata con ampi frutteti fa corona al paese, anche se è evidente un'espansione edilizia fiorita di pari passo con lo sviluppo dell'attività balneare. Fra il lago e la campagna, rotta dalla panoramica della Valsugana e dalla ferrovia che lascia l'abitato a distanza, la zona residenziale di Caldonazzo ha trovato infatti una recente evoluzione, tanto da saldare quasi il paese al litorale.

Il bacino idrografico del rio Rì o Val dei Làresi [Fig. 2] è un sottobacino del torrente Centa che è caratterizzato da un'elevata complessità geomorfologica e idrogeologica che determinano numerose problematiche di difesa del suolo.

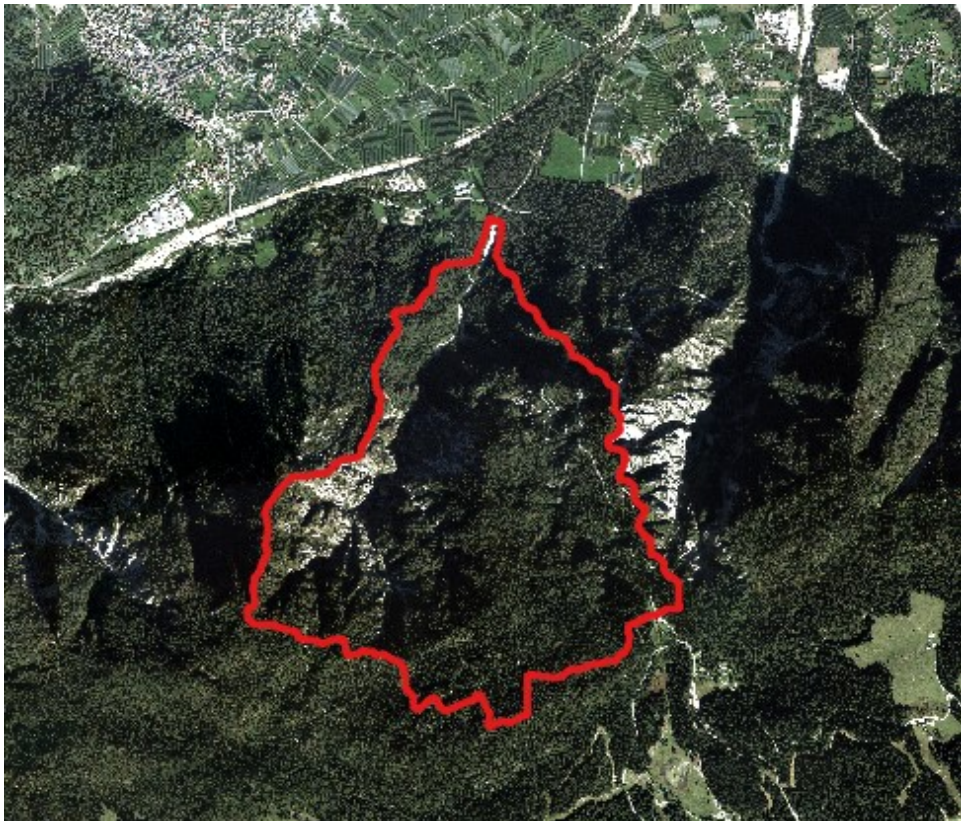


Fig. 2: Bacino del Rio Rì.



## 4.2 Caratteristiche climatiche

Il clima che caratterizza il bacino del rio Rì appartiene al tipo pre-alpino, a regime equinoziale, con due massimi equivalenti e un massimo invernale; la notevole vicinanza al Lago di Caldonazzo rende, tuttavia, più miti le temperature invernali. Il tipo di regime pluviometrico si uniforma a quello classico delle Alpi Orientali, caratterizzato da forte umidità atmosferica con massima piovosità estivo-autunnale e minima invernale.

Bisogna sottolineare che il territorio oggetto di studio si estende da una quota minima di circa 500 m s.l.m. a quote che raggiungono i 1500 – 2000 m s.l.m., quindi anche il clima è leggermente diversificato in base alla quota e all'esposizione prevalente. Questa condizione è ben rappresentata dai dati delle diverse stazioni pluviografiche prese in considerazione (dal sito meteotrentino): Levico (m 502 s.l.m.), Centa San Nicolò (m 805 s.l.m.) e Lavarone (m 1155 s.l.m.), i quali mostrano come le temperature medie decrescono salendo di quota, mentre le precipitazioni aumentano [Fig.3].

Le zone poco esposte al sole, come il bacino in esame, sono generalmente caratterizzate dalla presenza del manto nevoso, in inverni normali, da novembre/dicembre a febbraio/marzo.



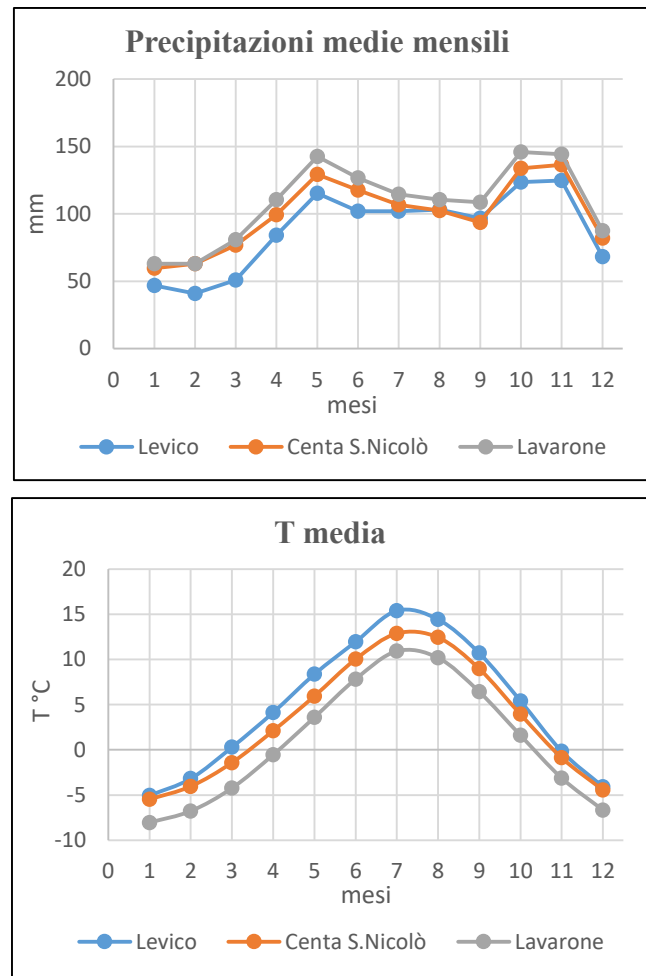


Fig. 3 Valori delle precipitazioni e delle temperature registrate dalle stazioni di riferimento per lo studio.

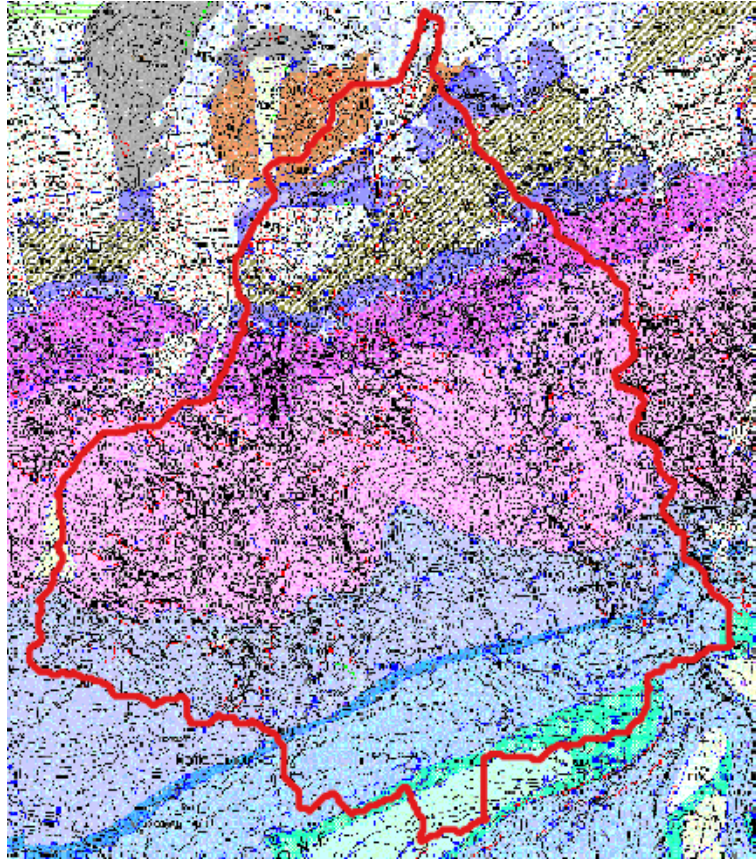
### 4.3 Caratteristiche geolitologiche e stratigrafiche

La valle del rio Rì (o Rio Val dei Laresi) presenta una geo-litologia abbastanza articolata a testimonianza delle complesse vicende geo-morfologiche che hanno interessato la zona. All'interno del bacino, si possono individuare delle aree che presentano delle caratteristiche geologiche differenti: si va dalle rocce prevalentemente sedimentarie essenzialmente calcareo-dolomitiche, presenti in grandi quantità e che rappresentano la principale fonte di sedimento, della testata del bacino e del versante destro, a quelle metamorfiche filladiche, con diffusi fenomeni di instabilità dei versanti, del versante sinistro (Grisotto, 2004).

La profonda incisione che caratterizza il rio Rì è uno dei risultati dei lunghi processi erosivi che hanno interessato l'intero bacino del Centa e che sono rappresentati dai marcati terrazzi che, dalle fasce più elevate scendono a quelle minori.



Il bacino è interessato da differenti faglie che, a causa di numerosi disturbi tettonici, hanno determinato diversi piani di fratturazione. Ciò ha contribuito ad incrementare i fenomeni erosivi e, conseguentemente, i processi di trasporto solido (Grisotto, 2004).



*Fig. 4: Estratto della Carta geologica.*

Analizzando la carta geologica in Fig.4, si possono identificare aree con differenti caratteristiche. La parte terminale del bacino, nei pressi della sezione di chiusura, è segnata come conoide di debris flow, appartenente al “Sistema postglaciale alpino” PTG; anche altre aree più a monte sono riconducibili a Depositi quaternari di versante e di debris flow. Ciò indica la tendenza al trasporto solido del torrente in esame.

Il substrato presente è quello tipico delle Alpi Meridionali – Successione sedimentaria e vulcanica dal Permiano al Terziario. In particolare, salendo verso monte si possono trovare formazioni riconducibili al “Gruppo dei Calcari grigi”:

BEL “Formazione a Bellerophon”

WER4 “Formazione di Werfen – Membro di Siusi”

WER5 “Formazione di Werfen- Oolite a gasteropodi”



SLI “Dolomia del Serla inferiore”

GIV 3 “Formazione di Giovo - membro del Monte Ozol”

CSM “Calcari scuri di Margon”

MTB “Marne della val di Centa”

BUC “Formazione di Buchenstein”

TVZ “Formazione di Travenanzes”

DPR “Dolomia Principale”

FMZ “Formazione di Monte Zugna”

La parte del bacino che si trova sull’Altopiano di Lavarone invece è caratterizzata da:

LOP “Calcare Oolitico di Loppio”

RTZ “Formazione di Rotzo”

Inoltre, presenta anche formazioni riconducibili al Basalto della Val Lagarina:

OVS “Oolite di S.Vigilio”

ARV “Rosso Ammonitico Veronese”

#### **4.4 Caratteristiche idrologiche, idrogeologiche e morfologiche**

Nel Piano Generale di Utilizzazione delle Acqua Pubbliche (PGUAP) della Provincia Autonoma di Trento, si sottolinea come l’intero bacino del rio Rì sia drenato da un reticolo sotterraneo, più o meno collegato alla rete principale, a causa delle numerose fessurazioni delle rocce e dei fenomeni di carsismo. Le acque scorrono in superficie solo durante gli eventi di piena oppure per brevi periodi dopo copiose piogge.

Nonostante i lunghi periodi di totale prosciugamento degli alvei, la presenza di serbatoi carsici consente di alimentare costantemente le prese dell’acquedotto, collocati poco a monte della grande briglia con finestre sul rio Rì.

Il carattere effimero dei canali, quindi, è dovuto essenzialmente alla composizione geolitologica di superficie che si satura con una certa rapidità durante gli eventi di pioggia, rendendo instabile idrogeologicamente tutta l’area.

Sulla base della geologia e di quanto riportato dal dott. Giovannini nel Piano di bacino del torrente Centa del 1989, da un punto di vista idrogeologico il bacino del rio Rì può essere diviso in unità idrogeologiche differenti per caratteristiche e composizione geo-litologica.

La permeabilità della composizione geo-litologica è rappresentata in Fig.5.

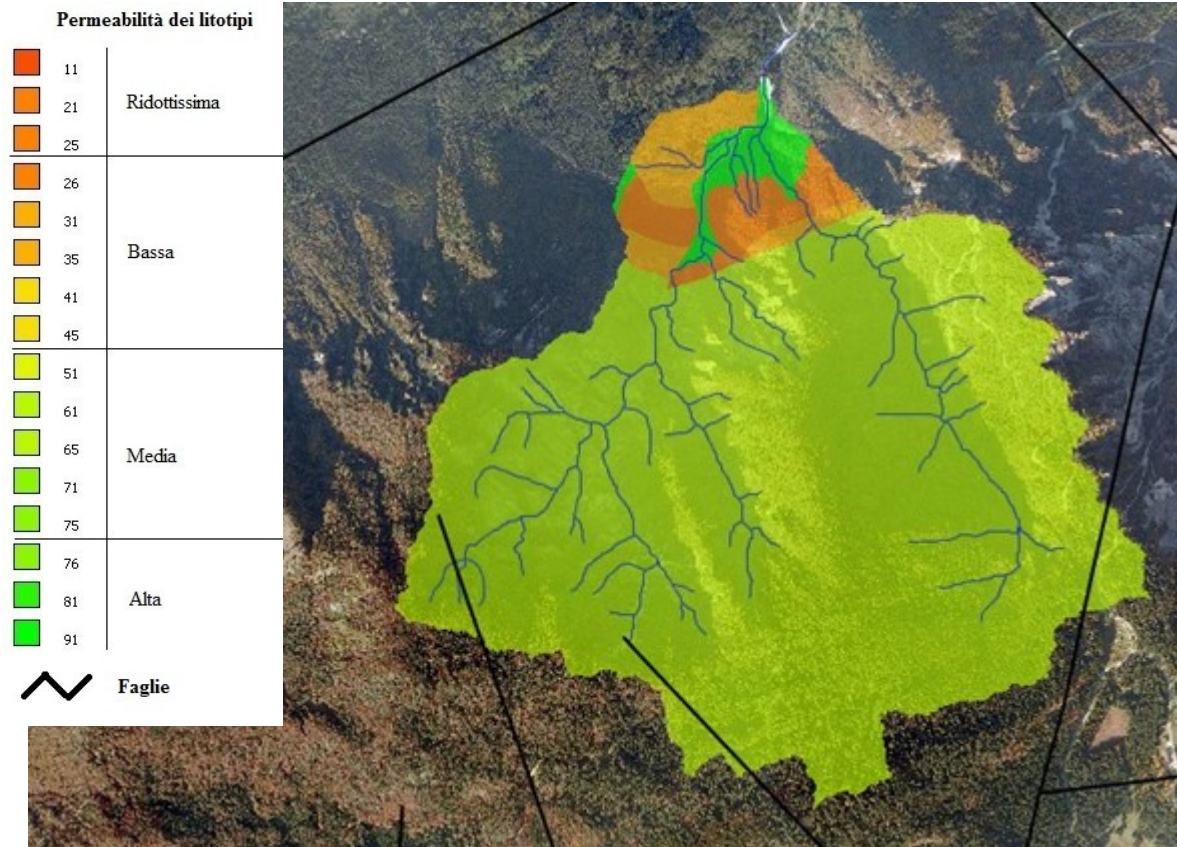


Fig. 5: Carta della Permeabilità del bacino del Rio Rì (fonte: Alberti R.).

Il bacino si estende per 3.01 Km<sup>2</sup> ed è mediamente drenato, i rami principali sono due. Il ramo in destra idrografica si sviluppa in un'area relativamente poco estesa del bacino, è caratterizzato da un basso grado di ramificazione; il suolo è ricoperto da vegetazione ed è apparentemente stabile. L'altro ramo si estende su una superficie più ampia, ha molti affluenti a loro volta ramificati; l'area è caratterizzata da rocce nude, scarsa vegetazione e diffusi dissesti e depositi detritici.

Il corso d'acqua del rio Rì presenta un regime torrentizio tipico dei piccoli bacini montani: le portate sono essenzialmente continue anche se, in corrispondenza degli spessi depositi di sedimento, possono scorrere per via sottosuperficiale per diversi mesi all'anno. Le caratteristiche geologiche, morfologiche e idrogeologiche del bacino fanno in modo che, in caso di eventi piovosi di breve durata ed elevata intensità (flash floods), il torrente diventi particolarmente impetuoso in poco tempo.

La forza della corrente derivante da questi eventi estremi, sommata all'elevata erodibilità del substrato, ai dissesti presenti nel bacino, all'elevata disponibilità di sedimento in alveo e ai versanti molto acclivi e instabili, consente al rio Rì di trasportare a valle grandi quantitativi di

materiale solido e di detrito legnoso. A protezione della zona a valle del bacino e della strada provinciale, è stata quindi posta una briglia filtrante [Foto 1].



Foto 1: Briglia filtrante n°6 posta a protezione della zona a valle.

#### 4.5 Caratteristiche vegetazionali

La vegetazione presente nel bacino idrografico influisce notevolmente sulla quantità di acqua che arriva ai collettori: in base a tipologia, struttura e densità delle piante vi sono differenti tempi di risposta del bacino alle sollecitazioni meteoriche.

Le informazioni relative alle caratteristiche vegetazionali sono state ottenute inizialmente dalla consultazione del Piano di Assestamento Forestale del Comune di Caldonazzo (2013). In seguito, queste informazioni, sono state confrontate con quelle di dettaglio della vegetazione presente nel bacino del Rio Rì, ottenute consultando l'analisi vegetazionale effettuata da Alberti R. nella tesi di laurea "Modellazione idrologica e trasporto del legname nei torrenti rio Val Scura e rio Rì in Provincia di Trento" (2012).

Il Piano riporta che, sulla base dei dati di superficie riportati dal Catasto, la superficie complessiva di proprietà esclusiva del comune di Caldonazzo è pari ad 756,35 ha tutta compresa nel territorio comunale di Caldonazzo. Nella pianificazione forestale sono stati considerati



712,64 ha; i rimanenti 43,71 ha sono stati esclusi, in quanto rappresentati da superfici minori, come strade, prati, zone edificiali, fabbricati ecc.

La distribuzione sull'intera superficie di bosco delle varie specie forestali è riportata in Fig.6.

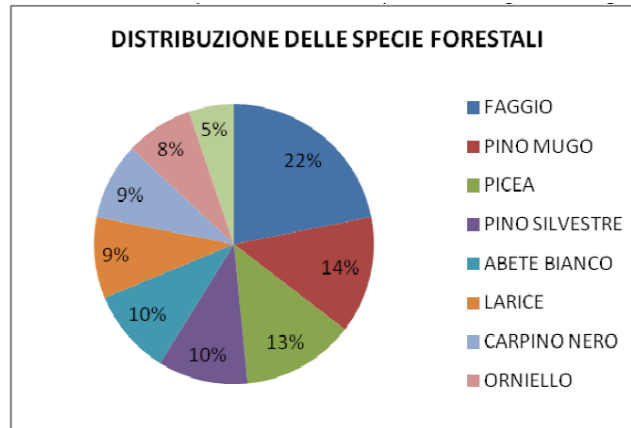


Fig. 6 Distribuzione delle specie forestali nel Comune di Caldonazzo (Piano di Assestamento forestale)

Le formazioni forestali di Caldonazzo assommano ad oltre 20 tipi forestali, sinonimo questo della forte variabilità vegetazionale data dai fattori geomorfologici (altimetria, orografia, esposizioni, effetti antropici passati).

Infatti, in base alla classificazione dei Tipi Forestali del Trentino sono presenti le seguenti categorie:

- Orno-ostrieto primitivo: ha 48,42
- Ornio-ostrieto tipico: ha 49,63
- Ostrio querceto: ha 10,76
- Querco-carpineto: ha 8,30
- Aceri-tiglieto: ha 7,66 ha
- Aceri frassineto: ha 3,03
- Castagneto-robinieto: ha 2,00
- Pineta xerica endalpica: ha 9,76
- Pineta con orniello: ha 19,74
- Pineta tipica con abete rosso: ha 14,74
- Pineta con faggio e specie nobili: ha 33,12
- Pineta di pino nero: ha 39,27
- Faggeta con carpino nero: ha 59,26
- Faggeta mesalpica con conifere: ha 83,90
- Abieteto dei suoli fertili: ha 2,99



- Abieteteto calcicolo con faggio: ha 126,02
- Pecceta secondaria o sostitutiva: ha 35,75
- Lariceto secondario sostitutivo: ha 6,53
- Mugheta a erica: ha 13,97
- Mugheta a rododendri: ha 79,22

La fascia basale pedemontana è caratterizzata da formazioni abbastanza omogenee di pino nero e pino silvestre con larice e abete rosso (questi ultimi anche per discesa naturale dei cingoli superiori), accompagnate da un sottobosco ceduo ed arbustivo mesofilo (faggio, carpino, orniello, nocciolo, sorbo montano), povero delle specie più esigenti (tiglio, ontano, acero montano) e caratterizzato dalla presenza del castagno per lo più allo stato ceduo.

Nelle fasce inferiori si sviluppano formazioni a più elevato grado di mescolanza, in cui il larice ed abete rosso si alternano al pino silvestre e al pino nero (quest'ultimo di origine antropica, introdotto in seguito ad estesi rimboschimenti effettuati fra le due guerre mondiali) e vengono integrati da latifoglie mesofile cedue o già avviate a fustaia: faggio, carpino, betulla e pioppo, sorbo degli uccellatori.

Al di sopra dei 700-800 m di quota si trovano formazioni caratterizzate dall'integrazione tra larice, pino silvestre e abete rosso, e latifoglie mesofile, fascia ascrivibile al cingolo Q.T.A. (Quercus-Tilia-Acer). A causa della rocciosità dei versanti e della primitività dei suoli la varietà delle specie è ristretta alle più plastiche e meno esigenti (come carpino, faggio, pioppo e betulla, con limitata presenza di acero, maggiociondolo ecc.).

I settori altimetrici superiori ospitano abetine miste, a volte con larice e sporadico pino silvestre, inquadrabili nel Fagus-Abies e caratterizzate dalla presenza di faggio, sorbo degli uccellatori e acero montano. Sempre verso la parte alta del bacino sono presenti anche pascoli e prati destinati alla produzione di foraggio. In alcune zone si giunge fino alle mughete che delimitano la vegetazione ad alto fusto.

Gli orno-ostrieti, nelle diverse declinazioni, sono diffusi nelle zone di protezione e marginalmente interessati nel passato dalla forma di governo del ceduo, sono le formazioni più povere dal punto di vista produttivo ma per contro hanno una elevata stabilità bioecologica. Alle quote inferiori o nelle esposizioni più asciutte la componente quercina entra nei consorzi assicurando una ulteriore fonte di biodiversità. Dove la fertilità aumenta, in presenza di maggior umidità, l'acero e il tiglio caratterizzano fortemente la fisionomia di formazioni forestali un tempo fortemente rappresentate nel fondovalle ed ora regresse a causa dell'uso del suolo ai fini principalmente agricoli.



La pineta pura di pino silvestre, accanto alla presenza quasi costante del larice, testimonia di uno stadio regresso del bosco causato dallo sfruttamento intensivo del passato (pascolo e legna da ardere). Tali formazioni si stanno evolvendo con il progressivo ingresso delle latifoglie, in particolare orniello e faggio nelle zone più fresche. A tratti si assiste anche a forme di regressione con specie invasive quali il nocciolo e la robinia. Lasciando da parte le pinete di pino nero, la cui evoluzione deve essere guidata dagli interventi selvicolturali di sostituzione, la faggeta con varia mescolanza con le altre latifoglie, nel tempo, anche grazie alla scomparsa della forma di governo del ceduo e con la progressiva regressione dell'abete rosso e del pino silvestre, potrà assumere una sempre maggior rilevanza. L'abietetto degli altipiani a varia mescolanza con il faggio mostra già oggi un suo equilibrio naturale ed una forma evolutiva che combacia con le formazioni naturali. Infine, tipologie reali e stabili sono le mughete nelle varie forme, che scendono anche a quote basse rivestendo una netta funzione protettiva.

La forte escursione altimetrica accompagnata da situazioni orografiche assai movimentate, produce una grande varietà di situazioni microclimatiche diverse che assieme alle influenze antropiche passate rendono l'analisi delle tipologie forestali di Caldonazzo assai interessante.

L'altimetria fissa parametri naturali che vedono la prevalenza degli ornio-ostrieti alle quote basse del versante, tuttavia l'esposizione meridionale consente la risalita di queste formazioni sui terreni ripidi e assolati posti a quota maggiore. Il risultato è la progressiva colonizzazione delle rupi boscate e degli ampi sfasciumi detritici da parte delle latifoglie termofile che però convivono con specie del sottobosco proprie delle quote superiori come il rododendro e il pino mugo che qui trovano un habitat favorevole grazie alla discesa delle correnti fredde agevolate dai fenomeni di inversione termica, osservabili prevalentemente lungo le vallecole incassate.

Alle quote basali si trovano anche elementi mesalpici quali il castagno e nuclei di pioppo con acero e qualche tiglio. Nelle zone più asciutte, fortemente interessate da prelievi per legna da ardere nel passato la ricostruzione del bosco non è ripartita dalle formazioni tipiche dell'ornioostrieto ma dagli impianti di pino nero, oggi presenti in situazioni di media età, anche se con sviluppo diverso a seconda delle condizioni di fertilità della stazione.

Nelle situazioni ove al contrario non si è intervenuti artificialmente, il pino silvestre ha ed avrà anche nel futuro una sua funzione pioniera di copertura del terreno tuttavia, in presenza di minor aridità già oggi mostra un progressivo passaggio verso formazioni miste a latifoglie mesofile. Ciò avviene in parte anche sotto la copertura del pino nero, anche se di frequente l'apertura con i prelievi porta ad una rapida copertura con specie invasive, prima fra tutte il nocciolo, che vanno a contrastare lo sviluppo dell'orniello e del carpino.



Al salire della quota, non in maniera uniforme ma a seconda delle condizioni stazionali, compaiono progressivamente le specie del fagitalia.

Il faggio associato all'abete rosso riesce in talune situazioni, per esempio nelle vallecole umide, riesce a scendere dalla zona degli altipiani, costituendo popolamenti che erano un tempo governati a ceduo e che oggi, a seguito in interventi di conversione attuati eliminando progressivamente anche il pino silvestre, sono in fase di giovane fustaia.

Infine la zona degli altipiani è dominio degli abieteti calcicoli tipici con faggio quasi sempre presente, ma subordinato, a fertilità minore nella fascia prossima ai bordi degradanti verso la Valsugana su terreni a profilo più contenuto, e a fertilità decisamente maggiore nella zona propria degli altipiani, dove una maggior profondità e freschezza del suolo data dalla favorevole morfologia del terreno caratterizza la stazione.

In conclusione l'inventario dei boschi di Caldonazzo ha rilevato una forte varietà vegetazionale, che presenta dinamiche evolutive assai differenti da zona a zona, in parte guidate dagli interventi selvicolturali, in parte lasciate alla libera evoluzione naturale.

All'interno della proprietà forestale del comune di Caldonazzo si possono riconoscere le seguenti tipologie forestali con le loro relazioni dinamico-ecologiche messe in luce dal confronto tra le categorie reali e le potenziali.

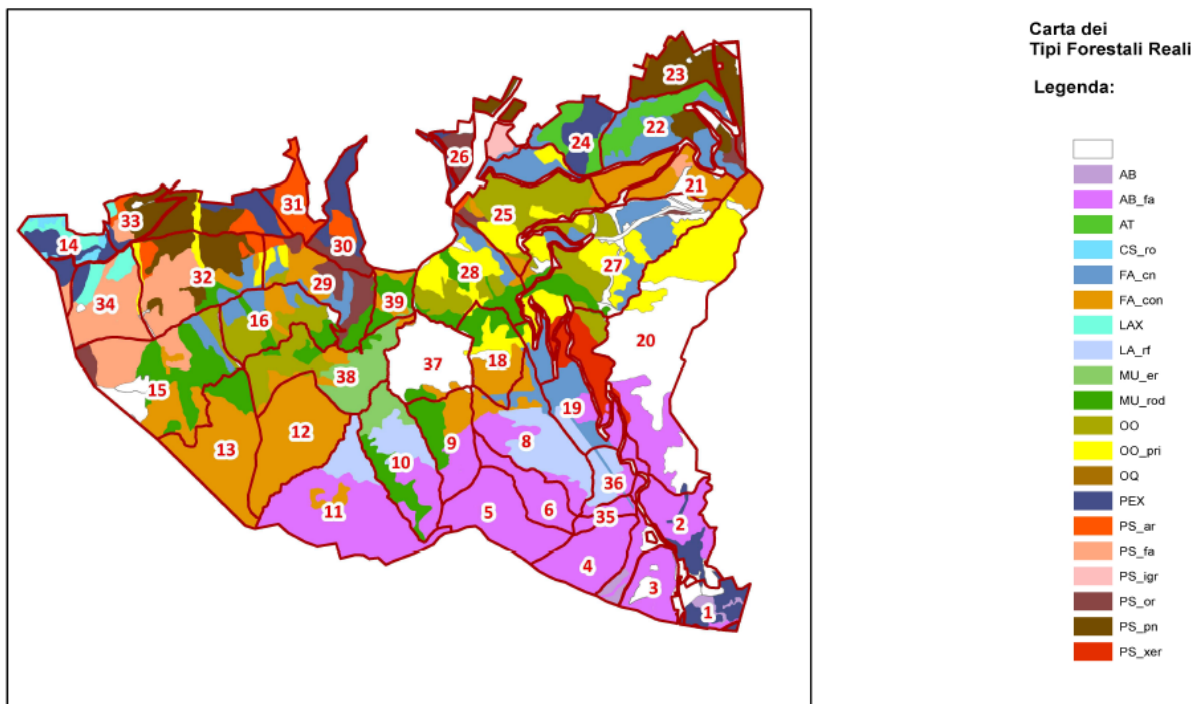


Fig. 7 Carta dei Tipi Forestali Reali del Comune di Caldonazzo (Piano di assestamento forestale).



Il bacino del Rio Rì ricade nelle particelle forestali n. 4, 6, 8, 18, 19, 28, 36, 39 parzialmente nelle n. 5, 9, 27 e 37 [Fig.7].

Dalla Carta d'uso del suolo del bacino del Rio Rì elaborata con AdB-Toolbox [Fig.8], si possono stimare le percentuali di uso del suolo delle diverse classi [Tab.6].

Tab. 6: Percentuali delle varie classi di uso del suolo presenti nel Rio Rì.

Uso del suolo			
Code	Tipo	Area (Km <sup>2</sup> )	%
122	Reti stradali (asfaltate)	0.024	0.8
133	Strade e piste forestali	0.019	0.64
311	Boschi di latifoglie	1.295	43.1
312	Boschi di conifere	1.08	35.94
331	Alvei	0.019	0.65
332	Rocce nude, falesie, rupi	0.005	0.16
333	Area con vegetazione rada	0.224	7.45
340	Erosione e ghiaioni	0.338	11.26
	Totale	3.004	100

L'analisi della copertura del suolo per il bacino del rio Rì è stata effettuata mediante la redazione ex-novo della carta di uso del suolo da fotointerpretazione (ortofoto 2008) con l'utilizzo del software ArcGIS 9.3, ad opera del dott. Alberti (2012), in modo da avere un grado di dettaglio maggiore. Ad ogni tipologia d'uso è stato assegnato un codice numerico e una descrizione secondo quanto stabilito dal progetto Corine Land Cover varato dal Consiglio delle Comunità europee nel 1985 e, successivamente, aggiornato e giunto fino ad un grado di dettaglio del quarto livello. Nel caso in questione, però, si è preferito utilizzare un livello di dettaglio pari al terzo perché ritenuto adeguato per caratterizzare idrologicamente il bacino del rio Rì.

Il bacino del rio Rì presenta le caratteristiche tipiche dei piccoli bacini di media montagna in cui prevalgono tre tipologie di uso del suolo: bosco (di conifere e latifoglie), erosioni e ghiaioni ed aree a vegetazione rada o di rupe.

Il comune di Caldonazzo, come molti altri nel territorio provinciale, è stato caratterizzato a partire dalla fine del 1800, dall'abbandono progressivo delle frazioni e delle baite di montagna. Questa migrazione verso il fondovalle e le zone urbane ha fatto sì che anche il territorio venisse abbandonato, favorendo l'avanzamento di vegetazione arbustiva spontanea, formata da piante di scarso pregio economico e da una minore efficacia nella protezione del suolo dai dissesti idrogeologici.

La parte intermedia del bacino è caratterizzata da vaste zone nude [Fig.8], interessate da attività erosiva e da accumuli detritici, si tratta delle zone a maggiore variabilità morfologica, a maggiore pendenza e a maggiore instabilità.

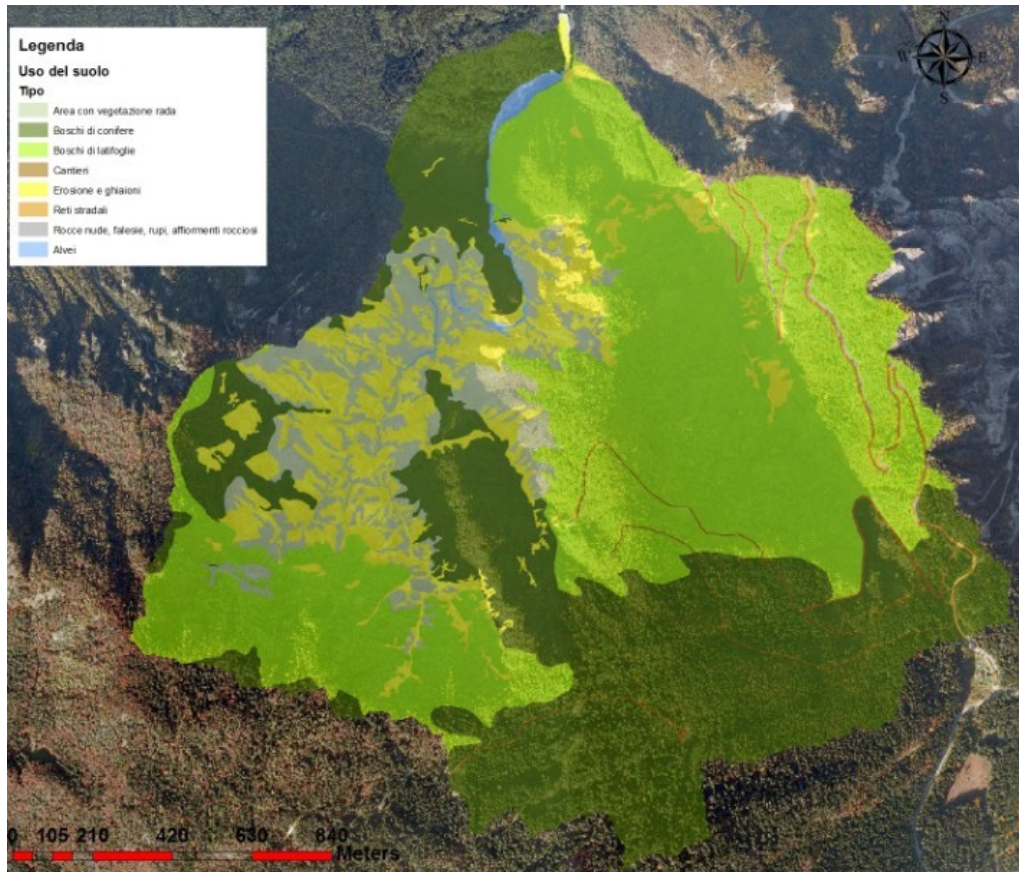


Fig. 8: Carta d'uso del suolo del bacino del Rio Rì (fonte: Alberti R.)



## 4.6 Analisi morfometrica del bacino

L'analisi morfometrica del bacino del rio Rì è stata eseguita mediante il software GIS Adb-ToolBox, il quale partendo da un modello digitale del terreno è in grado di fornire parametri morfometrici. Il DTM utilizzato è stato preso dal sito della Provincia Autonoma di Trento ([https://siatservices.provincia.tn.it/stemdata/2014\\_lidar\\_dtm\\_asc/](https://siatservices.provincia.tn.it/stemdata/2014_lidar_dtm_asc/)).

I principali parametri ottenuti sono riportati in Tab.7:

Tab. 7: Parametri morfometrici Rio Rì

Parametri morfometrici Rio Rì		
Area 2D	3.01 Km <sup>2</sup>	
Area3D	4.32 Km <sup>2</sup>	
Quota minima bacino (sezione di chiusura):	528.2 m s.l.m.	
Quota media bacino	1130.8 m s.l.m.	
Quota massima bacino	1526.8 m s.l.m.	
Pendenza media bacino	93.20% (43°)	
Pendenza massima	(90°)	
Lunghezza collettore principale alla sorgente	2725 m	
Lunghezza complessiva dei collettori	15394 m	
Pendenza media collettore principale	31.6% (17.5°)	
Densità di drenaggio del bacino	5.11 Km/Km <sup>2</sup>	mediamente drenato
Indice di compattezza di Gravelius F1	1.86	forma bislunga
Indice evoluzione geo-morfologica F2	1.62	giovanile
Indice di compattezza del bacino	1.82	bacino allungato, falsamente compatto
Indice di sinuosità del collettore principale	1.57	notevole

Dall'analisi della curva ipsometrica dimensionale [Fig.9] e adimensionale [Fig. 10] e degli indici del bacino si può ricavare che il bacino del rio Rì è caratterizzato da una curva "normale" tipica dei bacini giovanili allungati, caratterizzati da incisioni nella zona culminale con conoidi misti di origine alluvionale e da franamenti di versante.

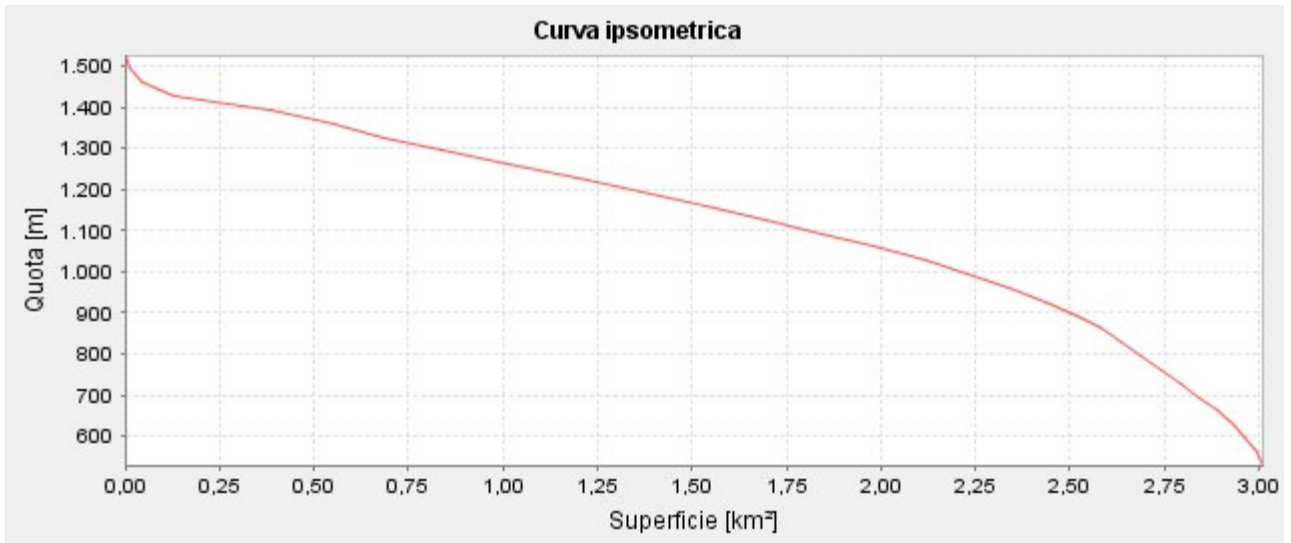


Fig. 9: Curva ipsometrica dimensionale del bacino del Rio Rì

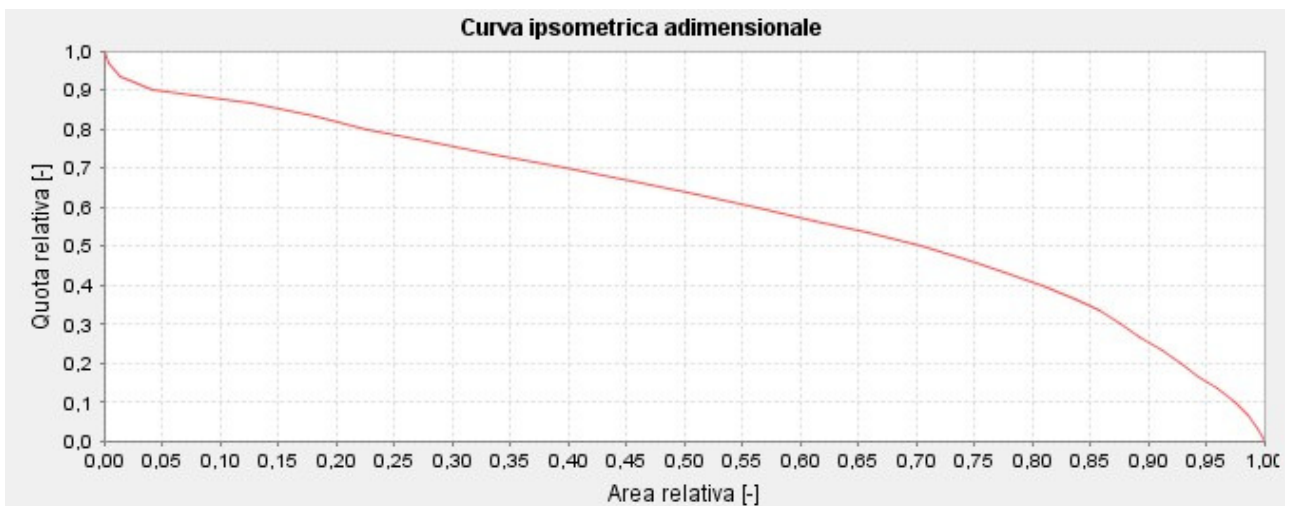


Fig. 10: Curva ipsometrica adimensionale del bacino del Rio Rì.

Il bacino del rio Rì si estende su una piccola superficie, ma con un dislivello di circa 1000 m dalla sezione di chiusura ai punti più elevati; questo determina lo sviluppo di forti pendenze [Fig. 11], che facilitano e incrementano il fenomeno del trasporto solido e di legname.

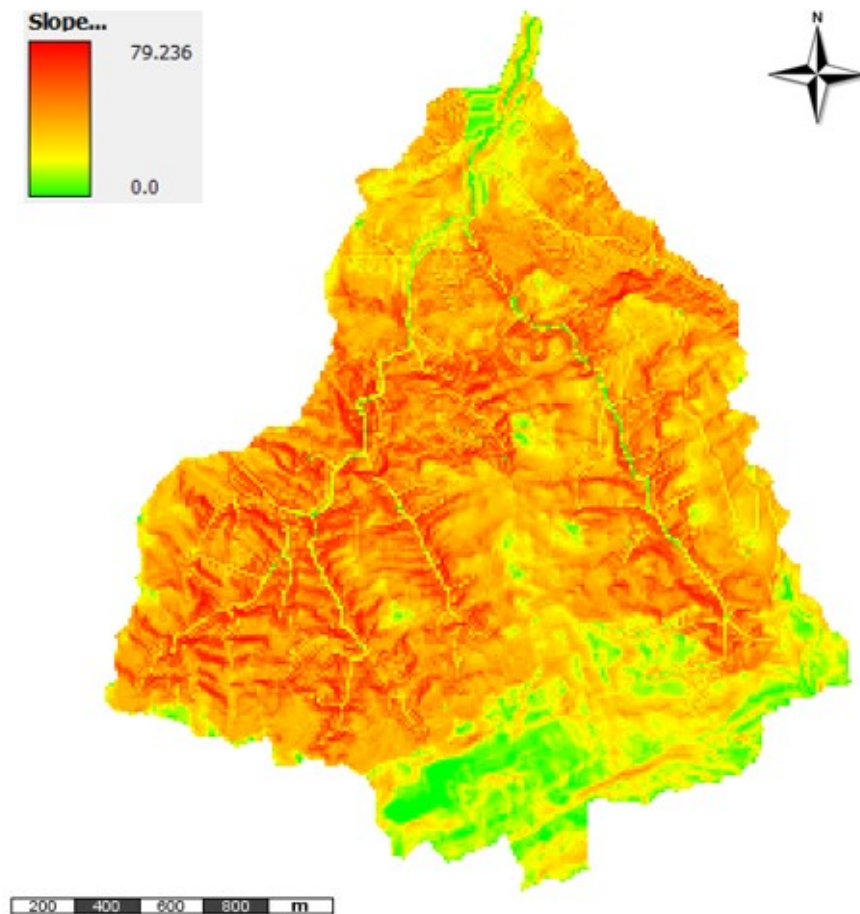


Fig. 11: Carta delle pendenze (verde pendenze ridotte, rosso pendenze elevate)

Per i bacini di montagna, è importante analizzare anche l'esposizione del bacino, per determinare la probabile presenza di neve nei mesi invernali, e il conseguente comportamento a seguito dell'aumento delle temperature e quindi del disgelo primaverile.

Osservando la Fig. 12 si può notare che il bacino è esposto per la maggior parte della sua superficie a Nord e Nord-Est: di conseguenza la neve che si accumula nella vallata fortemente incisa, permane per tempi prolungati. Pertanto l'area sarà caratterizzata da deflussi particolarmente elevati nel periodo del disgelo che si sommano a quelli generati dagli eventi meteorici.

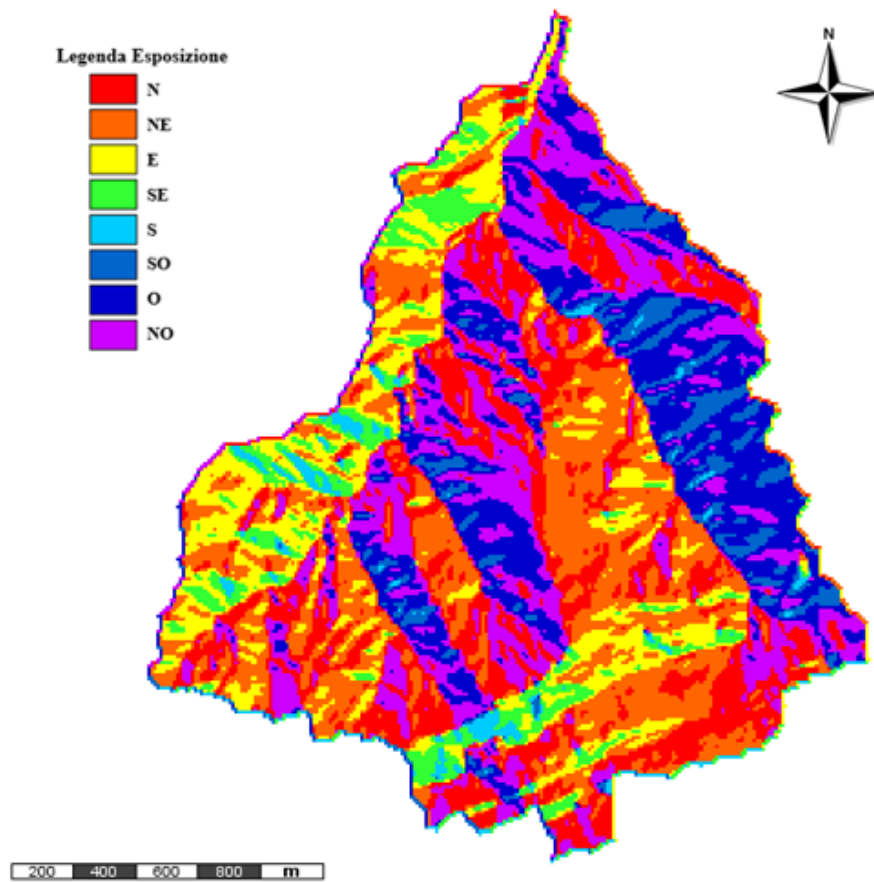


Fig. 12: Cartografia dell'esposizione del bacino del Rio Ri.

Dall'analisi della distribuzione delle aree in funzione delle fasce di quota [Fig.13] di pendenza [Fig. 14] si può notare che le aree maggiori si hanno nella parte medio alta del bacino dove vi sono quote e pendenze più elevate ovvero, laddove il bacino tende ad allargarsi assumendo una forma rotondeggiante. Nella parte bassa del bacino le aree tendono a diminuire, segno di una forte contrazione verso la sezione di chiusura.

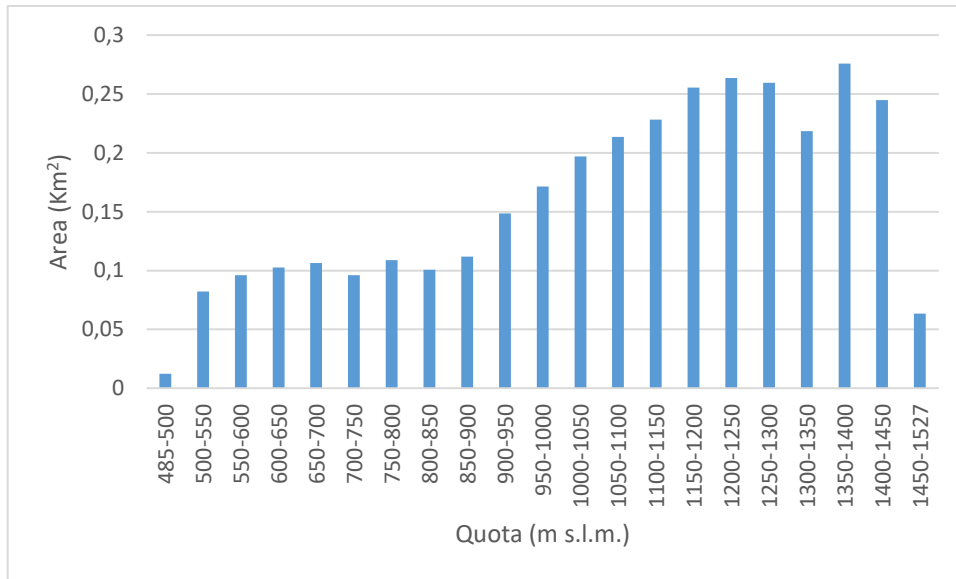


Fig. 13: Distribuzione delle aree del bacino del Rio Rì in funzione della quota

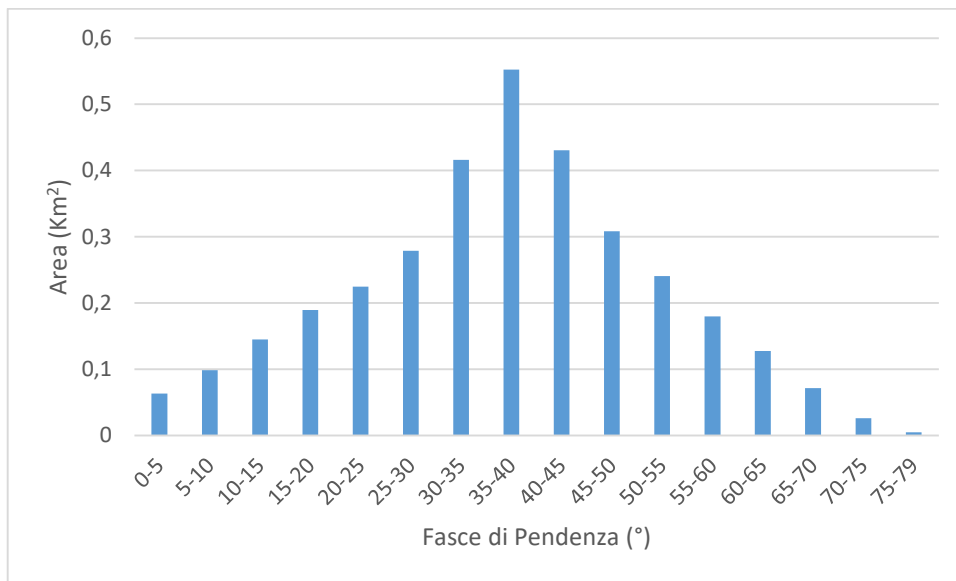


Fig. 14: Distribuzione delle aree del bacino del Rio Rì in funzione della pendenza





#### 4.7 Rio Rì: geo-morfologia del collettore

L'asta principale del rio Rì si sviluppa per circa 2725 m da una quota minima di 489 m s.l.m. a una quota massima di 1375 m s.l.m., con una pendenza media del 31.6 % (17.5°).

L'analisi geomorfologica del collettore è stata effettuata mediante rilievi di campo e l'utilizzo dei software GIS Adb-ToolBox e QGIS; l'asta principale è stata suddivisa in singoli tratti omogenei per caratteri geo-morfologici.

I tratti individuati sono i seguenti:

1. Primo tratto: zona a monte della briglia filtrante, delle tre piazze di deposito, fino alla fine della piazza di deposito della briglia cosiddetta n. 13.

Questo tratto d'alveo, con una lunghezza di circa 780 m, si sviluppa tra i 489 m s.l.m. (quota della briglia filtrante) e i 537 m s.l.m. ed è caratterizzato da una pendenza media del 7.6 % (4.4°). La ridotta pendenza è tipica dei tratti a piazza di deposito: a monte della briglia filtrante (n°6 secondo la numerazione del catasto delle opere del Servizio Bacini Montani della Provincia Autonoma di Trento) si sviluppa la piazza di deposito più grande, molto lunga e stretta. Un'altra piazza di deposito si trova a monte del ponte sulla strada provinciale: molto breve ma caratterizzata da un brusco allargamento della sezione trasversale. La terza piazza di deposito, a monte della briglia con finestre (n.13), ha un volume di invaso nettamente inferiore alle due precedenti. Lungo tutto questo primo settore sono presenti anche accumuli di legname, in parte trasportati da monte e in parte provenienti dalle sponde laterali in seguito ai franamenti. Si tratta principalmente di ramaglie, piccoli fusti, qualche tronco e ceppaia di piccola dimensione.

2. Secondo tratto: compreso tra la fine della piazza di deposito della briglia n°13 e la briglia austriaca (Foto n.2).

La pendenza è nettamente maggiore rispetto al primo tratto, l'alveo risulta confinato in una valle ancora ampia, le sponde sono vegetate e caratterizzate da fenomeni franosi. Questo tratto d'alveo, con una lunghezza di circa 470 m, parte dalla quota di 537 m s.l.m. e arriva alla quota di 633 m s.l.m. (che corrisponde alla quota della briglia austriaca), con una pendenza media del 22.8 %. Il settore è caratterizzato dalla presenza di detriti con diametri che vanno dalle sabbie ai massi, da elementi dispersi, ceppaie e log step. La parte alta del



settore (nelle vicinanze della briglia austriaca) è dominata da alcuni salti in roccia e dalla presenza di massi ciclopici.

3. Terzo tratto: compreso tra la briglia austriaca e l'inizio del canale in roccia.

Il tratto si sviluppa per una lunghezza di circa 100 m, da quota 633 m a 662 m s.l.m., e presenta una pendenza media del 31 % (17.2°); è caratterizzato dalla presenza di numerosi massi con diametro anche superiore al metro e mezzo disposti longitudinalmente lungo l'alveo in modo da confinare il corso d'acqua verso la sponda sinistra in un canale di limitata larghezza (circa 1.5-2 m). La presenza di granulometrie anche molto grandi hanno consentito il formarsi di una tipica morfologia a step-pool.

Lungo il tratto non sono presenti aree in erosione o in frana e neppure accumuli significativi di legname.

4. Quarto tratto: compreso tra l'inizio canale in roccia e la sorgente del collettore.

Quest'ultimo settore ha una lunghezza circa 1550 m e si sviluppa dalla quota di 662 m s.l.m. alla quota massima di 1375 m s.l.m. In questa parte il canale è di larghezza limitata (1-3 m) e si sviluppa tra rocce e sfasciumi con una pendenza media del 44.6 % (circa 24°). Il profilo longitudinale del canale in questo tratto risulta interrotto da una serie di salti morfologici che corrispondono a delle piccole cascate, di altezza compresa tra i 2 e i 4 m, presenti nella parte iniziale e media del tratto.

Questo tratto è contraddistinto dalla presenza di rocce molto fratturate, sfasciumi e materiali lapidei facilmente mobilitabili da deflussi impetuosi: le ghiaie e i ciottoli che si formano tendono ad accumularsi nelle numerose "buche" che sono presenti lungo il percorso ma è facilmente intuibile, dai segni di "pulizia" che tutti i sedimenti vengono facilmente trasportati a valle durante gli eventi di piena. Infine, in questo ultimo tratto dell'alveo del rio Rì non sono presenti accumuli di legname consistenti: non manca la ramaglia e qualche piccola ceppaia che, ad una attenta osservazione, provengono dalle superfici boscate poste al di sopra delle pareti in roccia che confinano il tratto d'alveo. Confrontando i volumi e le tipologie di materiale legnoso presente in alveo, si può, quindi, ritenere che durante gli eventi meteorici intensi vi sia un effetto di "pulizia" del sottobosco molto ripido che domina l'alveo inciso tra la roccia.



#### 4.8 Grado di sistemazione del bacino e di efficienza delle opere

L'alveo del rio Rì è densamente sistemato, principalmente con opere di consolidamento trasversali (briglie). Il loro scopo è quello di limitare l'erosione spondale e l'approfondimento dell'alveo in modo da diminuire la quantità di materiale disponibile per il trasporto solido ed evitare fenomeni di instabilità dei versanti.

Nel bacino del rio Rì si rileva la presenza di una briglia austriaca, realizzata in massi cementati, risalente agli interventi post alluvione del 1882 [Foto 2]. Non è, però, del tutto remota la possibilità che in passato ci fossero anche altre opere simili, andate distrutte dai vari eventi alluvionali. Questa briglia è posizionata in un punto molto stabile su affioramenti rocciosi anche se, con il passare del tempo, ne è stato danneggiato il coronamento dagli intensi fenomeni di trasporto solido.



Foto 2: Briglia austriaca

Già dall'inizio del XX secolo i tratti intermedio e di fondovalle del torrente sono stati interessati da opere di sistemazione e risanamento, per l'esigenza di proteggere gli insediamenti di fondovalle, mentre la zona di testata è stata un po' trascurata a causa del difficile e a volte impossibile lavoro di sistemazione. Le prime opere sono state realizzate con i materiali che si trovavano in loco, quindi essenzialmente in legname o in pietrame. Solo dopo il secondo conflitto mondiale fu introdotto l'utilizzo massiccio del cemento armato.



Fig. 15 Ortofoto riportante le briglie presenti lungo l'asta principale del rio Rì e loro numerazione.

Sulla base del catasto opere del Servizio Bacini Montani e del Piano degli Interventi di Sistemazione Idraulico-Forestale del bacino del torrente Centa è possibile fornire un quadro conoscitivo degli interventi di sistemazione realizzati nel bacino [Fig.15].

Le opere attualmente presenti nel tratto di alveo in studio sono riportate in seguito in base all'anno di realizzazione:

Anno 1992: - Realizzazione di una briglia aperta (n°6) con filtro [Foto 3] ad elementi orizzontali mobili. Rivestimento in pietrame a secco del paramento di valle della briglia. Realizzazione di piazza di deposito a tergo della briglia. Realizzazione di scogliere in sponda destra e sinistra come muri d'ala della briglia.



Foto 3: Briglia filtrante posta a chiusura del bacino del rio Rì: a) vista da monte; b) vista da valle .

- Realizzazione di 3 briglie in calcestruzzo armato (n° 7, 8 e 9) [Foto 4] e di una soglia in massi a valle della briglia n°7.



Foto 4: Briglie n° 7,8,9 in cemento armato poste a valle della strada provinciale.

**Anno 1993:** - Realizzazione, su entrambe le sponde, di un'opera spondale in grigliato preconfezionato in calcestruzzo alla confluenza con il Centa.  
 - Realizzazione di un attraversamento in alveo (guado) per il passaggio della strada sterrata che costeggia il Centa in destra idrografica. Realizzazione di una breve scogliera a sostegno della rampa della strada.



- Realizzazione di un attraversamento in alveo: strada bianca che attraversa longitudinalmente l'alveo, utilizzata per gli svasi.
- Realizzazione di un *floster* in massi a secco a valle della briglia n° 1 e rivestimento della gaveta di questa con pietra porfirica.

**Anno 1994:** - Realizzazione di opere spondali in scogliera cementata, come collegamento tra la briglia n°8 ed il ponte n°3 (SP. Monte-Rovere). In corrispondenza del ponte la scogliera è sostituita da muri in calcestruzzo rivestito che terminano oltre il ponte.

- Realizzazione del ponte n°3 sulla SP Monte-Rovere (intervento non realizzato dal Servizio Bacini Montani).

**Anno 2000:** - Realizzazione di opera spondale in scogliera a secco a difesa della sponda sinistra.

- Realizzazione di 3 soglie in pietrame e calcestruzzo e funi (n° 10, 11 e 12), con struttura ad arco e corda molle, intervallate da selciatoone in massi a secco.
- Realizzazione di una briglia in calcestruzzo armato (n°13), dotata di 3 finestre, con piazza di deposito a tergo delimitata da rampe in massi [Foto5].



Foto 5: Briglia a finestre n.13 e soglie in massi ciclopici a valle della stessa.

**Anno 2022:** - Realizzazione di 2 briglie in massi ciclopici nei pressi della confluenza a monte della piazza di deposito della briglia n.13 [Foto 6]



*Foto 6: Soglie in massi ciclopici costruite, su entrambi i rami del Rio Rì, alla confluenza.*

- Realizzazione di una scogliera in destra idrografica a protezione della briglia n.13 [Foto 7].



*Foto 7: Scogliera in massi ciclopici a protezione dell'ala in destra idrografica della briglia n°13.*

Va sottolineato che la zona di testata e di monte del bacino è particolarmente instabile e attualmente non risulta sistemata. Pur essendo una delle maggiori sorgenti di materiale solido, la costruzione di opere in quest'area risulta difficilissima per l'assenza di accessi.



## 5. Analisi storica degli eventi alluvionali

Il Rio Rì è un torrente predisposto al trasporto di materiale solido in caso di particolari eventi meteorologici, creando danni a persone e infrastrutture in caso di alluvioni intense. Ci sono testimonianze che riportano dell'impetuosità e della pericolosità di tale torrente negli anni.

Una delle prime alluvioni particolarmente intense di cui vi è testimonianza nelle documentazioni è quella del 1748 che provocò l'esondazione del torrente Centa. Altri eventi importanti si sono succeduti nel 1789, 1882, 1885, 1888, 1906, 1917, 1921, 1924 e 1926: una serie di eventi per i quali è però difficile riuscire a ricostruire le dinamiche con cui si sono sviluppati a causa della mancanza di dati e delle descrizioni sommarie e qualitative nei documenti storici ritrovati.

Gli eventi occorsi successivamente, negli anni 1951, 1953, 1965 e 1966, presentano una documentazione con maggiori informazioni. In particolare, l'alluvione del 1966 interessò tutto il territorio provinciale, con danni più o meno gravi; quell'anno, il torrente Centa, come pure il Rio Rì, ebbero diverse esondazioni in vari punti, e l'elevata intensità delle precipitazioni innescarono numerosi fenomeni franosi anche di notevoli dimensioni.

L'evento successivo si verificò nell'ottobre del 1998, quando a seguito di una forte precipitazione, il bacino del rio Rì generò un'onda di piena particolarmente intensa: il tirante idrico dell'invaso a monte della filtrante raggiunse i 3,5 m. Rilievi effettuati dopo l'evento evidenziarono che il filtro era stato occluso dalla vegetazione per metà della sua altezza (circa 2 m). La vegetazione rinvenuta a ridosso del filtro era composta prevalentemente da ramaglia di modesta dimensione e da fronde con ancora le foglie. Non ci furono danni apprezzabili a meno di forti e profonde erosioni di sponda, a monte della briglia, e l'accumulo di ingenti quantità di sedimento nelle piazze di deposito sempre a monte.

L'anno seguente ci fu un altro evento importante. Il 20 settembre 1999 ci fu una piena che determinò il trasporto di un elevato quantitativo di materiale detritico con ostruzione del filtro della briglia filtrante fino a 2/3 della sua altezza a causa del legname. Ciò determinò l'accumulo, nelle piazze di deposito a monte della briglia filtrante, di una grande quantità di sedimento ghiaioso e sabbioso che necessitò di un intervento in urgenza di prelievo del detrito per ripristinare la funzionalità delle piazze di deposito stesse. Anche a valle della briglia filtrante si formò un deposito di sedimento fine (ghiaie e sabbie) lungo tutto il canale con uno spessore di circa 1 m.





Nel 2002, l'intero bacino del torrente Centa, e quindi anche il rio Rì, fu colpito da una forte perturbazione che determinò fenomeni di elevato trasporto solido lungo il collettore principale provocando l'interruzione della rete viaria a causa dei dissesti e dei detriti depositati sulle carreggiate [Foto 8]. Fortunatamente non vi furono persone coinvolte. Durante l'evento, oltre ai fenomeni erosivi intensi, si verificarono l'innesco di nuovi fenomeni franosi e la riattivazione di vecchie frane quiescenti (PISIF Centa, 2004).



Foto 8: Briglia filtrante n°6 dopo l'evento del 2002 (fonte: PISIF, T. Centa).

Nel novembre 2004, l'alveo del rio Rì fu interessato da un evento non estremamente eccezionale, ma il trasporto solido e di materiale legnoso fu assai elevato (Furlan, 2004). Il legname mobilitato dalla piena provocò l'intasamento dell'intero filtro della briglia filtrante e, conseguentemente, la piazza di deposito a monte fu completamente riempita dal sedimento trasportato. A monte, numerosi furono i fenomeni di smottamento delle sponde che determinarono, in alcuni tratti, un significativo allargamento della sezione di deflusso. In occasione di tale fenomeno si riattivò una grande area in frana in destra idrografica, poco a monte della piazza di deposito della briglia n°13 (Foto 9); a seguito di questo evento l'invaso della briglia in questione, che prima era completamente vuoto, si riempì fino all'altezza finestre della briglia stessa. A monte della piazza di deposito, nella zona di confluenza dei due principali canali del bacino del rio Rì, si accumulò una notevole quantità di legname formato prevalentemente da piccoli tronchi e grossi rami. Ancora poco più a monte, nella zona della presa dell'acquedotto, l'alveo si era approfondito di circa 3 m raggiungendo gli strati rocciosi sottostanti.



Foto 9: Briglia a finestre n°13 e piazza di deposito dopo l'evento del novembre 2004 (fonte: PISIF, T. Centa).

Un ulteriore evento è stato registrato il 14 – 15 agosto 2010: in questa circostanza ci fu un eccezionale trasporto di detrito accompagnato da materiale vegetale di piccole dimensioni. Numerose furono le erosioni di sponda e ingentissimi i volumi di sedimento depositati a monte della briglia n°13 con le finestre. La piazza di deposito di questa briglia fu completamente riempita e l'area di deposito si propagò verso monte fino alla briglia austriaca (circa 460 m). L'avulsione dell'alveo tra la briglia a finestre e la briglia austriaca unita all'erosione delle sponde inglobò notevole materiale legnoso per lo più formato da arbusti, ramaglia e piccoli alberi.

Nel novembre del 2012 ci fu un ulteriore evento, il quale determinò l'intasamento della briglia filtrante ad opera del legname trasportato, con il conseguente accumulo di detrito nella piazza di deposito a monte della stessa briglia [Foto 10]. L'evento determinò fenomeni di erosione delle sponde, soprattutto dovuti al fatto che il deflusso interessò l'intera larghezza dell'alveo.



Foto 10: Briglia filtrante ostruita dal materiale legnoso durante l'evento del 2012 (fonte: Servizio Bacini Montani TN).

Un evento di particolare intensità si è verificato a fine ottobre 2018 in concomitanza con la tempesta Vaia. Le precipitazioni iniziarono nella mattinata del 27 ottobre e proseguirono ininterrottamente fino alla sera del 28 ottobre, con un picco nelle prime ore del pomeriggio del 28 ottobre. Dopo una pausa di alcune ore, riprese a piovere, determinando un secondo picco di precipitazioni, se pur di intensità inferiore al primo. Le precipitazioni, associate al forte vento, determinarono numerosi fenomeni di erosione e franamento delle sponde [Foto 11], che determinarono un consistente trasporto solido, detriti e legname anche di grandi dimensioni [Foto 12, 13 e 14], verso valle, causando il riempimento delle piazze di deposito a monte delle briglie.



Foto 11: Alveo a monte della piazza di deposito della briglia n.13 (fonte: Servizio Bacini Montani).



*Foto 12: Materiale di grosse dimensioni a monte della briglia a finestre n.13, nella relativa piazza di deposito (fonte: Servizio Bacini Montani TN).*



*Foto 13: Legname di grosse dimensioni e detrito accumulato nei pressi della briglia filtrante (fonte: Servizio Bacini Montani TN).*



*Foto 14: Legname di grosse dimensioni e detrito accumulato nella piazza di deposito della briglia filtrante (fonte: Servizio Bacini Montani TN).*



La briglia a finestre n. 13 subì dei danni all'ancoraggio dell'ala laterale in destra idrografica, l'acqua si infiltrò lateralmente determinando l'asporto del materiale a valle, per fortuna non causando lo scalzamento completo dell'opera [Foto 15].



*Foto 15: Scalzamento della briglia n.13 (fonte: Servizio Bacini Montani TN).*

L'evento più recente, ma di intensità non elevata quanto quelli precedentemente elencati, fu nel dicembre 2020 [Foto 16]. Le precipitazioni iniziarono nella tarda mattinata del 4 dicembre 2020 e continuarono ininterrottamente fino al 7 dicembre. Tale evento determinò la formazione di una portata liquida che causò l'erosione delle sponde dell'alveo e un trasporto solido tale da ostruire la briglia filtrante e riempire le piazze di deposito a monte.



*Foto 16: Briglia filtrante ostruita dal detrito (fonte: Servizio Bacini Montani TN).*



## 6. Metodi di rilievo

### 6.1 Legname in alveo e trasporto solido

Le correnti idriche, in relazione ai valori di velocità e ai caratteri della loro turbolenza, sono in grado di trasportare materiali solidi di differente granulometria. Questo fenomeno fisico, definito trasporto solido, rappresenta il punto di unione tra i fenomeni di erosione che interessano la parte montana di un corso d'acqua e i fenomeni di deposito caratteristici della zona valliva (fino alla foce) di un corso d'acqua (V. Ferro, 2006).

Il materiale solido trasportato può riguardare sia sedimenti presenti in alveo e mobilitati a causa dell'erosione del fondo o delle sponde, sia materiale proveniente da fenomeni di franamento dei versanti, che materiale legnoso nei bacini boscati. Il legname può giungere in alveo per diverse cause, la principale è dovuta all'erosione di sponda sulla quale insiste della vegetazione. La presenza del legname in alveo e il conseguente trasporto è un elemento delicato, da non sottovalutare. I LWD possono contribuire ad incrementare gli accumuli detritici, che poi possono essere movimentati negli eventi di piena, accrescendo il rischio di sovralluvionamento ed esondazione, inoltre possono ridurre la sezione di deflusso degli alvei e la luce dei ponti.

Gli accumuli di legname possono anche ridurre la funzionalità delle opere di trattenuta come le briglie filtranti, poiché ostruiscono più velocemente le luci.

#### 6.1.1 Rilievi passati

Il bacino oggetto di studio è caratterizzato da un ingente trasporto di materiale legnoso durante gli eventi alluvionali.

Sono stati effettuati diversi studi e rilievi del legname (Degetto M. 1998, Furlan M. 2004, Alberti R. 2012, Arena N. 2014) presente lungo il collettore principale del Rio Rì, utilizzando la seguente metodologia di campionamento:

- la lunghezza minima del legno da rilevare deve essere uguale alla distanza tra gli elementi orizzontali della briglia filtrante (generalmente 0.20-0.30 cm), mentre il diametro minimo è stato definito pari a 0.02 m, in modo da escludere dai rilievi le ramaglie;
- il diametro è stato misurato a metà lunghezza con arrotondamento per eccesso al centimetro pieno;
- le misure delle lunghezze sono state prese secondo la retta che unisce le due estremità del legno, è questa infatti la misura che mi determina l'ingombro con cui l'elemento si presenterà sul filtro;



- le lunghezze misurate sono state distribuite all'interno di classi di ampiezza pari a 0.5 m, in quanto si è visto che una tale distribuzione comporta un'accettabile approssimazione delle informazioni raccolte;
- Le ceppaie sono rilevate nel seguente modo: l'estensione dell'apparato radicale con due misure incrociate, la profondità raggiunta dell'apparato radicale, la lunghezza totale della ceppaia ed il diametro del tronco preso a metà lunghezza;
- i cluster e i log-step di legname sono stati rilevati i singoli elementi di cui sono composti, con misurazioni uguali a quelle eseguite per il materiale disperso;
- delle ceppaie, dei cluster e dei log-step è stata determinata la posizione in alveo.

Di seguito viene riportata una descrizione sintetica dei rilievi.

### Rilievi del 1998

Nell'ambito di uno studio del trasporto del legname in alveo effettuato dal dott. Degetto Massimo nel 1998 è stato rilevato il detrito legnoso presente sul filtro della briglia n° 1 (secondo la numerazione del catasto delle opere del Servizio Bacini Montani della Provincia Autonoma di Trento) posta a chiusura del bacino del rio Rì. Nel corso della misurazione, in cui tutti i dati sono riportati in m, era stato osservato come il filtro fosse intasato non solo da ramaglia e da tronchetti, ma anche da fronde e piante intere, e come tale ostruzione determinasse il deposito di sabbie, foglie, erbe e quant'altro trasportato dalla corrente (Degetto, 1998).

### Rilievi del 2004

Nel 2004 nell'ambito della tesi di laurea "Rilievo del legname e difesa da sovralluvionamento nel torrente Rio Rì", redatta da Furlan M., è stato effettuato il rilievo del legname presente lungo l'alveo del rio Rì nella situazione pre (agosto 2004) e post evento (dicembre 2004). L'evento di piena che interessò il bacino nel 2004 stravolse completamente l'alveo.

La misurazione del detrito legnoso è stata effettuata secondo le modalità descritte precedentemente con alcune variazioni dovute alla specificità dello studio (ad esempio la lunghezza minima rilevata è stata posta pari a 0.26 m cioè la distanza fra gli elementi orizzontali della briglia filtrante) suddividendo l'asta torrentizia del rio Rì in quattro differenti settori di rilevazione (Fig. 16):

- Primo settore: piazza di deposito della briglia filtrante (300 m).
- Secondo settore: compreso tra la briglia n°7 e la briglia n°13 (230 m).
- Terzo settore: piazza di deposito della briglia n° 13 (90 m).
- Quarto settore: si estende per 440 m a monte della piazza della briglia n°13 fino alla briglia austriaca.

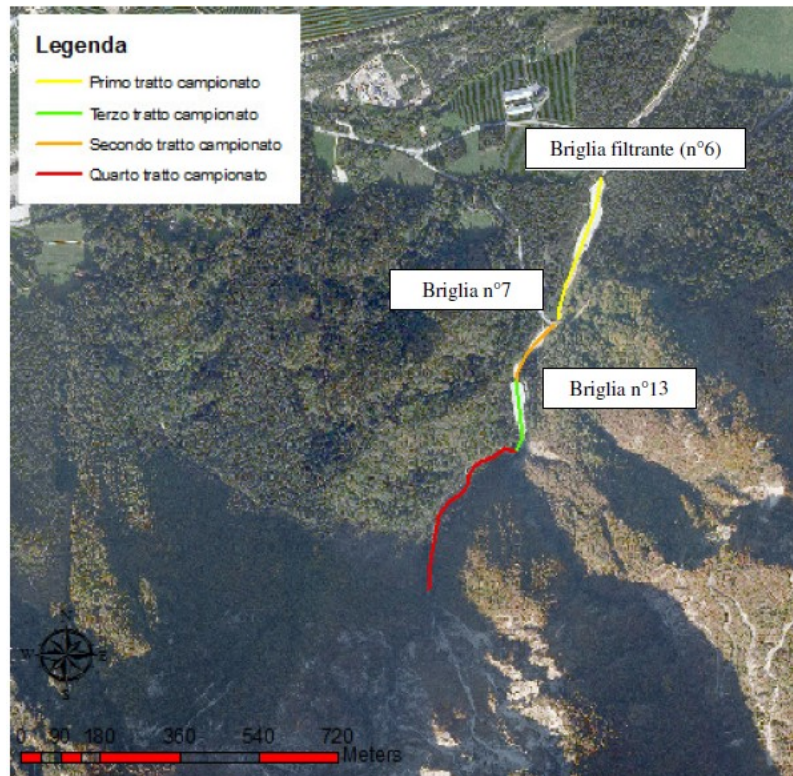


Fig. 16 Inquadramento dei tratti analizzati durante il rilievo del 2004 (Alberi R., 2012).

### Rilievi del 2010

Tra il 14 e il 15 agosto 2010 delle forti precipitazioni investirono l'intero bacino del rio Rì innescando uno degli eventi alluvionali più intensi tra tutti quelli che colpirono il bacino fino a quell'anno. Il settore più a monte fu quello maggiormente interessato da cambiamenti morfologici, si verificò un'avulsione dell'alveo tra la briglia a finestre e la briglia austriaca, erosione delle sponde inglobò notevole materiale legnoso per lo più formato da arbusti, ramaglia e piccoli alberi.

Nei giorni successivi all'evento (17, 18 e 19 agosto 2010) venne effettuato, da parte dell'Ing. Masetto C., il campionamento del detrito legnoso, per solamente questo settore.

### Rilievi del 2011

Nel maggio 2011 il dott. Alberti R., per la propria tesi di laurea, ha effettuato il campionamento del legname presente lungo l'alveo del rio Rì nel settore compreso tra la briglia filtrante (briglia n°6 secondo il catasto delle opere del Servizio Bacini Montani) e la briglia n° 9 (Fig. 15).

Il rilievo del legname è stato effettuato mediante l'utilizzo di cavalletto dendrometrico e seguendo la metodologia descritta precedentemente.

### Rilievi del 2013





Nel settembre del 2013 è stato eseguito un ulteriore rilievo da parte del dott. Arena N. per l'elaborazione della propria tesi di laurea. Il rilievo è stato effettuato dalla briglia filtrante fino alla briglia austriaca, suddividendo l'alveo in 4 settori, come nel rilievo del 2004.

#### Rilievi del 2021

Nel settembre del 2021 è stato effettuato un ulteriore rilievo dalla briglia filtrante n.6 fino alla briglia austriaca, suddividendo l'alveo nei 4 settori utilizzati precedentemente da Furlan (2004) e poi da Arena (2013). La metodologia di misurazione è stata la medesima dei rilievi precedenti.

#### Rilievi del 2023

Nel luglio del 2013 è stato campionato il solo Settore 4 [Fig.16], poiché il tratto a valle era stato recentemente interessato da lavorazioni. La metodologia di misurazione è stata la stessa utilizzata nei rilievi precedenti.

### **6.1.2 Analisi dei volumi**

La determinazione dei volumi per il legname disperso e per i cluster è stata eseguita attraverso le formule basate sulle geometrie di solidi rappresentativi del legno:

- Volume calcolato con la formula di Huber: formula di cubatura dendrometrica che determina il volume come prodotto della lunghezza del tronco per il diametro a metà lunghezza.

$$Vh = \pi r^2 h \quad [12]$$

nella quale il raggio  $r$  è misurato a metà lunghezza  $h$ .

- Volume calcolato con la formula di Huber più un 10% per compensare la sottostima che si compie per lunghezze maggiori ai 4m.
- Volume calcolato secondo l'unità di misura del "metro stero", per la quale in una catasta di tronchi di  $1 \text{ m}^3$  i vuoti sono considerati pieni e quindi il diametro  $\Phi$  diventa il lato di un parallelepipedo:

$$V_{ms} = \Phi^2 h \quad [13]$$

Considerando la forte variabilità del fenomeno "materiale flottante" l'intento estimativo delineato è stato quello di porsi in situazione cautelativa senza per questo giungere ad una sovrastima dei volumi (Degetto, 2000). Utilizzando il "metro stero" ci si è posti in una



situazione ragionevolmente cautelativa, essendo il volume definito con questo metodo maggiore del volume calcolato per compensare le possibili sottostime ( $V_{tot\ ms} > V_{tot\ Huber+10\%}$ ).

Per le ceppaie, oltre al diametro e alla lunghezza, si rileva anche il diametro dell'area d'insidenza dell'apparato radicale. I volumi si calcolano con il "metro stero" per "classe di lunghezza": il metro stero è un'unità di misura ove, in una catasta di tronchetti di  $1\ m^3$ , i vuoti sono considerati come pieni. In questo modo le sezioni del legname sono considerate quadrate e il lato uguale al diametro. Si è visto che tale sistema livella gli errori di rilievo in campagna, gli arrotondamenti eseguiti, ed offre un valore più corretto e realistico del materiale presente in alveo.



## 7. Risultati analisi rilievo 2021

Nei rilievi di campagna si sono misurati i principali parametri relativi al legname presente in alveo: lunghezza, diametro, forme di aggregazione, tipologia del materiale.

L'operazione preliminare è consistita in un sopralluogo completo del collettore, al fine di ottenere una visione d'insieme per conoscere gli aspetti e le particolarità del torrente e dei versanti adiacenti.

Il diametro è stato misurato con l'approssimazione, per eccesso, al centimetro intero superiore, mentre, la lunghezza va riferita alla classe di lunghezza che ha un'ampiezza di 0,5 m (per esempio nella classe 1,5 m va considerato tutto il materiale con lunghezza compresa tra 1,25 incluso ed 1,75 escluso). Non serve quindi avere l'esatta lunghezza del legname ma inserirlo nella classe corretta; in questo modo si ottengono dei valori cautelativi.

Tutti i tronchi e tronchetti rilevati in alveo sono stati misurati con il cavalletto dendrometrico e con la cordella metrica.

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

- lunghezze e diametri (medie, massime e distribuzione);
- stima del volume medio in alveo del legname morto per ogni settore del collettore;
- presenza e consistenza di cluster;
- numero di ceppaie e loro volume;
- tipologia delle distribuzioni del legname in alveo.

### 7.1 Analisi degli elementi dispersi

Il materiale morto rilevato, definito come "elemento disperso", è stato misurato nella sola sezione attiva del rio, ovvero la parte dell'alveo sottoposto ad eventi di piena ricorrenti, i quali non permettono lo stabilirsi di una vegetazione pioniera.

#### 7.1.1 Analisi per classi di lunghezza

Quest'analisi evidenzia il numero degli elementi dispersi per classi di lunghezza di 0.5 m per ognuno dei quattro settori del tratto oggetto di studio.

Da quanto riportato in Fig.17 e in Tab.8, si nota come gli elementi maggiormente presenti in alveo siano quelli appartenenti alle prime classi di lunghezza, in particolare, più della metà degli elementi misurati appartengono alla prima classe di lunghezza. Inoltre, è evidente che in tutti i settori il numero di elementi decresce con l'aumento della lunghezza.



Il settore 1, che è quello corrispondente alla piazza di deposito a monte della briglia filtrante, e il settore 4, che è quello più a monte, sono quelli con il maggior numero di elementi totali. Nel caso del settore 1, la minor pendenza dell'alveo ha contribuito all'arresto e all'accumulo del materiale proveniente dai settori a monte; invece, per quanto riguarda il settore 4, a determinare l'arresto degli elementi dispersi, giocano un grande ruolo i massi e i log steps. A influire sul numero totale è certamente anche il fatto che i due tratti in questione sono quelli di maggiore lunghezza. Gli elementi dispersi di maggiori dimensioni sono stati rilevati nel settore 3, probabilmente a causa della diminuzione della pendenza dell'alveo subito a valle della confluenza dei due rami principali del rio, in corrispondenza della piazza di deposito della briglia n.13.

Tab. 8: Numero di elementi dispersi suddivisi per classi di lunghezza (m).

<b>Classi di lunghezza (m)</b>	<b>Settore1</b>	<b>Settore2</b>	<b>Settore3</b>	<b>Settore4</b>
<b>0.5</b>	599	107	209	399
<b>1</b>	130	54	87	148
<b>1.5</b>	41	26	45	79
<b>2</b>	19	10	28	30
<b>2.5</b>	5	4	8	17
<b>3</b>	0	1	2	5
<b>3.5</b>	0	1	2	6
<b>4</b>	1	0	3	4
<b>4.5</b>	0	3	1	2
<b>5</b>	1	0	0	1
<b>5.5</b>	0	0	1	1
<b>6</b>	1	0	2	0
<b>6.5</b>	0	0	0	0
<b>7</b>	0	0	0	0
<b>7.5</b>	0	0	0	0
<b>8</b>	0	0	1	0
<b>8.5</b>	0	0	1	0
<b>Totale</b>	<b>797</b>	<b>206</b>	<b>390</b>	<b>692</b>

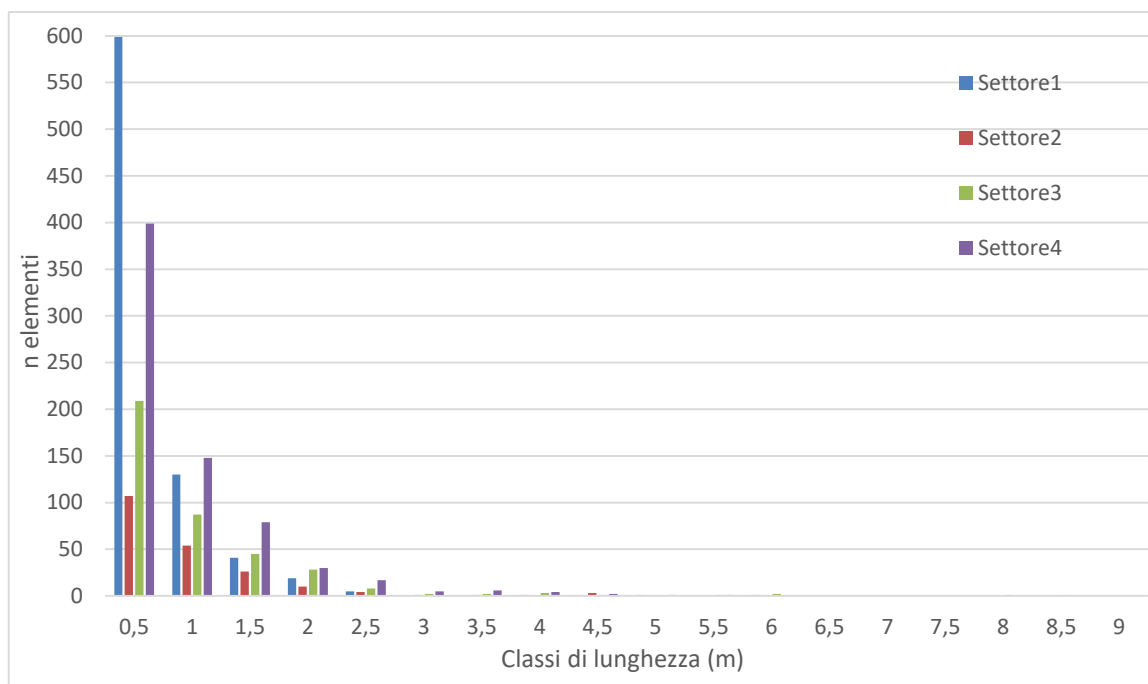


Fig. 17: Istogramma riportante il numero di elementi dispersi presenti nei diversi settori.

### 7.1.2 Analisi della lunghezza media e del diametro medio

Per quanto riguarda gli elementi dispersi, si può notare come la lunghezza media sia minore o di poco maggiore al 1m. Dalla Tab.9 si vede come nel 2021 il settore 3 fosse quello caratterizzato da una lunghezza media maggiore, seguito dal settore 2 e il settore 4. Il settore 3 presentava una lunghezza media maggiore, forse dovuto al fatto che in corrispondenza di esso, confluisce un ramo del torrente caratterizzato anch'esso da trasporto di legname. Il settore 1 presentava una lunghezza inferiore rispetto agli altri settori, questo potrebbe essere dovuto al fatto che nella piazza di deposito giungono tutti i tronchetti più leggeri che rimangono in superficie, sopra ai detriti più pesanti.

Tab. 9: Valori medi di lunghezza (m) degli elementi dispersi nei quattro settori.

Lunghezza media (m)			
Settore1	Settore2	Settore3	Settore4
0.63	0.89	0.99	0.89

Il diametro medio degli elementi dispersi è simile nei vari settori [Tab.10], si nota che il diametro maggiore è stato rilevato nel settore 2, probabilmente dovuto al fatto che in corrispondenza di tale settore alcune ripe boscate siano state recentemente interessate da dei



frammenti. Tale settore mostra però anche una criticità alla quale porre attenzione, poiché interessato dal passaggio della strada provinciale SP133 “strada del Menador” [Foto 17]; la quale attraversa trasversalmente l’alveo del rio grazie a un ponte con una luce ridotta (7 m di larghezza e 4 m in altezza), quindi possibilmente ostruibile da ceppaie con un’altezza complessiva maggiore della luce.

Tab. 10: Valori medi di diametro (cm) degli elementi dispersi nei quattro settori.

Diametro medio (cm)			
Settore1	Settore2	Settore3	Settore4
4.51	4.99	4.62	4.44



Foto 17: Piazza di deposito a monte dell’attraversamento della strada provinciale (cerchio rosso).



### 7.1.3 Analisi del volume

L'analisi del volume è stata effettuata per ogni settore attraverso una stima dello stesso con tre metodologie differenti, come riportato nel capitolo 6.

Tab. 11: Valori volumetrici in  $m^3$  e in % per ogni settore.

	Volume									
	Settore 1		Settore 2		Settore 3		Settore 4		Totale	
	$m^3$	%	$m^3$	%	$m^3$	%	$m^3$	%	$m^3$	%
$V_{Huber} (m^3)$	1.570	27.811	0.652	11.550	1.281	22.695	2.142	37.944	5.646	100
$V_{Huber+10\%} (m^3)$	1.727	27.811	0.717	11.550	1.409	22.695	2.356	37.944	6.210	100
$V_{ms} (m^3)$	2.000	27.811	0.831	11.550	1.632	22.695	2.729	37.944	7.192	100

In Tab.11 sono riportati i valori ottenuti dall'applicazione delle tre metodologie. Si può notare da questa, ma ancora di più dall'istogramma in Fig.19 come la metodologia più cautelativa sia quella del volume stero ( $V_{ms}$ ). Per questo motivo, si utilizzerà questo volume per le analisi e i confronti seguenti.

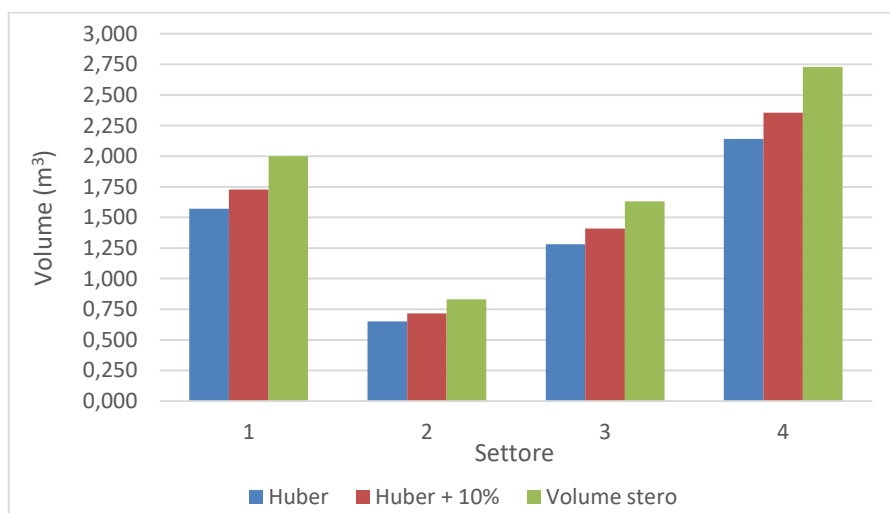


Fig. 18: Confronto dei volumi stimati con le diverse metodologie per i 4 settori.

La Fig.18 mostra come il settore che presenta un volume di elementi dispersi maggiore sia il settore 4 con circa il 38% del volume complessivo degli elementi dispersi [Tab.11]. Anche nel settore 1 il volume risulta essere elevato e questo potrebbe essere causa dell'intasamento della briglia filtrante posta a valle del settore, anche in caso di eventi non particolarmente intensi, ma in grado di avere un trasporto solido. Il settore che presenta il minor volume è il settore 2, cioè

significa che durante l'ultimo evento ha probabilmente scaricato gran parte del legno presente nella zona più a valle.

#### 7.1.4 Briglia filtrante

Un'ulteriore analisi è stata effettuata sugli elementi presenti sulla briglia filtrante posta a chiusura del bacino. Sono stati rilevati singolarmente i tronchi ben visibili, o posti in prossimità, mentre per quanto riguarda il materiale trattenuto nella briglia, è stato utilizzato il volume stero. La briglia filtrante n°6 è posta a chiusura del bacino del Rio Rì, prima della zona di conoide del fondovalle, è un'opera molto importante per la protezione dal trasporto solido che caratterizza questo bacino. Il materiale vegetale può però ridurre l'efficienza, poiché contribuisce a ostruirne le luci.

Infatti, al momento del rilievo nell'autunno del 2021, la briglia era parzialmente otturata, l'altezza di 1.68 m era occupata da materiale misto: ramaglie, tronchi, foglie, terra, ghiaia e sassi [Foto 18].



Foto 18: a) Briglia filtrante vista da valle con in evidenza due tronchi di media lunghezza;

b) Briglia filtrante vista dalla piazza di deposito a monte, con evidenza del materiale depositato.

Nella briglia sono stati misurati 12 tronchi come elementi dispersi misurabili [Tab.12]. Questi, non influiscono in modo rilevante sul volume trattenuto dalla briglia filtrante [Tab.13]; inoltre appartengono a classi di lunghezza inferiori a 2.5 m. Il rimanente materiale trattenuto dalla





briglia era un mix di detriti litologici di diversa granulometria, legnetti, ramaglie, radici e foglie. La piazza di deposito della briglia era infatti caratterizzata dalla presenza di numerose foglie (il rilievo è stato effettuato in autunno), rametti di piccole dimensione e ramaglie, per lo più in stato di decomposizione [Foto 19].

Tab. 12: Numero di elementi per classi di lunghezza rilevati sul filtro della briglia filtrante n°6.

Classi di lunghezza (m)	Briglia
0.5	6
1	3
1.5	2
2	0
2.5	1
3	0
<b>Totale</b>	12

Tab. 13: Confronto tra il volume stimato degli elementi dispersi e il volume trattenuto nella parte più prossima al filtro della briglia filtrante

Confronto Volumi briglia	
V elementi dispersi (m <sup>3</sup> )	V totale (m <sup>3</sup> )
0.0448	7.772



Foto 19: Ramaglie e foglie presenti nella piazza di deposito della briglia filtrante.

## 7.2 Analisi dei cluster

Gli elementi classificati come cluster, ovvero ammassi di tronchi incastrati a formare un'unica unità, sono stati rilevati soprattutto nei Settori 4 e 2, ma anche in questi settori non erano in numero elevatissimo. Per il calcolo del volume dei cluster individuati è stata utilizzata la metodologia del metro stereo.



Foto 20: Cluster nel settore 4

Dalla Tab.14 si può vedere come il numero di cluster presenti nei tratti analizzati siano pochi, il settore 4 è quello con il maggior numero di cluster presenti, con molta probabilità per l'elevata presenza di massi e di log steps che ne aiutano la formazione, seguito dal settore 2 dove sono presenti delle soglie in massi ciclopici che trattengono e accumulano tronchi in cluster.

Si mette in evidenza che il volume dei cluster misurati nel settore 1, pur essendo caratterizzato da un numero inferiore rispetto al settore 4 e 2, risulta essere maggiore per la presenza di cluster di maggiori dimensioni. Questo aspetto è molto importante, poiché a chiusura del settore 1 c'è la briglia filtrante e la presenza di questi elementi voluminosi potrebbe essere un problema in caso di piena, perché potrebbero comprometterne la funzionalità.

Tab. 14: Numero e volume dei cluster rilevati nei 4 settori.

	Settore 1	Settore 2	Settore 3	Settore 4
Numero	8	11	4	18
Volume (m <sup>3</sup> )	6.553	1.483	0.183	2.762

### 7.3 Analisi delle ceppaie

Le ceppaie sono state analizzate come elementi a parte rispetto agli elementi dispersi e ai cluster. Le ceppaie considerate in questa analisi sono state suddivise in due categorie:

- ceppaie in alveo trasportabili, sia con fusto che senza (solo apparato radicale) [Foto 21];
- ceppaie non movimentabili e “log steps”, ovvero quelle piante (principalmente abeti rossi e larici) che occupano per intero l’alveo, e che per la loro posizione e grandezza formano delle dighe (dam) che trattengono il materiale a monte [Foto 22 e 23].



Foto 21: Esempio di ceppaia movimentabile, la prima nel settore 1, la seconda nel settore 2.



Foto 22: Esempi di ceppaie non movimentabili e log jam nel settore 4



Foto 23: Tratto del settore 4 dove sono presenti sia ceppaie movimentabili che non movimentabili

Le ceppaie arrivano in alveo a causa di franamenti delle sponde laterali, i quali sono diffusi lungo l'intero alveo [Foto 24]. Oppure, può succedere che le ceppaie depositate in alveo durante un evento di piena, vengano poi accumulate lateralmente insieme al detrito roccioso, a seguito delle lavorazioni per liberare l'alveo, e che vengano riportate, in un secondo momento, in alveo a causa di eventi o franamenti successivi [Foto 25].



Foto 24: Sponde laterali instabili con vegetazione nel settore 2, la prima a valle della briglia °13, la seconda a monte del ponte della strada provinciale.



*Foto 25: Sponda laterale con all'interno ceppaie e elementi vegetali, a seguito di accumulamenti laterali del detrito presente in alveo a seguito delle lavorazioni di sistemazione.*

Come precedentemente scritto, per le ceppaie sono stati utilizzati metodi di misura e di stima differenti rispetto a quelli utilizzati per gli elementi dispersi, poiché è necessario tenere conto sia del tronco principale che dell'apparato radicale, nonché dei differenti tronchi nel caso dei cedui.

### **7.3.1 Analisi del numero e della lunghezza delle ceppaie movimentabili**

Le ceppaie movimentabili erano presenti in tutti i 4 settori, il settore con il maggior numero è il settore 1, mentre quello con minor numero è risultato il settore 2, con solo 4 ceppaie.

*Tab. 15: Numero di ceppaie per ogni settore*

	Settore 1	Settore 2	Settore 3	Settore 4
Numero ceppaie	12	4	10	6

Queste ceppaie possono essere particolarmente pericolose in caso di eventi straordinari, soprattutto quelle poste nei settori 2, 3 e 4, poiché potrebbero ostruire la luce del ponte della Strada Provinciale SP133 [Foto 26] che attraversa l'alveo nel Settore 2. Il ponte ha una luce di larghezza 7 m e un'altezza di 4 m.



Foto 26: Ponte della Strada Provinciale SP133 e piazza di deposito a monte.

La lunghezza utilizzata per il confronto con l'ampiezza della luce del ponte è la lunghezza massima della struttura apparato radicale più tronco. Dal grafico in Fig.19 si evince che le ceppaie che potrebbero essere pericolose per il ponte sono sei, due delle quali risultano poter ostruire anche la luce massima del ponte, mentre le altre risultano essere superiore solo all'altezza del ponte. Considerato inoltre che le Norme Tecniche delle Costruzioni 2018 prescrivono per i ponti un franco idraulico non inferiore a 1.50 m, un'ulteriore ceppaia risulterebbe essere critica per l'efficienza del ponte.

Le ceppaie del settore 1 non sono da considerare per il pericolo di ostruzione del ponte, ma sono quelle più vicine alla briglia filtrante e potrebbero causare un suo intasamento veloce, il che ne comprometterebbe la funzione di protezione verso le zone poste a valle.

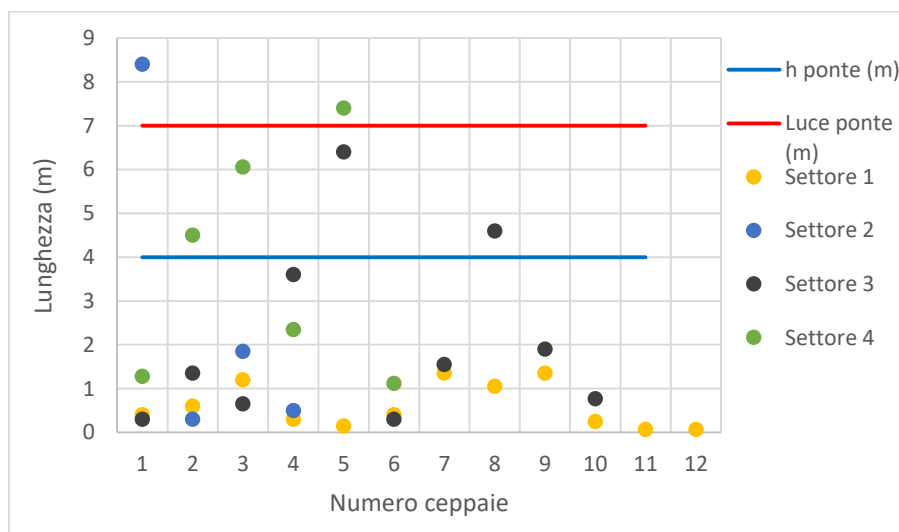


Fig. 19: Lunghezza e numero delle ceppaie per ogni settore, confrontato con la luce massima del ponte.



### 7.3.2 Analisi del volume delle ceppaie movimentabili

Per ogni ceppaia sono state misurate:

- altezza complessiva del tronco;
- altezza e ampiezza dell'apparato radicale (con due misure incrociate);
- diametro della ceppaia alla base e a metà lunghezza;
- lunghezza e diametro dei vari tronchi nelle ceppaie dei cedui.

Il volume della ceppaia è stato stimato sommando il volume del tronco (o dei tronchi in caso di ceduo), e il volume dell'apparato radicale. Il volume del tronco è stato stimato con il metodo di Huber e del "metro stereo" ( $V_{ms}$ ), mentre per l'apparato radicale si è optato per la stima del volume come se fosse un "tronco di cono" (seguendo quanto fatto anche negli studi precedenti). Per essere maggiormente cautelativi, il volume totale della ceppaia è stato stimato utilizzando per il tronco il valore ottenuto con il metro stereo [Tab.16]

Tab. 16: Volume delle ceppaie.

		<b>Settore 1</b>	<b>Settore 2</b>	<b>Settore 3</b>	<b>Settore 4</b>
<b>Tronco</b>	$V_{Huber} (m^3)$	0.03608	0.03773	0.15243	0.2582
	$V_{Huber+10\%} (m^3)$	0.03969	0.04151	0.16767	0.28402
	$V_{ms} (m^3)$	0.04594	0.04804	0.19407	0.32875
<b>Apparato radicale</b>	$V_{rad} (m^3)$	0.94551	0.0833	1.61601	0.28571
<b>Totale</b>	$V_{ms}+V_{rad}$	<b>0.99145</b>	<b>0.13134</b>	<b>1.81009</b>	<b>0.61446</b>

Il settore che presenta il volume maggiore per quanto riguarda le ceppaie movimentabili è il settore 3, infatti questo tratto è caratterizzato dalla presenza di una frana sulla sponda destra, la quale ha fornito alcune di queste ceppaie. Queste ceppaie potrebbero risultare essere molto pericolose, se un evento intenso le mobilita verso valle e quindi verso il ponte della strada provinciale 133. Il volume delle ceppaie movimentabili dei due settori più a valle è meno imponente, ma potrebbe comunque essere causa di un intasamento della briglia filtrante, in caso di eventi particolarmente intensi. Le ceppaie presenti nel settore 4 sono per lo più non facilmente movimentabili, è quindi dovuto a questo il volume ridotto.



### 7.3.3 Analisi delle ceppaie non facilmente movimentabili e “log steps”

Le ceppaie non facilmente movimentabili e i log steps sono presenti solo nel settore 4, dove l'alveo è meno ampio e ci sono numerosi fenomeni franosi sui versanti boscati. Inoltre in tale settore non vengono eseguiti regolari lavori di svaso e pulitura dell'alveo. La stima dei volumi è stata condotta allo stesso modo delle ceppaie movimentabili; però, per la maggior parte di questi elementi, il valore del volume risulta essere sottostimato, poiché presentano parti ricoperte da ghiaia e/o massi, che non hanno permesso una corretta misurazione dei parametri utilizzati per il calcolo del volume. Si è quindi ritenuto il caso di aumentare il volume stimato del 10% [Tab.17]

Tab. 17: Volumi delle ceppaie non movimentabili e log steps.

		Settore 4	
		Ceppaie non movimentabili	
<b>Tronco</b>	<b>V<sub>Huber</sub> (m<sup>3</sup>)</b>		4.8641
	<b>V<sub>Huber+10%</sub> (m<sup>3</sup>)</b>		5.3505
	<b>V<sub>ms</sub> (m<sup>3</sup>)</b>		6.1932
<b>Apparato radicale</b>	<b>V<sub>Tronco di cono</sub> (m<sup>3</sup>)</b>		7.0234
<b>Totale</b>	<b>(V<sub>ms</sub>+V<sub>rad</sub>)+10%</b>		<b>14.5383</b>

Dalla Tab. 17 si nota come il volume di questa categoria sia molto importante, ma dal punto di vista del pericolo è meno influente rispetto alle ceppaie movimentabili, poiché difficilmente riescono ad essere inglobate nella corrente.

In Tab. 18 sono riportati i volumi delle due categorie e la loro somma per il settore 4, dato che verrà utilizzato nel paragrafo successivo per il confronto dei volumi rispetto al totale.

Tab. 18: Confronto e somma totale dei volumi delle ceppaie del settore 4.

		Settore 4		
		Ceppaie movimentabili	Ceppaie non movimentabili	Totale
<b>Tronco</b>	<b>V<sub>Huber</sub> (m<sup>3</sup>)</b>	0.0361	4.8641	4.9002
	<b>V<sub>Huber+10%</sub> (m<sup>3</sup>)</b>	0.0397	5.3505	5.3902
	<b>V<sub>ms</sub> (m<sup>3</sup>)</b>	0.0459	6.1932	6.2391
<b>Apparato radicale</b>	<b>V<sub>Tronco di cono</sub> (m<sup>3</sup>)</b>	0.9455	7.0234	7.9689
<b>Totale</b>	<b>(V<sub>ms</sub>+V<sub>rad</sub>)+10%</b>	0.9914	14.5383	<b>15.5297</b>





#### 7.4 Influenza dei singoli settori sul volume complessivo e influenza delle singole categorie sul volume totale di ogni settore.

Il settore caratterizzato da un volume di LWD più rilevante è il settore 4 [Tab. 19], infatti da solo ha più del 50% del volume totale, soprattutto per via delle numerose ceppaie presenti; i settori con minor volume sono i settori intermedi.

Tab. 19: Volumi e percentuali del volume sul volume totale.

Settore 1	Settore 2	Settore 3	Settore 4	Totale	
9.545	2.445	3.625	20.643	36.259	m <sup>3</sup>
26.325	6.744	9.998	56.933	100.00	%

L'influenza delle singole categorie sul volume complessivo di ogni settore è rappresentata in Tab. 20. Nella categoria degli elementi dispersi, sono stati compresi anche quelli misurati sulla briglia filtrante, mentre la categoria ceppaie comprende sia le ceppaie movimentabili che quelle non movimentabili.

Le ceppaie influiscono notevolmente sul totale del volume di LWD, infatti risultano essere quasi la metà del volume totale presente in alveo; altro elemento che influisce sono i cluster, poiché essendo ammassi di tronchi, tronchetti, ramaglia che si costituiscono come elemento unico, anche se in numero ridotto, formano un volume rilevante.

Valutando l'influenza delle diverse categorie in ogni singolo settore [Tab.20], si nota che nei settori 1 e 2 i cluster sono quelli che contribuiscono maggiormente al volume dei due tratti; potrebbe essere che, a causa dei moti turbolenti della corrente in regime di piena, gli elementi dispersi dei settori a monte tendano a formare questi aggregati, per poi depositarsi in alveo con il rallentare del flusso o a fine evento. Nei settori 3 e 4 (quelli più a monte) sono le ceppaie a costituire il maggior volume presente, anche se nel settore 3 anche il volume degli elementi dispersi è rilevante. Il settore 4 è quello che presenta il volume complessivo più elevato, questo è dovuto soprattutto alle ceppaie non o poco movimentabili che lo caratterizzano.



Tab. 20 Comparazione tra i volumi delle singole categorie e il volume totale stimato.

	Elementi dispersi	Cluster	Ceppaie	Totale	
Settore 1	2.045	6.553	0.991	9.545	m <sup>3</sup>
	21.324	68.337	10.338	100.000	%
Settore 2	0.831	1.483	0.131	2.445	m <sup>3</sup>
	33.974	60.655	5.372	100.000	%
Settore 3	1.632	0.183	1.810	3.625	m <sup>3</sup>
	45.026	5.044	49.930	100.000	%
Settore 4	2.729	2.762	15.153	20.643	m <sup>3</sup>
	13.220	13.377	73.403	100.000	%
Volume	7.237	10.981	18.086	36.303	m <sup>3</sup>
Totale	19.93	30.25	49.82	100.00	%



## 8. Confronto tra 2021 e 2023 nel Settore 4

### 8.1 Confronto degli elementi dispersi

Nel luglio del 2023 si sono effettuati altri rilievi nel settore 4. Sono stati eseguiti solo in questo settore per due motivi principali: il primo perché gli altri settori sono stati più o meno intensamente interessati da lavori, il secondo perché il settore 4 era il settore maggiormente interessato dalla presenza di LWD.

Il settore 4 presenta valori molto differenti nei due rilievi, infatti già nel primo sopralluogo del 2023 si è potuto constatare visivamente che, rispetto al 2021, il tratto in oggetto era molto più ricoperto da detriti rocciosi di granulometria medio/fine rispetto all'anno 2021. Successivamente tale impressione è stata confermata dal numero di elementi rilevati, di gran numero inferiore rispetto allo stesso settore nel 2021 [Tab. 20 e Fig. 21]. I tecnici del Servizio Bacini Montani della Provincia Autonoma di Trento hanno confermato che il bacino ha piene ordinarie con trasporto solido molto frequenti, che non vengono considerate eventi di particolare rilevanza, ma che modificano anche in modo rilevante la presenza in alveo, soprattutto del materiale più piccolo e leggero.

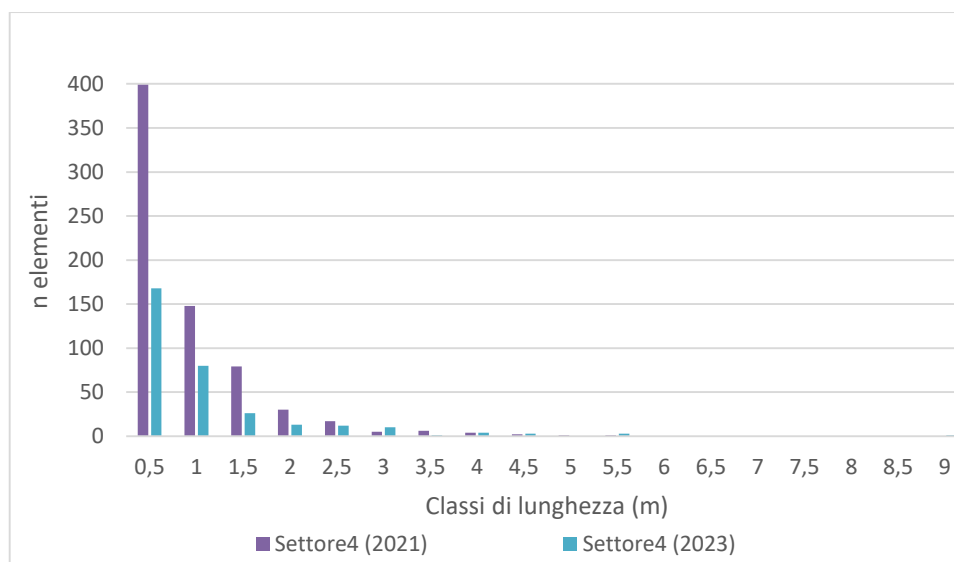


Fig. 20: Istogramma riportante il numero di elementi dispersi presenti nel settore 4 nei due rilievi: anno 2021 e 2023



Tab. 21: Numero di elementi dispersi per classe di lunghezza nel settore 4 negli anni 2021 e 2023

Classi di lunghezza (m)	Settore4 (2021)	Settore4 (2023)
0.5	399	168
1	148	80
1.5	79	26
2	30	13
2.5	17	12
3	5	10
3.5	6	1
4	4	4
4.5	2	3
5	1	0
5.5	1	3
6	0	0
6.5	0	0
7	0	0
7.5	0	0
8	0	0
8.5	0	0
9	0	1
9.5	0	0
<b>Totale</b>	<b>692</b>	<b>321</b>

Per quanto riguarda la lunghezza media e il diametro medio degli elementi dispersi, si può notare come nel rilievo del 2023 entrambi presentino valori maggiori rispetto a quelli del 2021 [Tab. 22 e 23], probabilmente per la stessa motivazione legata al numero di elementi rilevati: le piene ordinarie avvenute nel periodo tra i due rilievi hanno fatto sì che gli elementi più piccoli venissero ricoperti da materiale detritico di origine rocciosa oppure che venissero trasportati verso valle dalla corrente.

Tab. 22: Lunghezza media (m) nel settore 4 nei 2 differenti rilievi

Lunghezza media (m) - Settore 4	
2021	2023
88.56	105.52



Tab. 23: Diametro medio (cm) nel settore 4 nei 2 differenti rilievi

Diametro medio (cm) - Settore 4	
2021	2023
4.44	4.91

Il volume stimato nel settore 4, nonostante la lunghezza e il diametro degli elementi misurati nel 2023 siano maggiori, risulta comunque di molto inferiore rispetto a quello stimato nel 2021 (quasi la metà), a causa della differenza importante in termini numerici tra i due rilievi.

Tab. 24: Volume nel settore 4 nei 2 differenti rilievi

	Settore 4 (m <sup>3</sup> )	
	2021	2023
$V_{\text{Huber}}$ (m <sup>3</sup> )	2.142	1.070
$V_{\text{Huber}+10\%}$ (m <sup>3</sup> )	2.356	1.177
$V_{\text{ms}}$ (m <sup>3</sup> )	2.729	1.363

## 8.2 Confronto dei cluster

Il numero di cluster nel Settore 4 dal 2021 al 2023 è diminuito drasticamente, passando da 18 a 6 ammassi; anche il volume totale è di conseguenza diminuito, anche se non in modo proporzionale al numero. I pochi cluster del 2023 erano di dimensioni maggiori rispetto a quelli del 2021.

Tab. 25: Numero e volume (m<sup>3</sup>) dei cluster nel Settore 4 nei rilievi 2021 e 2023.

Settore 4		
	2021	2023
Numero	18	6
Volume (m <sup>3</sup> )	2.762	1.809

## 8.3 Confronto delle ceppaie

In questo paragrafo sono state confrontate le sole ceppaie movimentabili, poiché quelle non movimentabili e i log steps sono rimasti invariati.

Nel tempo intercorso tra i due rilievi, le ceppaie movimentabili sono aumentate da 6 a 10, ma il loro volume si è ridotto, dimezzandosi. Il numero aumenta nel tempo, perché lateralmente



all'alveo sono individuabili delle frane di sponda, che presentano anche qualche pianta instabile nella loro superficie.

La parte terminale del tratto analizzato è stata interessata, poco prima del rilievo del 2023, da lavori di sistemazione, quindi qualche ceppaia qui presente, potrebbe essere stata rimossa artificialmente.

Tab. 26: Confronto tra le ceppaie movimentabili nei rilievi del 2021 e del 2023 nel Settore 4.

		Ceppaie movimentabili	
		2021	2023
<b>Tronco</b>	$V_{\text{Huber}} \text{ (m}^3\text{)}$	0.2582	0.102773
	$V_{\text{Huber}+10\%} \text{ (m}^3\text{)}$	0.2840	0.113051
	$V_{\text{ms}} \text{ (m}^3\text{)}$	0.3287	0.130855
<b>Apparato radicale</b>	$V_{\text{Tronco di cono}} \text{ (m}^3\text{)}$	0.2857	0.149142
<b>Totale</b>	$(V_{\text{ms}}+V_{\text{rad}})+10\%$	0.6145	0.307997



## 9. Confronto con i rilievi precedenti

Come anticipato nei capitoli precedenti, in particolare nel paragrafo 6.1.1, sono stati effettuati altri rilievi del legname in alveo sul Rio Rì negli anni passati: nel 2004 sono stati effettuati due rilievi da Furlan (ad agosto e a dicembre post evento), nel 2010 è stato campionato il solo settore 4 ad opera dell'Ing. Masetto (a seguito di un evento), nel 2011 Alberti ha campionato il settore 1 ed infine nel 2013 Arena ha svolto un campionamento dell'intero tratto dalla briglia austriaca alla briglia filtrante. Il confronto dei rilievi precedenti con i dati rilevati per questo lavoro, si è pertanto limitato ai dati disponibili, settore per settore.

In particolare, il confronto è stato eseguito a partire da quanto già presente nel lavoro di Arena (2014) e implementato con i rilievi del 2021 e del 2023 (nel caso del settore 4).

### 9.1 Confronto degli elementi dispersi

L'analisi è stata eseguita utilizzando la stessa metodologia adottata per lo studio del rilievo al capitolo precedente. Sono stati quindi elaborati i dati degli elementi dispersi in termini di quantità per ogni classe di lunghezza, di lunghezza media e di diametro medio per ogni singolo settore.

#### 9.1.1 Settore 1

In Tab. 27 sono riportati gli elementi dispersi misurati per ogni classe di lunghezza durante i 5 rilievi nel settore 1. Il rilievo che mostra il maggior numero di LWD è sicuramente quello del 2004 post piena, seguito da quello eseguito nel 2021.

Tab. 27: Confronto tra numero di elementi dispersi per classe di lunghezza nel Settore 1.

<b>Settore 1</b>					
	<b>2004 pre piena</b>	<b>2004 post piena</b>	<b>2011</b>	<b>2013</b>	<b>2021</b>
<b>0.5</b>	96	373	18	7	599
<b>1</b>	125	371	60	54	130
<b>1.5</b>	57	125	42	30	41
<b>2</b>	31	43	41	25	19
<b>2.5</b>	14	22	12	5	5
<b>3</b>	16	22	7	2	0



<b>3.5</b>	6	7	7	3	0
<b>4</b>	4	8	18		1
<b>4.5</b>	2	8	0		0
<b>5</b>	2		13		1
<b>5.5</b>			3		0
<b>6</b>		2	4		1
<b>6.5</b>		1	2		0
<b>7</b>		2	0		0
<b>7.5</b>			0		0
<b>8</b>			0		0
<b>8.5</b>			0		0
<b>9</b>			1		0
<b>Totale</b>	353	984	228	126	797

Dal grafico in Fig.21 si nota come il rilievo del 2021, nel settore 1, abbia un numero di elementi dispersi di gran lunga maggiore rispetto ai precedenti rilievi (ad esclusione di quello post evento del 2004), soprattutto per quanto riguarda gli elementi di piccole dimensioni (classe di lunghezza di 0.5m). In ogni caso, si può notare come le prime classi di lunghezza siano le più numerose in tutti i rilievi. Al riguardo si possono ipotizzare alcune motivazioni, non supportate da dati certi. Una prima ipotesi potrebbe essere che l'alveo del Rio, al momento del rilievo del 2021, non fosse stato ancora svasato dal materiale trasportato dall'evento del dicembre del 2020 e che quindi possa essere paragonato al rilievo post evento del 2004. Una seconda ipotesi potrebbe essere che nel periodo precedente al rilievo, si fossero susseguite delle piene non straordinarie, ma con trasporto solido non trascurabile. Oppure potrebbe essere una combinazione delle due precedenti ipotesi. Per avere maggiori certezze, riferendosi questo settore a una piazza di deposito, il cui materiale di alveo viene venduto, bisognerebbe approfondire quando e quanto materiale sia stato asportato prima, durante e dopo gli eventi.



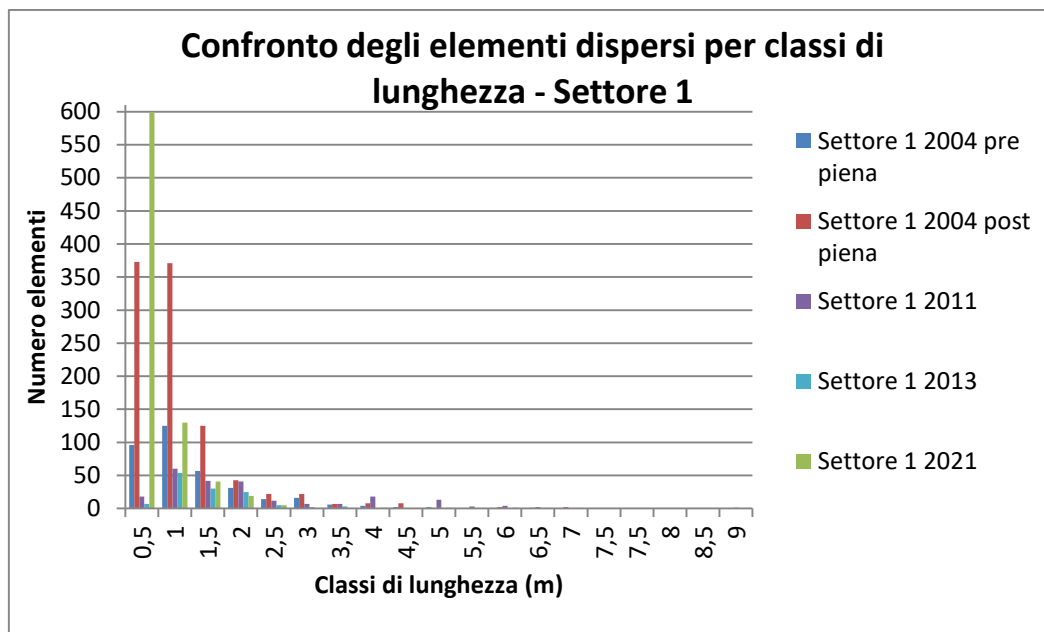


Fig. 21: Confronto degli elementi dispersi per classi di lunghezza nel Settore 1.

Per quanto riguarda i valori di lunghezza media degli elementi dispersi nel Settore 1 [Tab.28 e Fig.22] si nota che c'è stata una diminuzione tra pre e post evento del 2004, c'è poi stato un aumento nel rilievo del 2011, per poi subire una flessione nei successivi rilievi. Nel caso del diametro medio, i rilievi del 2004 e del 2021 presentano valori molto simili, mentre i rilievi del 2011 e del 2013 presentano dei valori medi leggermente maggiori [Tab.28 e Fig.23].

Tab. 28: Valori di lunghezza media e diametro medio degli elementi dispersi nel Settore 1 nei diversi rilievi.

<b>Settore 1</b>		
<b>Rilievo</b>	<b>Lunghezza media (m)</b>	<b>Diametro medio (cm)</b>
2004 pre piena	1.302	4.827
2004 post piena	1.095	4.756
2011	2.147	7.193
2013	1.440	6.548
2021	0.805	4.885

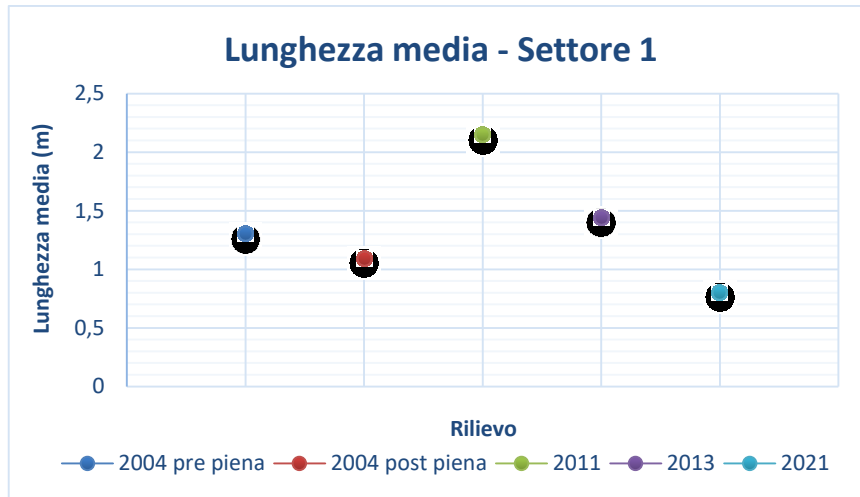


Fig. 22: Confronto tra le lunghezze medie degli elementi dispersi nel Settore 1.

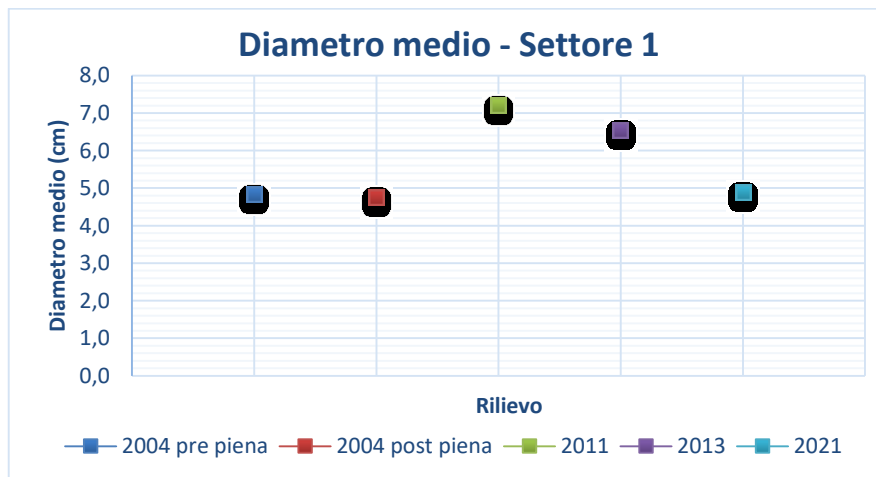


Fig. 23: Confronto tra i diametri medi degli elementi dispersi nel Settore 1.

Come per l'analisi del rilievo del 2021, i volumi sono stati stimati con tre metodologie (formula di Huber, formula di Huber + 10% e metro stereo). Dal confronto [Tab. 29 e Fig. 24] si può notare come i rilievi che presentano volumi maggiori siano: quello effettuato a seguito dell'evento del 2004 (il volume risulta essere più del doppio rispetto a quello pre evento) e quello del 2011. I valori minimi sono quelli del campionamento del 2013, la cui motivazione è legata al fatto che pochi mesi prima il Settore fu interessato da lavori di pulizia della piazza di deposito (Arena, 2014), e quelli del rilievo del 2021, leggermente maggiori del minimo del 2013.

Tab. 29: Valori in m<sup>3</sup> degli elementi dispersi nel Settore 1 nei diversi campionamenti.

Settore 1					
	2004 pre piena	2004 post piena	2011	2013	2021
<b>V<sub>Huber</sub> (m<sup>3</sup>)</b>	1.298	2.731	2.668	1.159	1.570
<b>V<sub>Huber+10%</sub> (m<sup>3</sup>)</b>	1.428	3.004	2.935	1.275	1.727
<b>V<sub>ms</sub> (m<sup>3</sup>)</b>	1.654	3.479	3.399	1.477	2.000

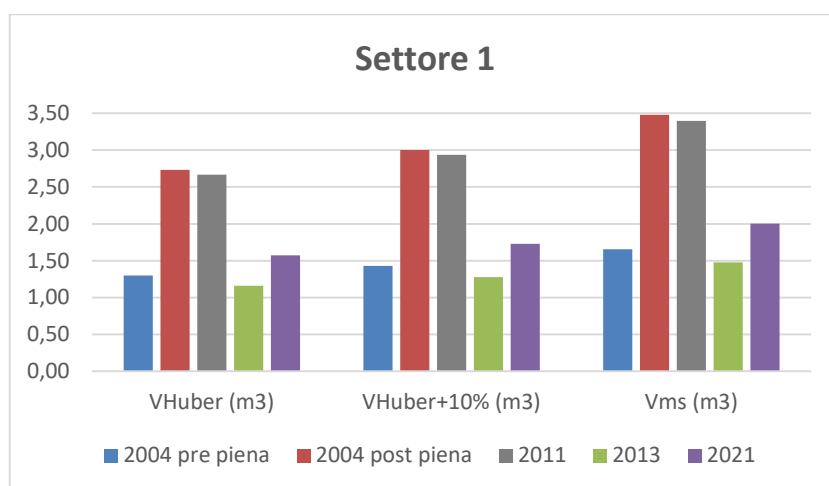


Fig. 24: Confronto tra i volumi stimati nel Settore 1 nei diversi rilievi.

Dato che il Settore 1 è delimitato dalla briglia filtrante, in questo paragrafo si è analizzato anche il materiale legnoso disperso trattenuto nei filtri della briglia. Dalla Fig. 25 si può notare come il rilievo che presenta il maggior numero di elementi dispersi intrappolati nei filtri della briglia n°6 sia quello relativo al post piena del 2004, a conferma della funzionalità della briglia ma anche della capacità ostruttiva del legname nei confronti di opere di trattenuta come questa. Nel 2013 la briglia era stata da poco ripulita dal materiale (Arena, 2014), quindi presentava valori quasi nulli di LWD incastrato. Invece, i rilievi pre evento 2004 e quelli del 2021 hanno valori comparabili di volume di materiale legnoso incastrato nei filtri.

Tab. 30: Volume degli elementi dispersi intrappolati nella briglia filtrante

Volume degli elementi dispersi nella briglia filtrante					
	2004 pre piena	2004 post piena	2013	2021	
<b>V<sub>Huber</sub> (m<sup>3</sup>)</b>	0.033	0.214	0.007	0.035	
<b>V<sub>Huber+10%</sub> (m<sup>3</sup>)</b>	0.036	0.236	0.007	0.039	
<b>V<sub>ms</sub> (m<sup>3</sup>)</b>	0.042	0.273	0.009	0.045	

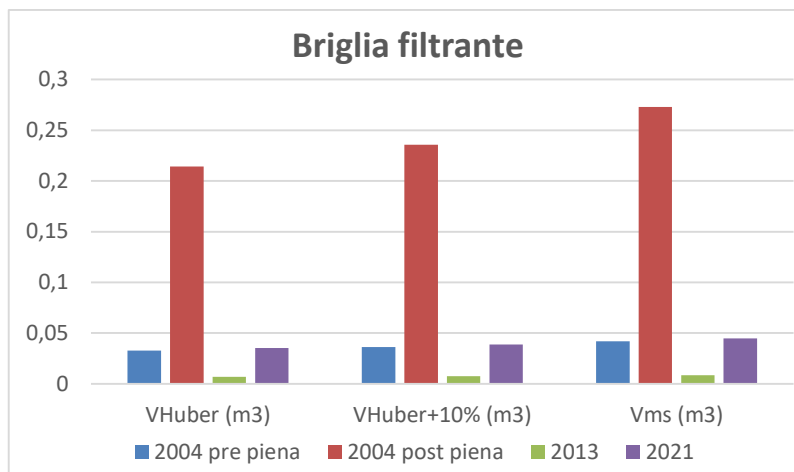


Fig. 25: Volume degli elementi dispersi nella briglia filtrante

## 9.1.2 Settore 2

Anche il Settore 2 presenta un numero maggiore di elementi dispersi nei rilievi 2004 post piena e 2021, anche se in questo caso la differenza tra le varie misurazioni è minore rispetto al Settore 1. Il rilievo con minor elementi, anche in questo caso, è risultato essere quello del 2013.

Tab. 31: Confronto tra numero di elementi dispersi per classe di lunghezza nel Settore 2.

Settore 2				
	2004 pre piena	2004 post piena	2013	2021
<b>0.5</b>	39	72	21	107
<b>1</b>	44	83	51	54
<b>1.5</b>	19	27	22	26
<b>2</b>	10	10	5	10
<b>2.5</b>	6	5	1	4
<b>3</b>	6	3	1	1
<b>3.5</b>	5	2	2	1
<b>4</b>	1	3	0	0
<b>4.5</b>	1	2	0	3
<b>5</b>		2	0	0
<b>5.5</b>			1	0
<b>6</b>				0
<b>6.5</b>		1		0
<b>Totale</b>	<b>131</b>	<b>210</b>	<b>104</b>	<b>206</b>



Per quanto riguarda la distribuzione in base alle classi di lunghezza [Fig.26], i rilievi del 2021 e del 2004 post evento presentano molti più elementi delle prime classi rispetto agli altri campionamenti. In particolare, il rilievo del 2021 vede predominare elementi della prima classe (classe 0.5 m), mentre quello del 2004 post evento presenta numerosi elementi sia della prima che della seconda classe, quindi elementi vicini al metro di lunghezza o inferiori. Per quanto riguarda le classi superiori, si può dire invece che sono abbastanza paragonabili l'un l'altro. Inoltre, in questo settore, non si sono rilevati elementi di particolare lunghezza: il più lungo è stato un elemento della classe 6.5 m nel rilievo 2004 post piena.

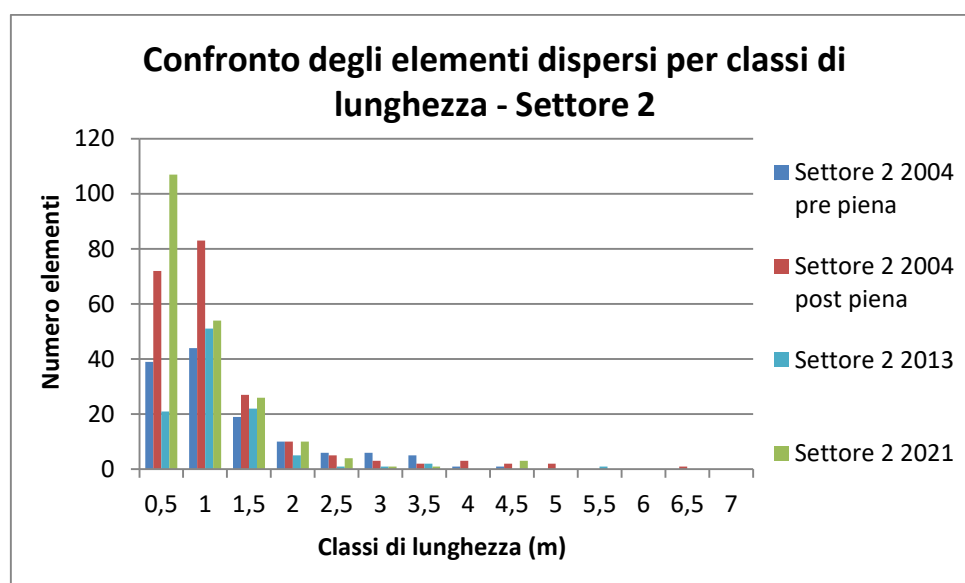


Fig. 26: Confronto degli elementi dispersi per classi di lunghezza nel Settore 2.

La lunghezza media nel Settore 2 ha visto una progressiva diminuzione, con valori molto simili quasi costanti nei rilievi del 2004 post evento e 2013 [Tab.32 e Fig.27]. Il diametro medio risulta essere molto simile nei 4 campionamenti [Tab.32 e Fig.28]; si nota però che a seguito dell'evento del 2004 c'è stato un aumento del diametro medio rispetto al campionamento pre piena.

Tab. 32: Valori di lunghezza media e diametro medio degli elementi dispersi nel Settore 2 nei diversi rilievi.

Settore 2		
Rilievo	Lunghezza media (m)	Diametro medio (cm)
2004 pre piena	1.305	4.741
2004 post piena	1.169	5.257
2013	1.178	5.365
2021	0.888	4.987

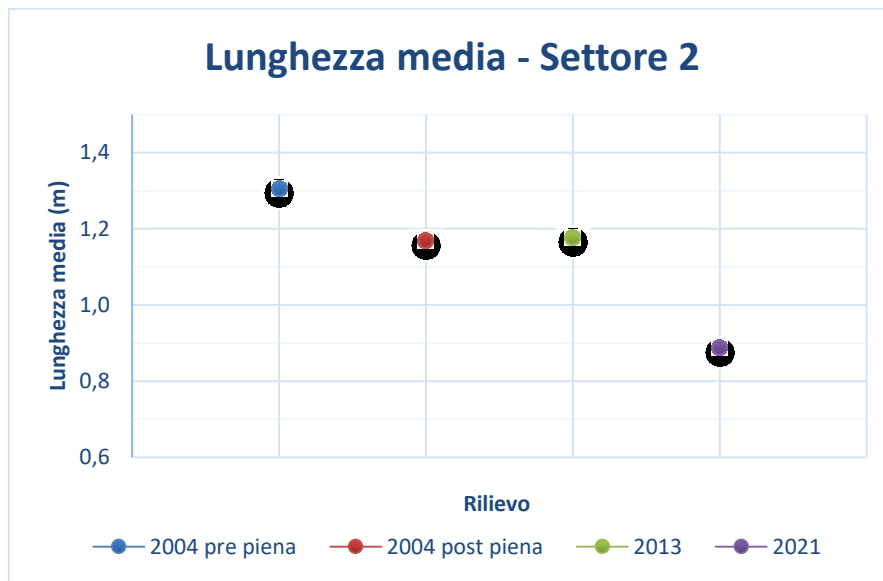


Fig. 27: Confronto tra le lunghezze medie degli elementi dispersi nel Settore 2.

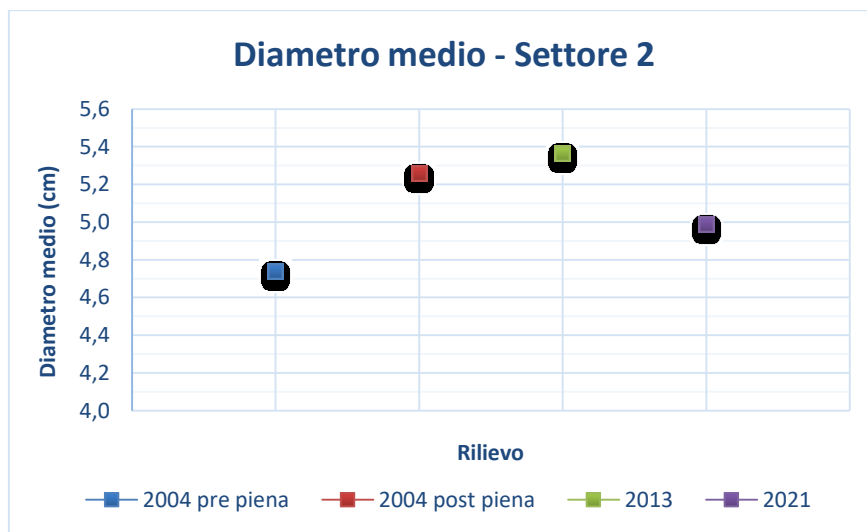


Fig. 28: Confronto tra i diametri medi degli elementi dispersi nel Settore 2.

Anche nel Settore 2 il rilievo che presenta volumi maggiori è quello eseguito a seguito dell'evento di piena del 2004. Infatti, nonostante il rilievo pre piena presentasse una lunghezza media degli elementi dispersi maggiore, quello post evento, avendo un maggior numero di elementi dispersi e diametro leggermente maggiore rispetto al campionamento pre piena, presenta un volume di poco inferiore al doppio rispetto al primo. Il volume del campionamento del 2013 ha visto invece una flessione rispetto al Settore 1, dove presentava valori simili al



rilievo post evento. Il volume del rilievo del 2021 si colloca in questo Settore tra quello del 2004 post piena e quello del 2013 [Tab. 33 e Fig. 29].

Tab. 33: Valori in  $m^3$  degli elementi dispersi nel Settore 2 nei diversi campionamenti.

Settore 2				
	2004 pre piena	2004 post piena	2013	2021
$V_{Huber} (m^3)$	0.473	0.861	0.517	0.652
$V_{Huber+10\%} (m^3)$	0.521	0.947	0.569	0.717
$V_{ms} (m^3)$	0.603	1.097	0.658	0.831

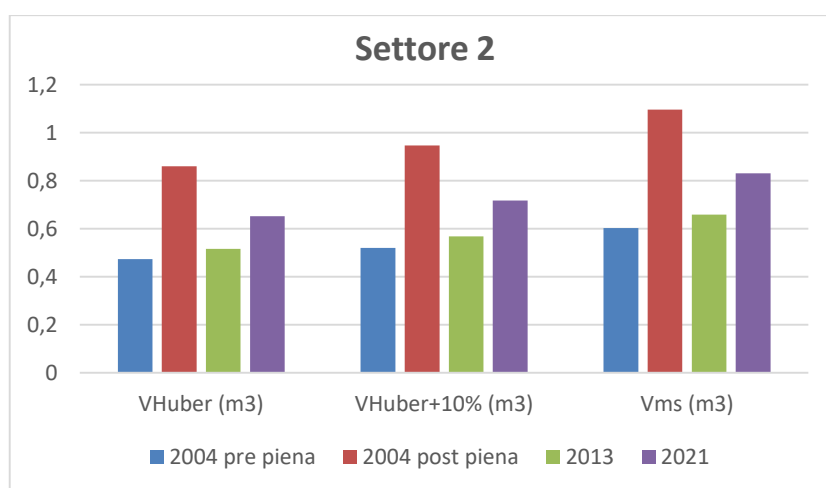


Fig. 29: Confronto tra i volumi stimati nel Settore 2 nei diversi rilievi.

### 9.1.3 Settore 3

Il settore 3 presenta delle differenze rilevanti rispetto ai settori precedenti. In questo caso infatti, ad avere il maggior numero di elementi dispersi sono i rilievi del 2021 seguito da quello del 2013 [Tab.34]. I pochi elementi del pre piena del 2004, sono dovuti probabilmente alle condizioni dell'alveo e delle sponde diverse dalle attuali. Per quanto riguarda l'assenza quasi totale di elementi dispersi nel campionamento post piena 2004, è dovuta allo svuotamento causato dalla piena, la quale ha trascinato a valle il poco materiale legnoso presente (Arena, 2014).

La piena del 2010 (di cui è stato campionato solo il materiale del Settore 4), ha causato dei cambiamenti geomorfologici a questo settore (come pure a valle di esso), che ne hanno determinato un maggior accumulo di legname nel tempo (Arena, 2014).



Tab. 34: Confronto tra numero di elementi dispersi per classe di lunghezza nel Settore 3.

<b>Settore 3</b>				
	<b>2004 pre piena</b>	<b>2004 post piena</b>	<b>2013</b>	<b>2021</b>
<b>0.5</b>	26	4	33	209
<b>1</b>	16	4	123	87
<b>1.5</b>	0	1	47	45
<b>2</b>	7	0	18	28
<b>2.5</b>	2	0	18	8
<b>3</b>			5	2
<b>3.5</b>			4	2
<b>4</b>			1	3
<b>4.5</b>			1	1
<b>5</b>			0	0
<b>5.5</b>			2	1
<b>6</b>			0	2
<b>6.5</b>			1	0
<b>7</b>				0
<b>7.5</b>				0
<b>8</b>				1
<b>8.5</b>				1
<b>Totale</b>	<b>51</b>	<b>9</b>	<b>253</b>	<b>390</b>

Anche nel caso del settore 3, gli elementi prevalenti sono quelli delle classi inferiori [Fig.30], con presenza di qualche elemento di maggiori dimensioni nei rilievi del 2021 e del 2013.



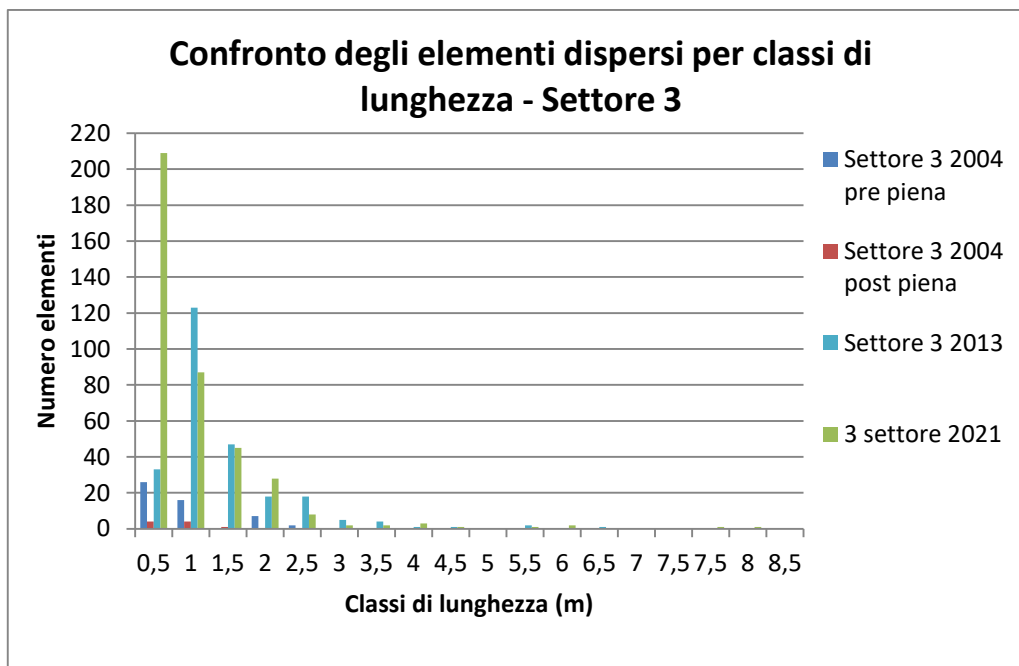


Fig. 30: Confronto degli elementi dispersi per classi di lunghezza nel Settore 3.

Il settore 3 presenta lunghezze medie vicine a 1 m [Tab.35 e Fig.31], nel rilievo post piena il valore risulta leggermente inferiore, mentre in quello del 2013 la media risulta essere qualche decina di centimetri maggiore.

Il diametro medio degli elementi presenta valori diversi nei quattro campionamenti, con valori minimi stimati nel rilievo post evento 2004, e massimi nel pre evento del 2004 [Tab.35 e Fig.32].

Tab. 35: Valori di lunghezza media e diametro medio degli elementi dispersi nel Settore 3 nei diversi rilievi.

Settore 3		
Rilievo	Lunghezza media (m)	Diametro medio (cm)
2004 pre piena	0.941	5.902
2004 post piena	0.833	3.333
2013	1.368	5.680
2021	0.992	4.618

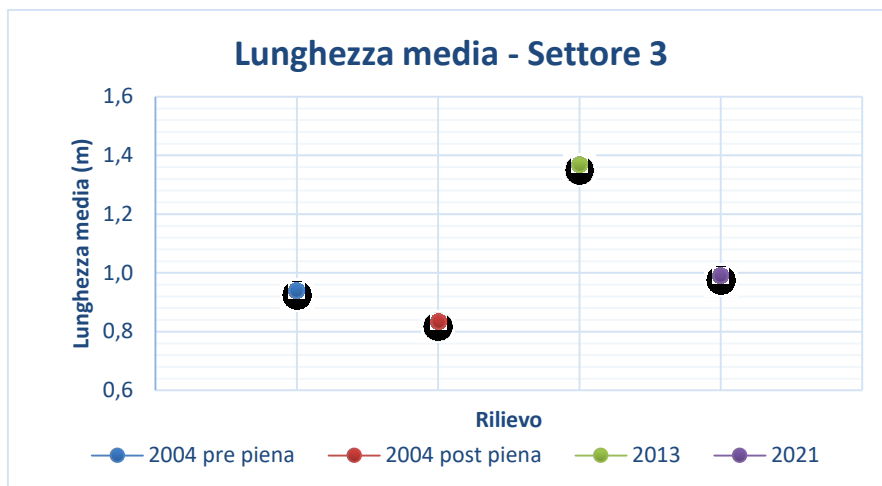


Fig. 31: Confronto tra le lunghezze medie degli elementi dispersi nel Settore 3.

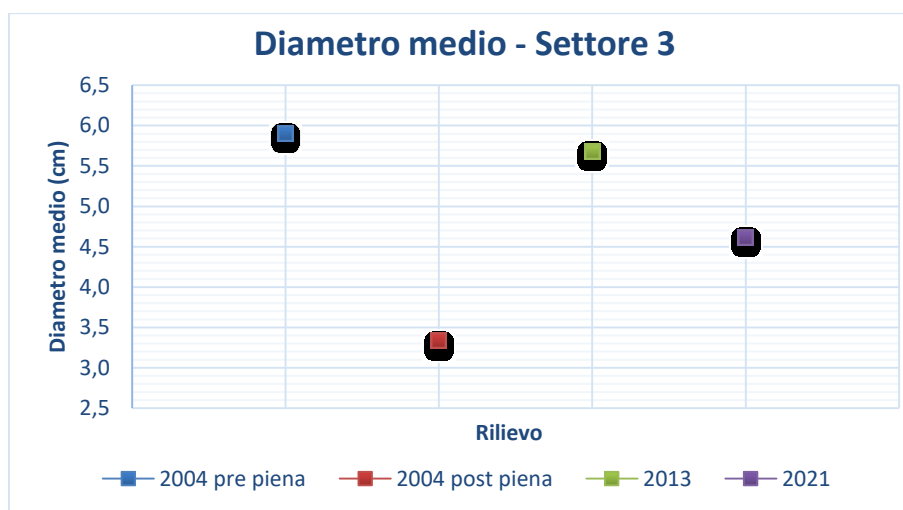


Fig. 32: Confronto tra i diametri medi degli elementi dispersi nel Settore 3.

Il Settore 3 presenta delle differenze sostanziali anche nel numero degli elementi dispersi rispetto ai precedenti settori, e, di conseguenza, nel volume [Tab.36 e Fig.33]: nel rilievo post evento 2004 il volume risulta quasi nullo, partendo da valori di volume già bassi rilevati nel pre evento, mentre risulta più abbondante e paragonabile nei rilievi successivi (quelli del 2013 e del 2021).

Tab. 36: Valori in m<sup>3</sup> degli elementi dispersi nel Settore 3 nei diversi campionamenti.

Settore 3				
	2004 pre piena	2004 post piena	2013	2021
<b>V<sub>Huber</sub> (m<sup>3</sup>)</b>	0.218	0.007	1.335	1.281
<b>V<sub>Huber+10%</sub> (m<sup>3</sup>)</b>	0.240	0.007	1.468	1.409
<b>V<sub>ms</sub> (m<sup>3</sup>)</b>	0.278	0.009	1.700	1.632

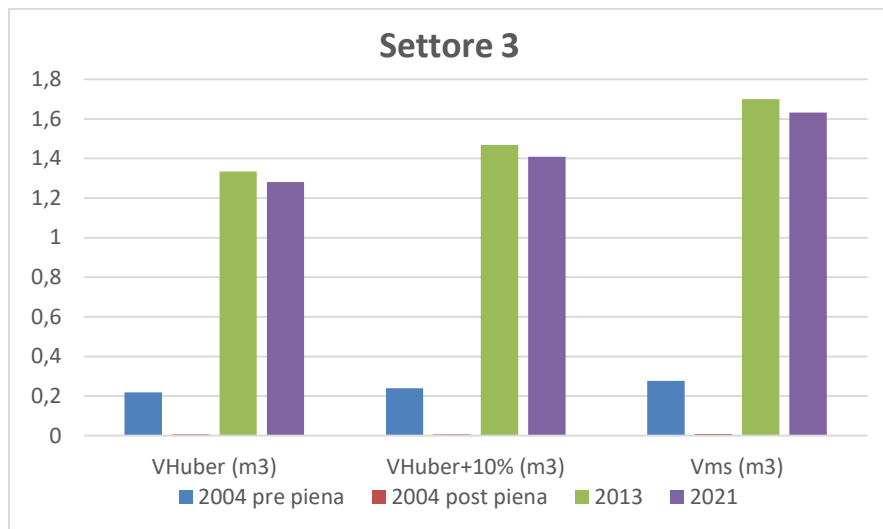


Fig. 33: Confronto tra i volumi stimati nel Settore 3 nei diversi rilievi.

#### 9.1.4 Settore 4

Il Settore 4 è forse il settore più oggettivo, poiché non è mai stato soggetto a svasi o a lavori particolari, se non a qualche taglio di rami di piante a lato dell'alveo; inoltre ha ben 5 campionamenti [Tab.37].

Il rilievo che presenta un maggior numero di elementi, diversamente da quanto misurato negli altri 3 settori, è il campionamento pre piena del 2004. Ciò è interessante, poiché si può sostenere che a seguito dell'evento del novembre 2004, gran parte degli elementi dispersi presenti nel settore 4 e 3 siano stati trasportati dalla corrente nei settori più a valle.

Interessante è anche vedere come ci sia stata una brusca diminuzione del numero di elementi nel rilievo del 2023, dopo una presenza quasi costante (in numero) nei 17 anni di osservazione. Si è quindi chiesto ai Servizi Bacini Montani se, dopo il 2021, ci fosse stato qualche evento eccezionale, ma i dati dell'ultimo evento rilevante in loro possesso datavano dicembre 2020. Consultando quindi i dati storici forniti dal sito di Meteotrentino, si è notato che nel periodo intercorso tra gli ultimi due rilievi, alcune precipitazioni più intense erano avvenute a luglio 2022 poco dopo il primo rilievo e a maggio 2023 poco prima del secondo rilievo. Questi eventi potrebbero aver causato del trasporto solido che ha alterato il numero e la composizione del detrito in alveo, pur non determinando un evento di piena straordinaria. Infatti, come già accennato al paragrafo 8.1., nel momento del secondo rilievo l'alveo risultava maggiormente ricoperto da detriti di roccia a granulometria fine.



Tab. 37: Confronto tra numero di elementi dispersi per classe di lunghezza nel Settore.

Settore 4						
	2004 pre piena	2004 post piena	2010	2013	2021	2023
<b>0.5</b>	272	199	241	149	399	168
<b>1</b>	388	228	218	308	148	80
<b>1.5</b>	177	106	134	146	79	26
<b>2</b>	97	44	60	55	30	13
<b>2.5</b>	55	21	26	20	17	12
<b>3</b>	35	12	11	11	5	10
<b>3.5</b>	25	9	5	6	6	1
<b>4</b>	10	5	2	1	4	4
<b>4.5</b>	13	5	0	2	2	3
<b>5</b>	2	5	3	0	1	0
<b>5.5</b>	7	0	2	1	1	3
<b>6</b>	3	2	0	1	0	0
<b>6.5</b>	1	0	0	0	0	0
<b>7</b>	2	1	1	1	0	0
<b>7.5</b>	0				0	0
<b>8</b>	0				0	0
<b>8.5</b>	1				0	0
<b>9</b>	2				0	1
Totale	1090	637	703	701	692	321

A differenza dei primi due settori, in questo tratto analizzato non ci sono somiglianze tra il rilievo post piena 2004 e il rilievo del 2021 [Fig.34].

Anche in questo caso, la maggioranza degli elementi dispersi appartiene alle classi di lunghezza più basse, con netta predominanza di quelli più corti di 2 m.

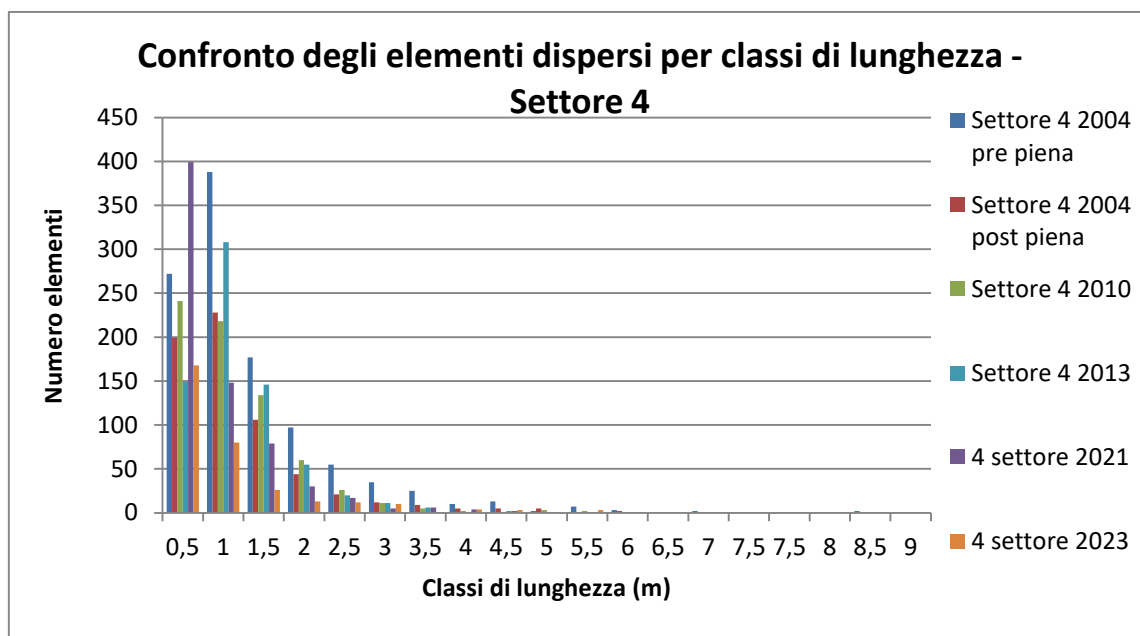


Fig. 34: Confronto degli elementi dispersi per classi di lunghezza nel Settore 4.

La lunghezza media degli elementi dispersi nel Settore 4 è maggiore al 1 m di lunghezza in tutti i rilievi, a parte in quello del 2021 [Tab.38 e Fig.35]; il diametro medio è in tutti i rilievi maggiore a 4 cm, il rilievo post evento del 2010 è quello che presenta il valore maggiore [Tab.38 e Fig.36].

Tab. 38: Valori di lunghezza media e diametro medio degli elementi dispersi nel Settore 4 nei diversi rilievi.

<b>Settore 4</b>		
<b>Rilievo</b>	<b>Lunghezza media (m)</b>	<b>Diametro medio (cm)</b>
2004 pre piena	1.400	4.193
2004 post piena	1.226	4.613
2010	1.161	5.226
2013	1.208	4.833
2021	0.886	4.436
2023	1.055	4.906

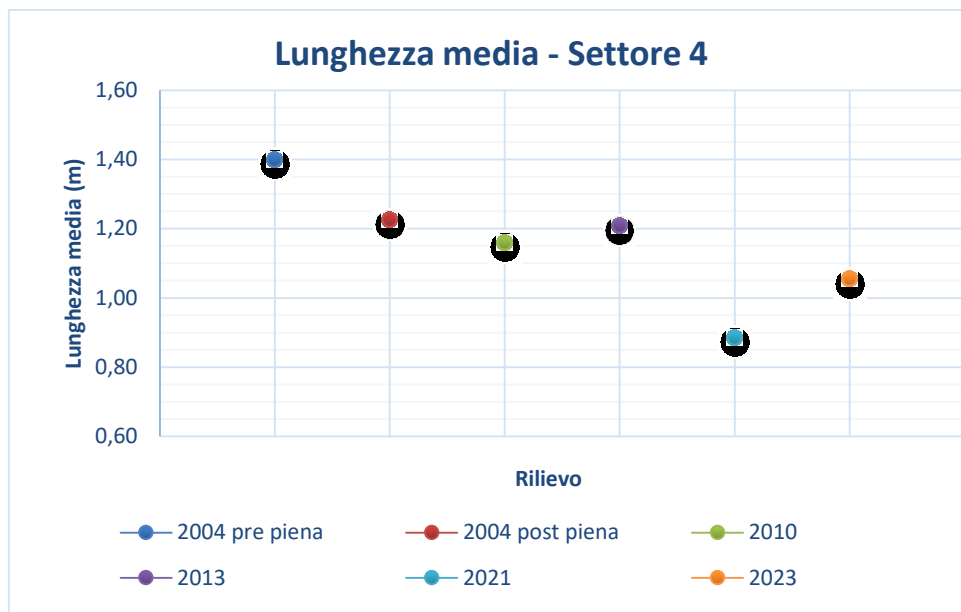


Fig. 35: Confronto tra le lunghezze medie degli elementi dispersi nel Settore 4.

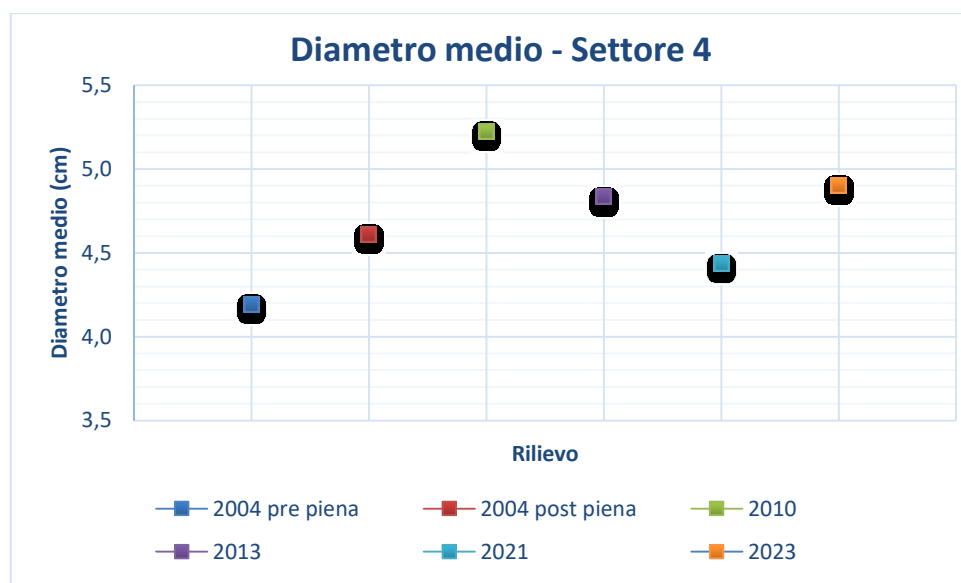


Fig. 36: Confronto tra i diametri medi degli elementi dispersi nel Settore 4.

Il volume nel Settore 4 [Tab. 39 e Fig.37] presenta un valore elevato nel rilievo pre piena del 2004, questo poi si è ridotto a seguito dell'evento, per poi aumentare successivamente. Nel post piena 2010, a differenza del post piena del 2004, il volume non ha subito una diminuzione rilevante; anzi, secondo il lavoro di Arena (2014), si è assistito a un incremento di legname a seguito delle frane delle sponde generate dalla piena, con conseguente caduta di piante e materiale disperso in alveo.

Negli anni successivi, si è assistito a un decremento del volume nel tempo.

Tab. 39: Valori in m<sup>3</sup> degli elementi dispersi nel Settore 4 nei diversi campionamenti.

Settore 4						
	2004 pre piena	2004 post piena	2010	2013	2021	2023
$V_{Huber}$ (m <sup>3</sup> )	3.815	2.419	3.206	2.753	2.142	1.070
$V_{Huber+10\%}$ (m <sup>3</sup> )	4.197	2.661	3.526	3.028	2.356	1.177
$V_{ms}$ (m <sup>3</sup> )	4.860	3.081	4.084	3.507	2.729	1.363

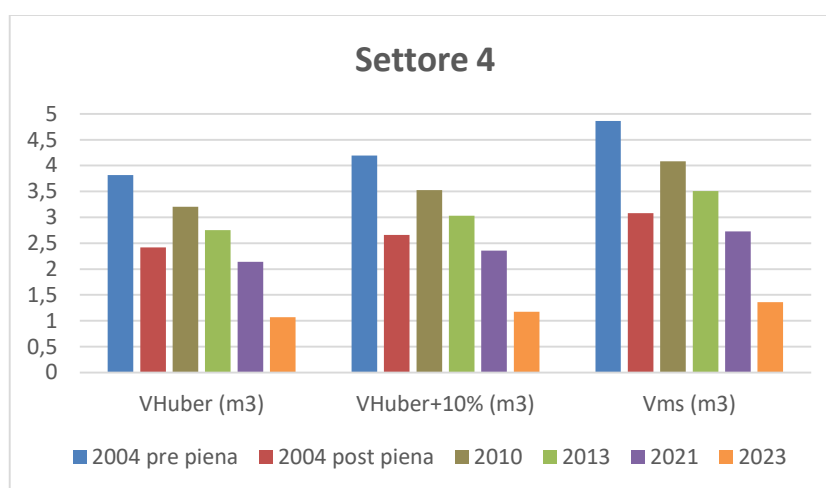


Fig. 37: Confronto tra i volumi stimati nel Settore 4 nei diversi rilievi.

### 9.1.5 Confronto della distribuzione del volume nei 4 settori per i rilievi del 2004, 2013 e 2021

Per i 4 rilievi per cui ci sono a disposizione i dati per tutti i settori, si è stimata anche la distribuzione del volume nei vari settori, in percentuale, sul volume totale calcolato in ogni rilievo.

Il volume degli elementi dispersi intrappolati nei filtri della briglia filtrante sono stati sommati a quelli del Settore 1. Dal grafico in Fig.38 si può notare come, se pur con qualche differenza, in tutti i campionamenti il settore che presenta maggior volume di materiale legnoso disperso è il Settore 4, seguito poi dal Settore 1. La differenza più considerevole è tra i rilievi pre e post piena del 2004, la quale ha determinato un trasporto a valle di gran parte degli elementi dispersi presenti nei tratti più a monte.

Si può notare una certa somiglianza anche tra le distribuzioni pre e post evento 2004 e le distribuzioni 2013-2021, ovvero i dati del 2013 si comportano come quelli pre evento 2004,



mentre i dati del 2021 come quelli del post evento (come già accennato, nel 2020 ci fu un evento di piena rilevante).

Tab. 40: Distribuzione in m<sup>3</sup> (stimato con il metro stereo) e in % del volume totale degli elementi dispersi nei 4 settori.

	2004 pre piena		2004 post piena		2013		2021	
	m <sup>3</sup>	%	m <sup>3</sup>	%	m <sup>3</sup>	%	m <sup>3</sup>	%
Settore 1	1.695	22.80	3.752	47.26	1.486	20.21	2.045	28.26
Settore 2	0.603	8.11	1.097	13.82	0.658	8.96	0.831	11.48
Settore 3	0.278	3.73	0.009	0.11	1.700	23.13	1.632	22.55
Settore 4	4.860	65.36	3.081	38.82	3.507	47.71	2.729	37.71
Volume Totale	7.436	100	7.938	100	7.351	100	7.237	100

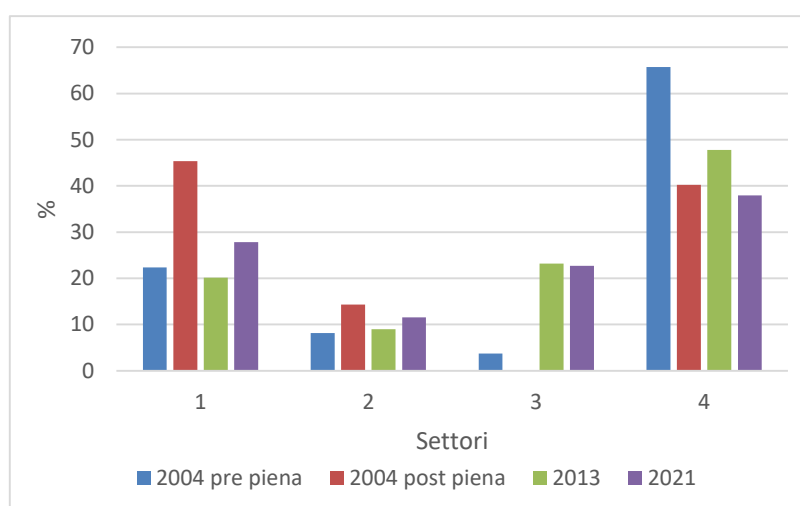


Fig. 38: Distribuzione in % del volume totale degli elementi dispersi nei 4 settori.

## 9.2 Confronto dei cluster

Il confronto dei cluster è stato effettuato solo per il Settore 4 [Fig.39], in prosecuzione del lavoro effettuato da Arena (2014). Difatti, anche se nel campionamento di questo studio il volume di cluster nel Settore 1 è risultato rilevante, nei precedenti no. I rilievi del 2010, del 2021 e del 2023 presentano un volume molto più elevato rispetto agli tre rilievi: la motivazione non è certa, ma è ipotizzabile che ciò sia dovuto alle piene avvenute nel 2010 e nel 2020, anche se il valore del rilievo post evento 2004 non risulta coerente con questa teoria.



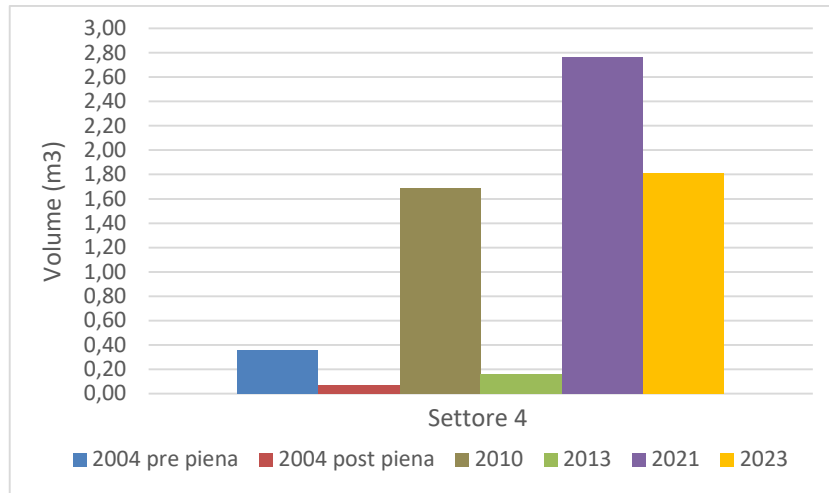


Fig. 39: Volume dei cluster nel Settore 4 nei diversi rilievi.

### 9.3 Confronto delle ceppaie

La presenza delle ceppaie in alveo è determinante per stabilire il grado di pericolosità che una piena straordinaria potrà determinare a valle. Nel caso in esame, i pericoli determinabili dalle ceppaie sono l'ostruzione della luce del ponte nel Settore 2 e l'intasamento della briglia filtrante nel Settore 1.

I dati disponibili per questa analisi sono: per il Settore 1 quelli del 2004, 2011, 2013 e 2021; per il Settore 4 quelli del 2004, 2010, 2013, 2021 e 2023.

Anche in questo caso, il lavoro è consistito nell'integrare il lavoro di Arena (2014). Sono stati confrontati pertanto i dati del Settore 3-4, poiché è quello con maggiori dati, e del Settore 1. Il settore 2 non è stato analizzato, per assenza di dati da confrontare.

Si è provveduto a fare due comparazioni, la prima utilizzando solo le ceppaie movimentabili del rilievo del 2021 e 2023, mentre la seconda inserendo anche queste ceppaie.

In Fig.40 è visibile come nel rilievo pre evento del 2004 ci fosse qualche ceppaia di lunghezza notevole (ben oltre i 7 m), una delle quali non è stata movimentata con la piena; dopo l'evento il numero di questo tipo di ceppaie è aumentato, probabilmente a causa della piena che ha eroso le sponde e trasportato alberi in alveo. Il rilievo del 2010 e quello del 2013 presentano anch'essi delle ceppaie leggermente più lunghe di 7 m. Gli altri rilievi sono caratterizzati da parecchi elementi più lunghi di 4 m, ma inferiori di 7 m, questi potrebbero essere comunque pericolosi, perché potrebbero ostruire comunque la luce del ponte.

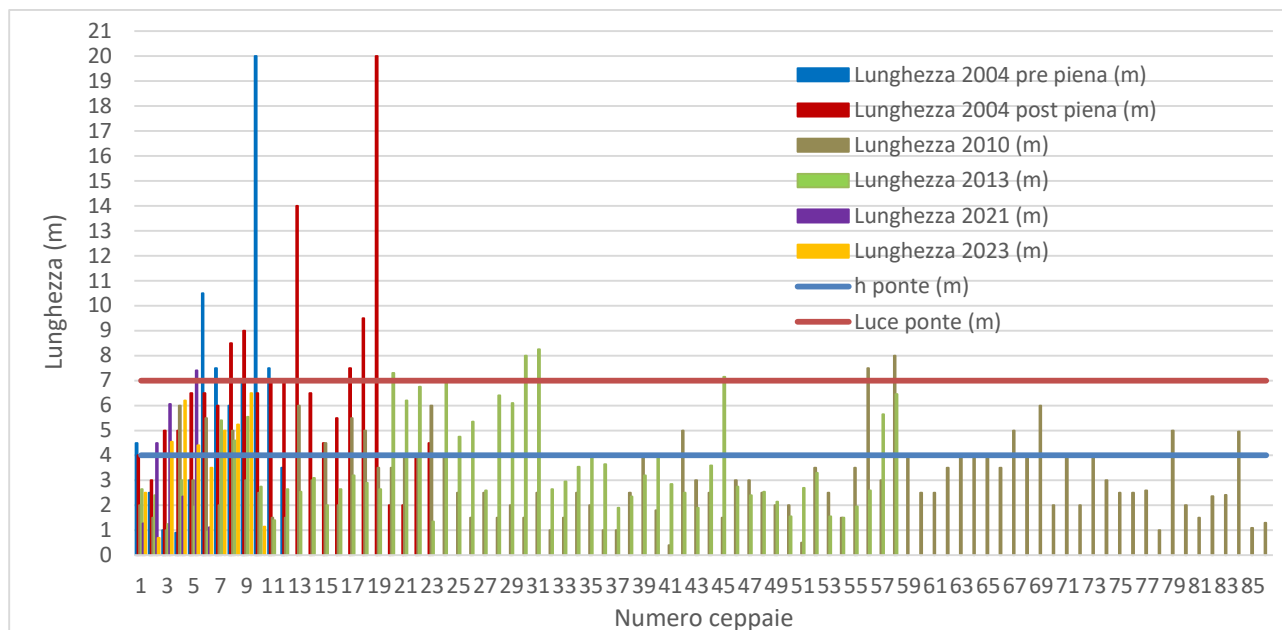


Fig. 40: Confronto tra le ceppaie dei diversi rilievi.

Se nel confronto si considerano anche le ceppaie difficilmente movimentabili e i log steps nei rilievi del 2021 e del 2023, il quadro cambia drasticamente. Le ceppaie (piante intere) che superano la soglia della luce massima del ponte infatti risultano essere molte di più [Fig.41]. Il rilievo che invece presenta il maggior numero di ceppaie è indubbiamente quello del post evento 2010, il quale presenta quasi 90 ceppaie, seguito da quello del 2013.

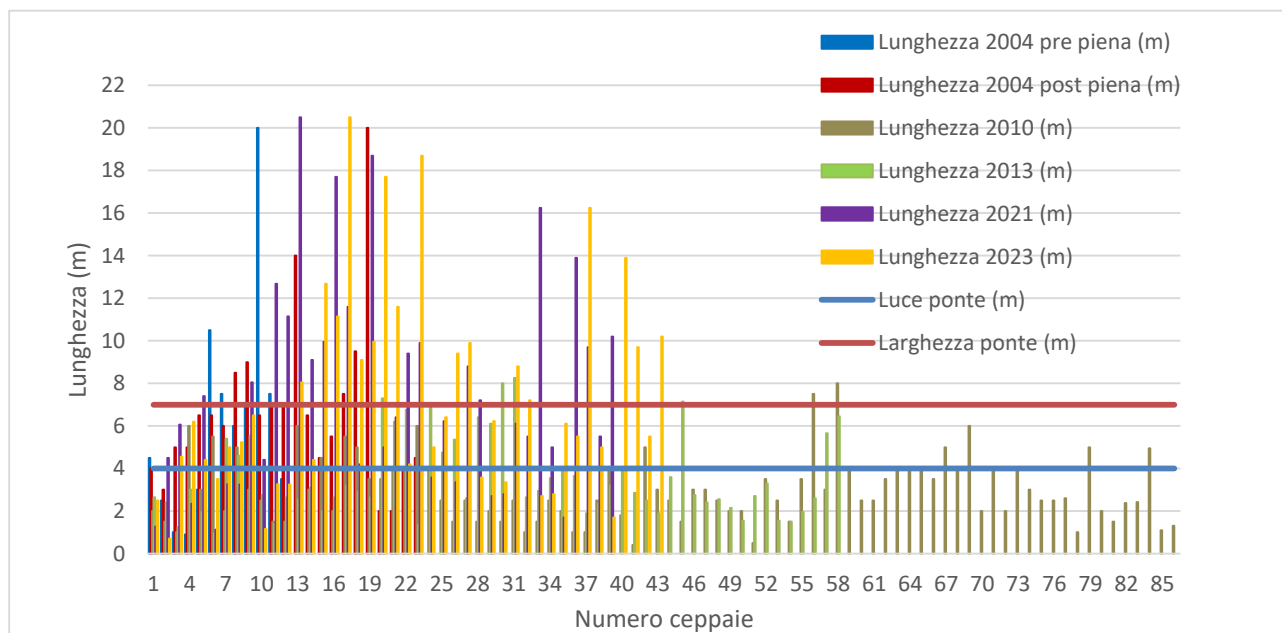


Fig. 41: Confronto tra le ceppaie dei diversi rilievi con le ceppaie non facilmente movimentabili.

Confrontando i volumi stimati in Tab.41 (comprese le ceppaie non facilmente movimentabili) si nota come il volume maggiore sia stato rilevato nel post piena del 2014, seguito dal rilievo



del 2021 (post evento 2020). Nel post piena del 2010 si nota come nonostante la presenza cospicua di ceppaie, il volume complessivo delle stesse sia esiguo.

Tab. 41: Volume in m<sup>3</sup> e in % sul volume totale del settore delle ceppaie nel Settore 4.

Settore 4				
	Volume ceppaie		Volume totale	
	m <sup>3</sup>	%	m <sup>3</sup>	%
2004 pre piena	7.116	57.7	12.333	100
2004 post piena	17.520	84.8	20.669	100
2010	2.154	27.2	7.925	100
2013	12.311	77.1	15.976	100
2021	15.153	73.4	20.643	100
2023	14.846	82.4	18.018	100

Interessante è osservare come a seguito della piena del 2004 il volume delle ceppaie nel Settore 4 sia più che raddoppiato [Tab.41 e Fig.42]. Dal 2013 al 2021 il volume risulta solo leggermente aumentato, questo potrebbe essere stato causato dalla piena del 2020 oppure dalla caduta in alveo di piante instabili presenti sulle sponde.

Dal grafico in Fig.42 è ben evidente come l'incidenza delle ceppaie sul volume totale di LWD nel Settore 4 sia molto rilevante. Infatti, a parte il rilievo del 2010 che presenta un incidenza inferiore al 30%, gli altri campionamenti presentano percentuali oltre il 60% [Tab.41].

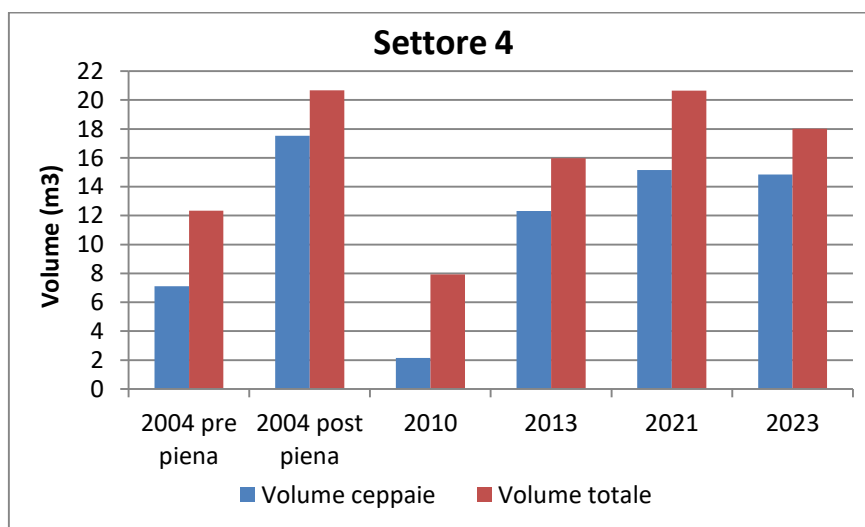


Fig. 42: Incidenza delle ceppaie sul volume totale nel Settore 4.



La conoscenza della presenza di ceppaie nel Settore 1 è importante, per prevedere e prevenire l'ostruzione della briglia filtrante posta a chiusura del tratto in questione.

I volumi più elevati si sono riscontrati nel 2013 a causa della caduta in alveo di piante collocate sulle sponde frananti (Arena, 2014), e a seguito della piena del 2004 (il volume è più che raddoppiato rispetto a prima della piena). In quest'ultimo frangente si può dire che la piazza di deposito abbia svolto il proprio compito evitando che queste ceppaie giungessero alla briglia filtrante. I rilievi che mostrano valori minori sono quelli del 2011 e del 2021. Nel caso del 2011 non sono stati rilevati i due diametri per l'apparato radicale, ma solamente la lunghezza delle radici, quindi il calcolo del volume delle ceppaie risulta sottostimato. Invece, nel caso del 2021 la maggior parte delle ceppaie erano caratterizzate dal solo apparato radicale, oppure dall'apparato radicale e da un tronco di lunghezza massima di 1 m, e la loro incidenza sul volume totale del settore 4 risultava quindi esigua (solo il 10% del volume totale) [Tab.42]. Interessante è l'incidenza delle ceppaie nel rilievo del 2013 [Tab. 42 e Fig.43], poiché risulta essere pari a più del 90% del volume totale stimato nel Settore 1.

Tab. 42: Volume in m<sup>3</sup> e in % sul volume totale del settore delle ceppaie nel Settore 1.

<b>Settore 1</b>				
	<b>Volume ceppaie</b>		<b>Volume totale</b>	
	m <sup>3</sup>	%	m <sup>3</sup>	%
2004 pre piena	3.534	68.123	5.187	100
2004 post piena	8.618	71.242	12.096	100
2011	1.013	22.970	4.412	100
2013	14.108	90.523	15.585	100
2021	0.991	10.338	9.590	100

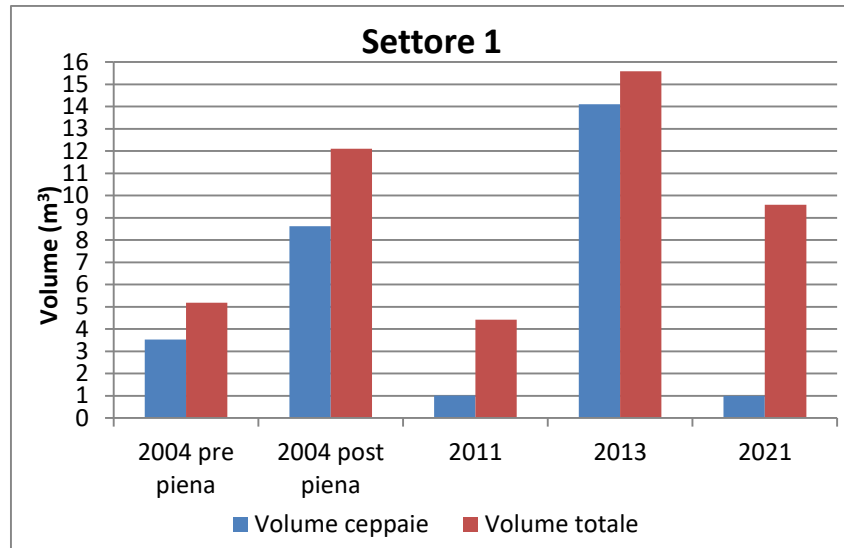


Fig. 43: Incidenza delle ceppaie sul volume totale nel Settore 1.

## 10. Analisi con il modello idrologico e risultati

Per cercare di giustificare le variazioni nei volumi di LWD stimati fra i vari rilievi svolti, si è svolta un'analisi degli eventi di piena che hanno caratterizzato il bacino del Rio Rì dal 2013 al 2023 tramite modellazione idrologica degli eventi di precipitazione che li hanno determinati.

### 10.1 Fase di pre-processamento 1: Terrain Pro

Dopo aver scaricato i DTM relativi all'area oggetto di studio dal Geoportale della Provincia Autonoma di Trento con dimensioni delle celle di 0.5m x 0.5m, averli uniti e aver ridimensionato le celle a una dimensione di 2m x 2m, si è proceduto a eliminare le depressioni con AdB-ToolBox, ottenendo così un DTM depittato.

Dopo aver ottenuto il DTM privo di depressioni, è stata individuata la superficie drenata dal reticolo idrografico attraverso la funzione "Upslope area 1", che sfrutta il modello unidirezionale di flusso D8 per ottenere i percorsi di drenaggio secondo la massima pendenza. Successivamente, partendo dal DTM depittato, con la funzione "Watershed" si è estratto lo spartiacque del bacino del Rio Rì [Fig.44] con sezione di chiusura presso la briglia n. 13, poiché il modello è stato tarato con valori idrometrici misurati in tale posizione (vedi paragrafo 10.4.2.).

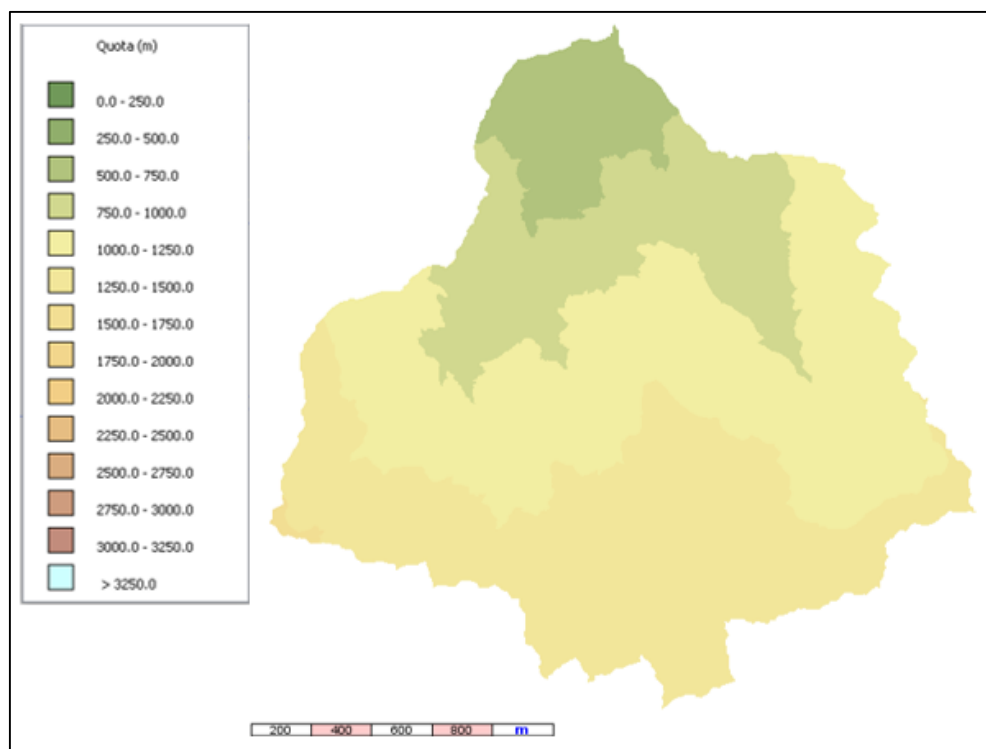


Fig. 44: DEM depittato ritagliato lungo lo spartiacque del bacino del Rio Rì.

## 10.2 Fase di pre-processamento 2: GeoPro

Nella fase 2 si sono utilizzati i tools del modulo GeoPro ottenendo così i file raster fondamentali per la fase finale, in cui verranno simulati gli eventi di piena intercorsi nel periodo ottobre 2013 – agosto 2023. Da questo punto in poi si è utilizzato il DTM depittato ritagliato lungo lo spartiacque del bacino del Rio Rì [Fig. 44] per eseguire le varie operazioni di calcolo.

Con la funzione “Upslope area 2” si sono ottenuti come output i file delle direzioni di deflusso utilizzando il modello D8 [Fig.45] e dell’area drenata ottenuta con il modello D8 e MultiFlow [Fig.46 e 47].

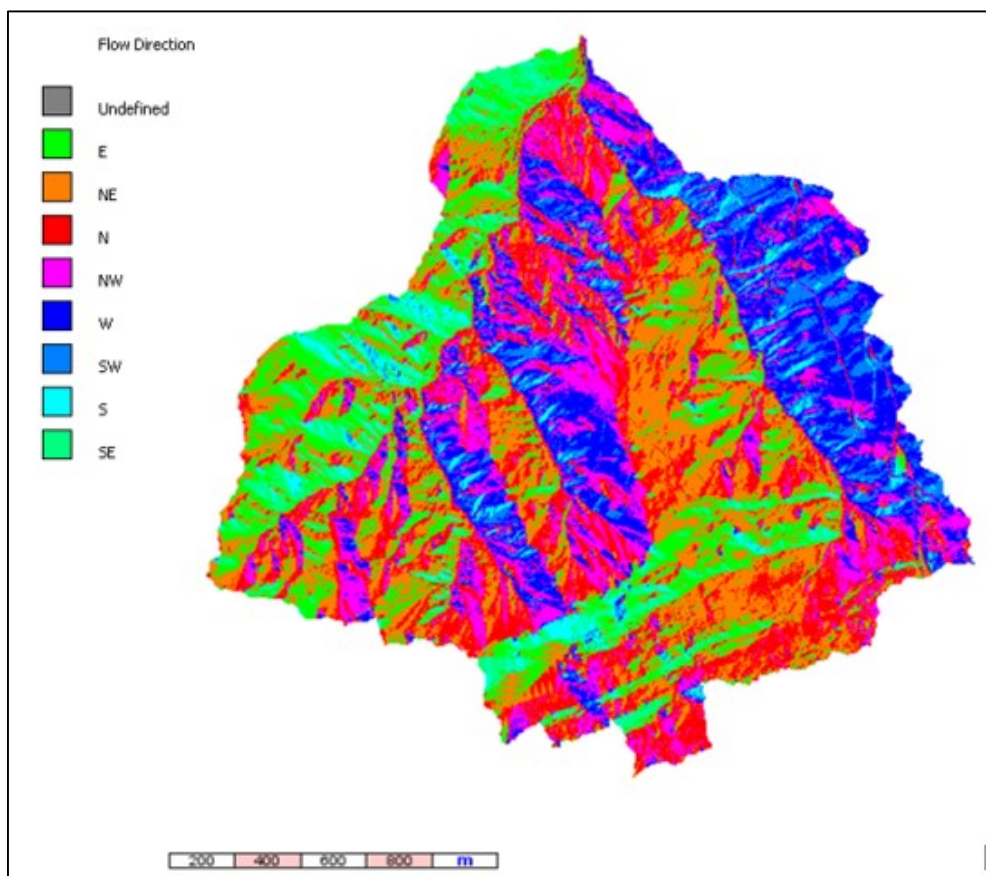


Fig. 45: Direzioni di deflusso nel bacino del Rio Rì con il modello D8 (celle 2mx2m).

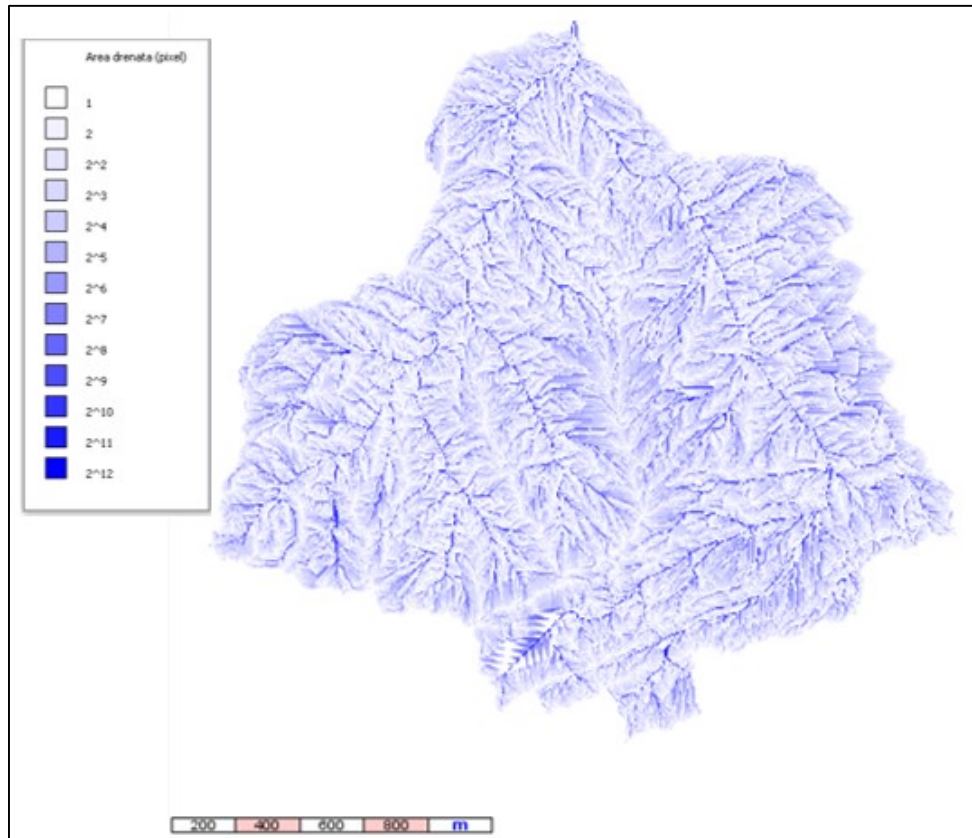


Fig. 46: Area drenata del bacino del Rio Rì calcolata con il modello D8 (celle 2mx2m).

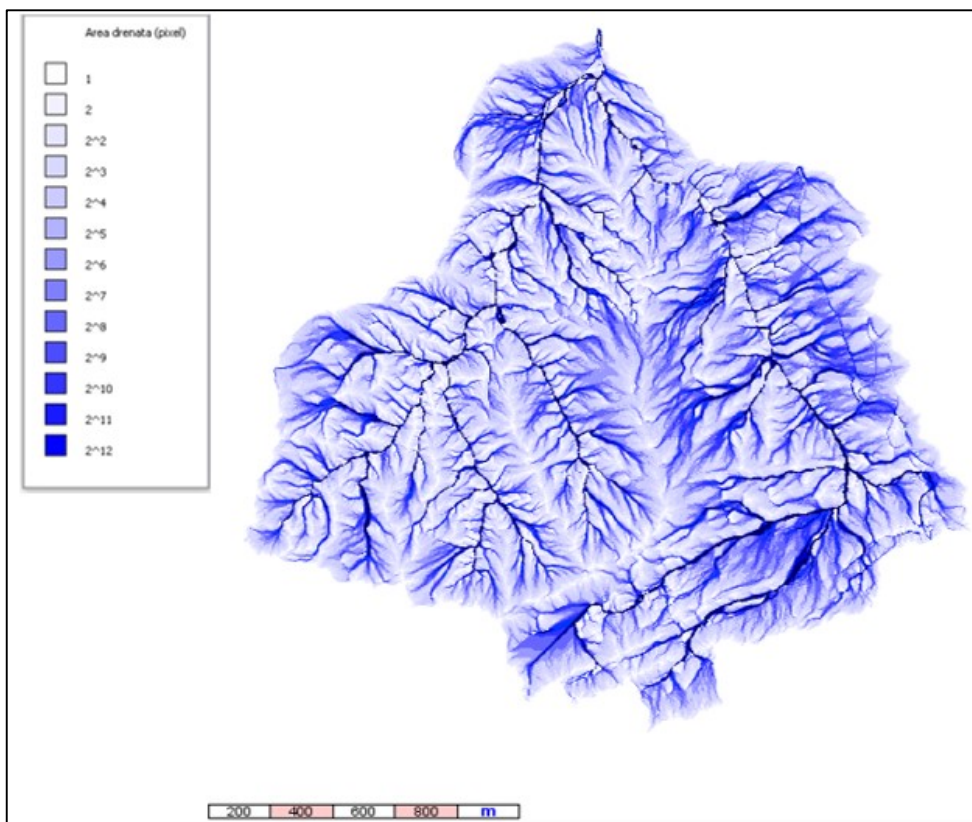


Fig. 47: Area drenata del bacino del Rio Rì calcolata con il modello MultiFlow (celle 2mx2m).



Un'ulteriore funzione del modulo GeoPro, denominata "Routing" ha permesso di determinare il reticolo idrografico sintetico [Fig. 48] i tempi di propagazione del deflusso diretto sul versante (Routing slope) [Fig. 51] e sul reticolo idrografico (Routing network) [Fig. 50].

Per stabilire il valore dell'area di soglia, che determina il passaggio dal deflusso di versante a quello su reticolo, da utilizzare per il bacino del Rio Rì, è stato usato un metodo comparativo nel quale si sono confrontati i reticoli ottenuti con le varie soglie con quello ufficiale della Provincia di Trento. L'area di soglia che descrive al meglio la situazione del reticolo idrografico del bacino del Rio Rì è risultata pari a 5000 m<sup>2</sup> [Fig. 48].

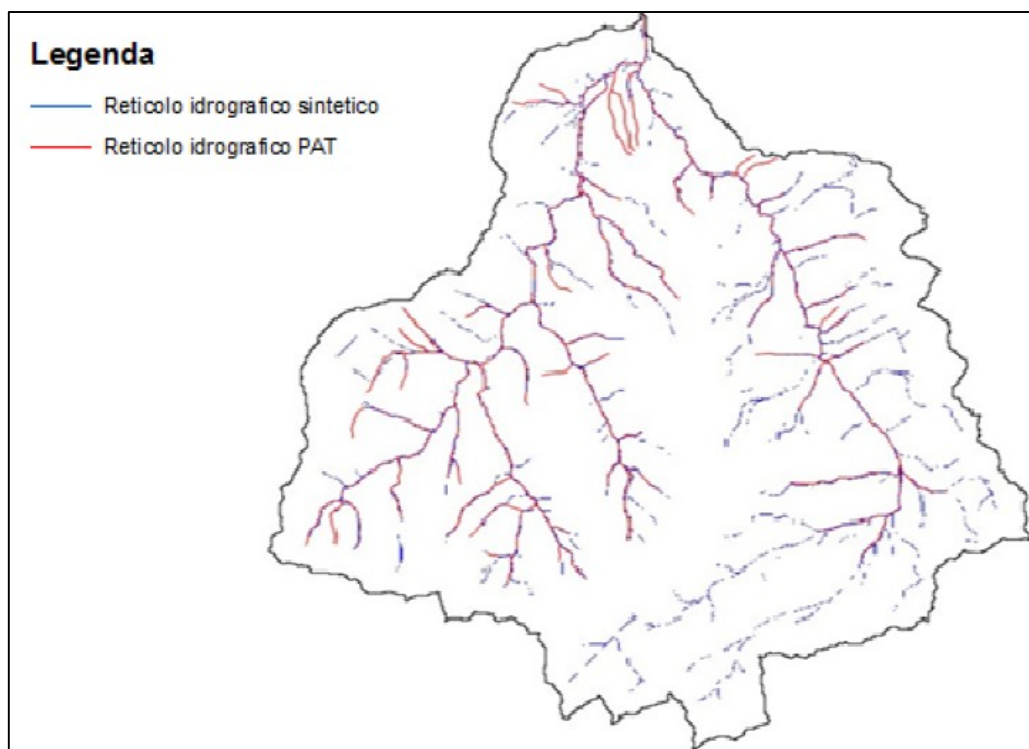


Fig. 48: Reticolo idrografico sintetico (Drain Network) del Rio Rì con area di soglia 5000 m<sup>2</sup>, confrontato con il reticolo idrografico ufficiale della PAT.

Dopo aver differenziato le celle appartenenti al reticolo da quelle di versante, il software è in grado di assegnare le velocità di deflusso lungo il versante in base all'uso e alla copertura del suolo, ottenendo anche un raster della velocità di propagazione del deflusso (Flow velocity) in output [Fig. 49].

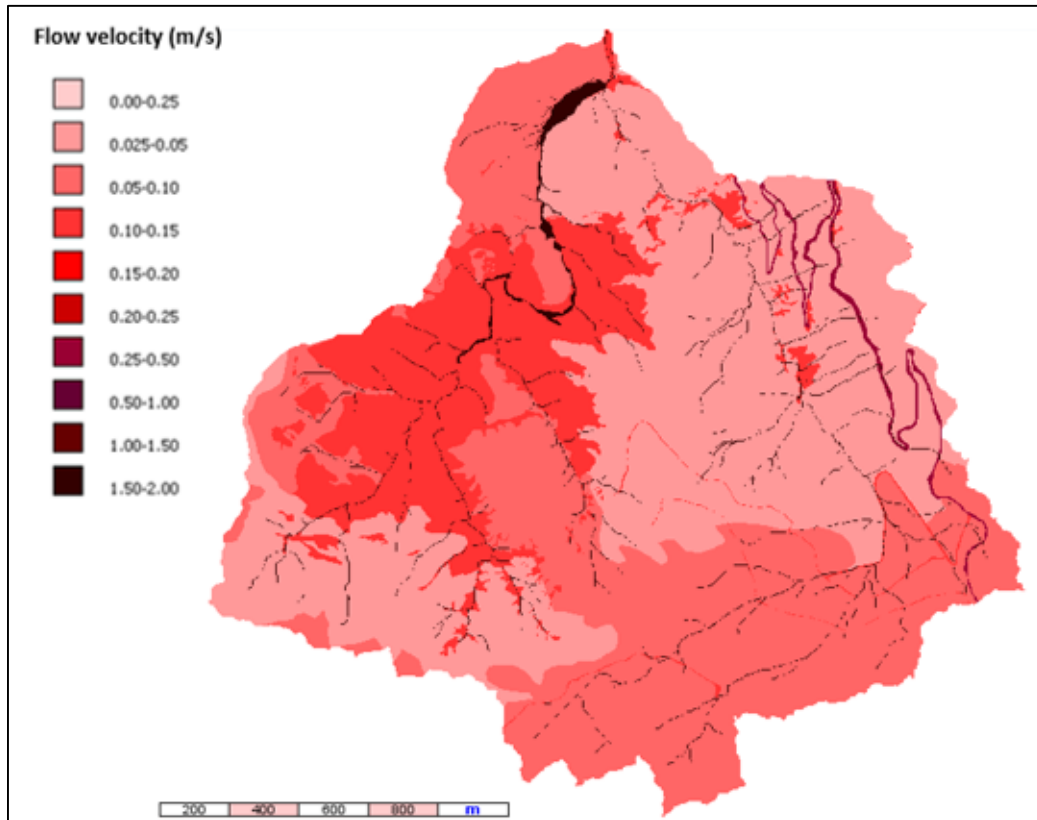


Fig. 49: Carta della velocità di propagazione del deflusso (Flow velocity) per il bacino del Rio Rì (celle 2mx2m).

Grazie ai raster precedenti, si ottengono due raster riguardanti i tempi di propagazione del deflusso per raggiungere la sezione di chiusura del bacino, differenziando i tempi di percorrenza del versante quelli di permanenza in reticolo. Il tempo di propagazione di versante è il tempo necessario al deflusso di versante per arrivare alla cella di reticolo più prossima, mentre il tempo di propagazione di reticolo è il tempo necessario al deflusso per arrivare dalla cella di immissione in reticolo alla sezione di chiusura.

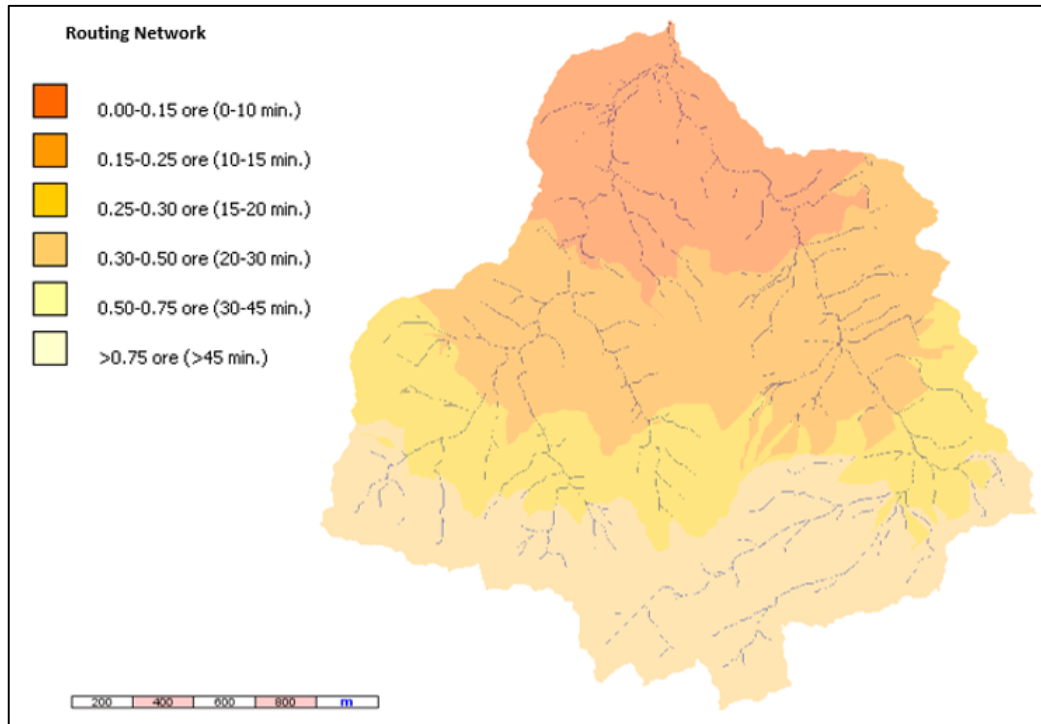


Fig. 50: Carta dei tempi di propagazione del deflusso lungo il reticolo (Routing Network) del bacino del Rio Rì (celle 2mx2m).

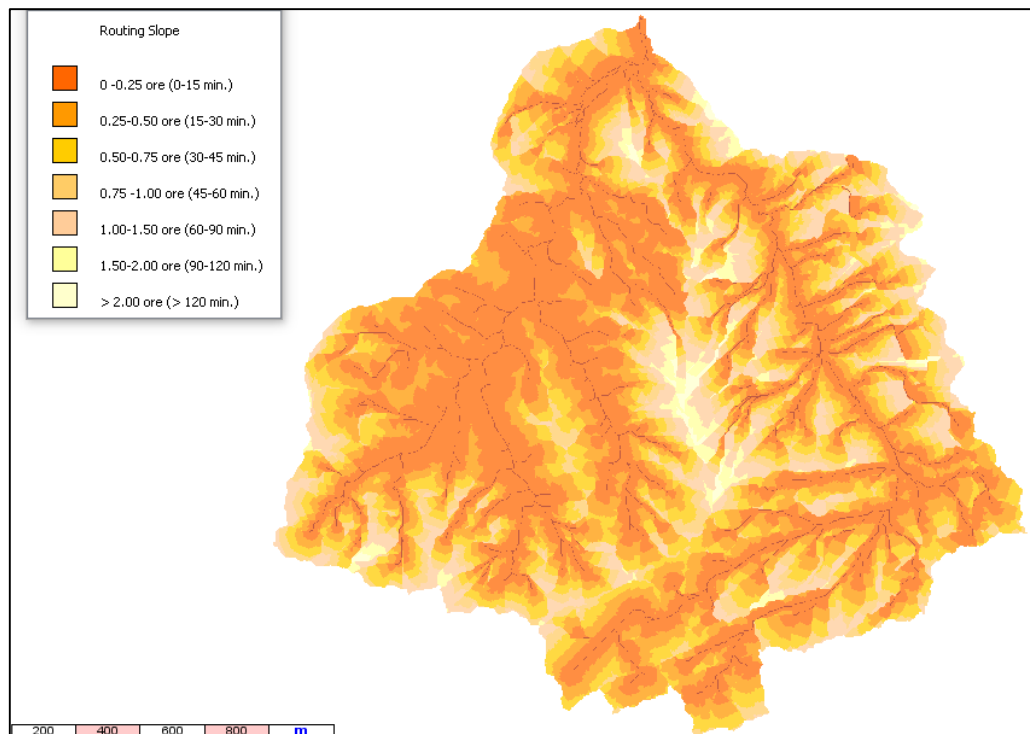


Fig. 51: Carta dei tempi di propagazione del deflusso lungo il versante (Routing Slope) del bacino del Rio Rì (celle 2mx2m).

### 10.3 Gruppi idrologici e Curve Number

L'obiettivo principale di questa elaborazione è la definizione del CN del bacino del Rio Rì [Fig. 53], ottenibile grazie alla funzione "Curve number" presente in "Hydromodel"; la mappa del CN si genera attraverso la sovrapposizione della carta di uso del suolo [Fig.8] e quella dei gruppi idrologici [Fig.52]. Il raster così creato descrive il bacino in condizioni di saturazione iniziale normale AMC II, che potrà essere modificato, in base alla quantità di pioggia caduta nei 5 giorni precedenti l'evento, in una condizione secca (AMC I) oppure umida (AMC III).

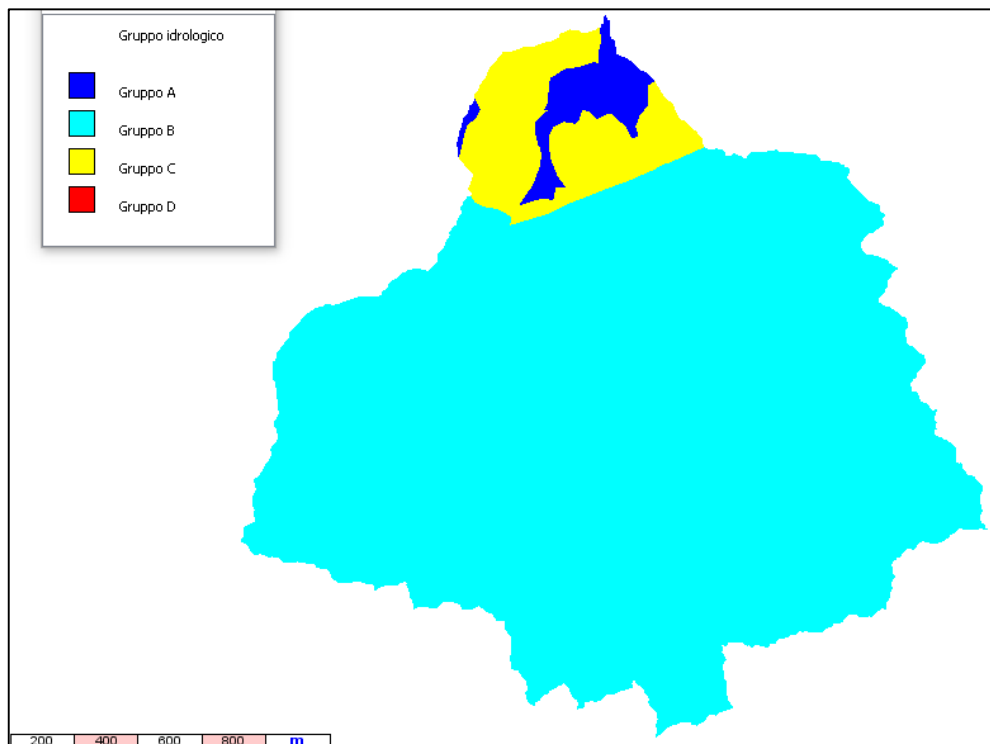


Fig. 52: Carta dei gruppi idrologici per il bacino del Rio Rì (celle 2mx2m).

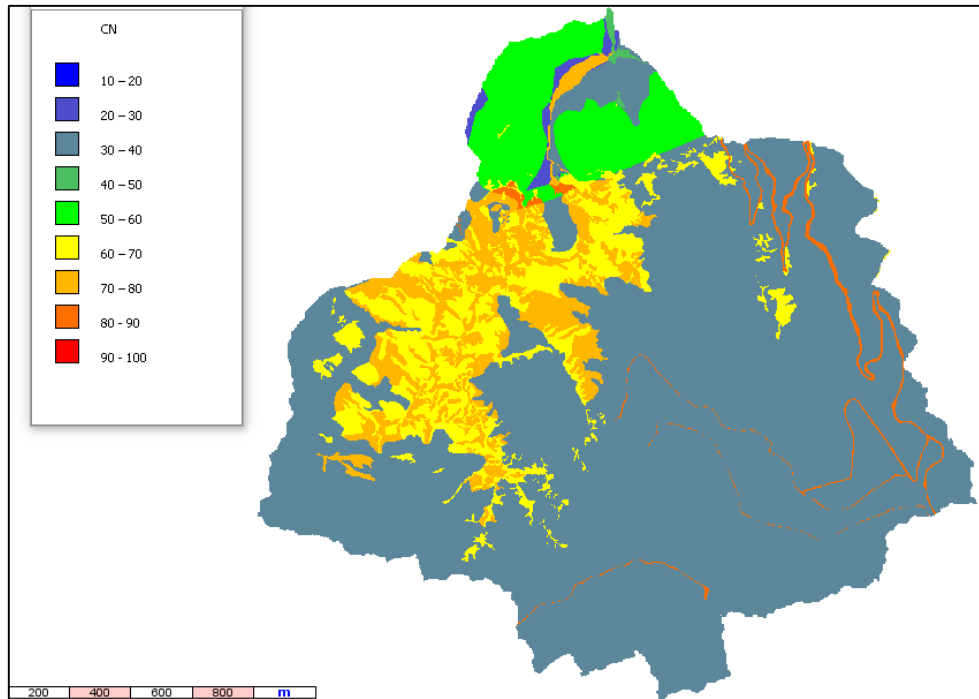


Fig. 53: Carta del Curve Number del bacino del Rio Rì (celle 2mx2m).

## 10.4 L'idrogramma di piena

L'idrogramma di piena si ottiene tramite lo strumento "Idrogramma" del modulo HydroModel. Per ogni pixel in cui è suddiviso il bacino, il software stima la precipitazione efficace "Pe" in funzione della precipitazione caduta e del CN del pixel stesso. La "Pe" viene poi propagata, lungo la linea di massima pendenza che sussiste tra la cella di riferimento e le otto che la circondano, fino alla sezione di chiusura.

Le velocità di propagazione su versante variano in funzione dell'uso e copertura del suolo mentre, la velocità di propagazione nella rete di drenaggio è assunta uguale alla velocità di moto uniforme raggiunta alla sezione di chiusura in corrispondenza della portata di picco simulata (valore al picco del deflusso simulato/area della sezione idraulica).

Oltre alla mappa raster del valore del Curve Number, i raster richiesti in input sono quelli precedentemente creati con il modulo GeoPro (paragrafo 10.2): mappa raster dei tempi di propagazione del deflusso superficiale su versante e mappa raster dei tempi di propagazione del deflusso superficiale lungo il reticolo idrografico.

### 10.4.1 Pluviometria

Non avendo dati di precipitazione misurati da stazioni ricadenti all'interno del bacino, per queste simulazioni si sono utilizzati i dati forniti dalle tre stazioni di monitoraggio più vicine, Centa S. Nicolò, Levico (Terme) e Lavarone (Chiesa) [Fig. 54], i cui dati sono reperibili sul sito di "Meteotrentino" alla sezione Dati e Osservazioni – Dati storici.

Poiché queste stazioni non ricadono all'interno del bacino, i dati pluviometrici registrati sono stati opportunamente compensati secondo il metodo dei "poligoni di Thiessen" e successivamente ragguagliati tra le stazioni insistenti sull'area di ogni bacino.

Partendo da questi dati è stato creato un file di testo (.pre) con i dati di precipitazione da utilizzare come input nel modello idrologico. Nel file di precipitazione viene infatti specificata l'evoluzione temporale della precipitazione caduta in funzione del tempo di campionamento della stazione considerata.

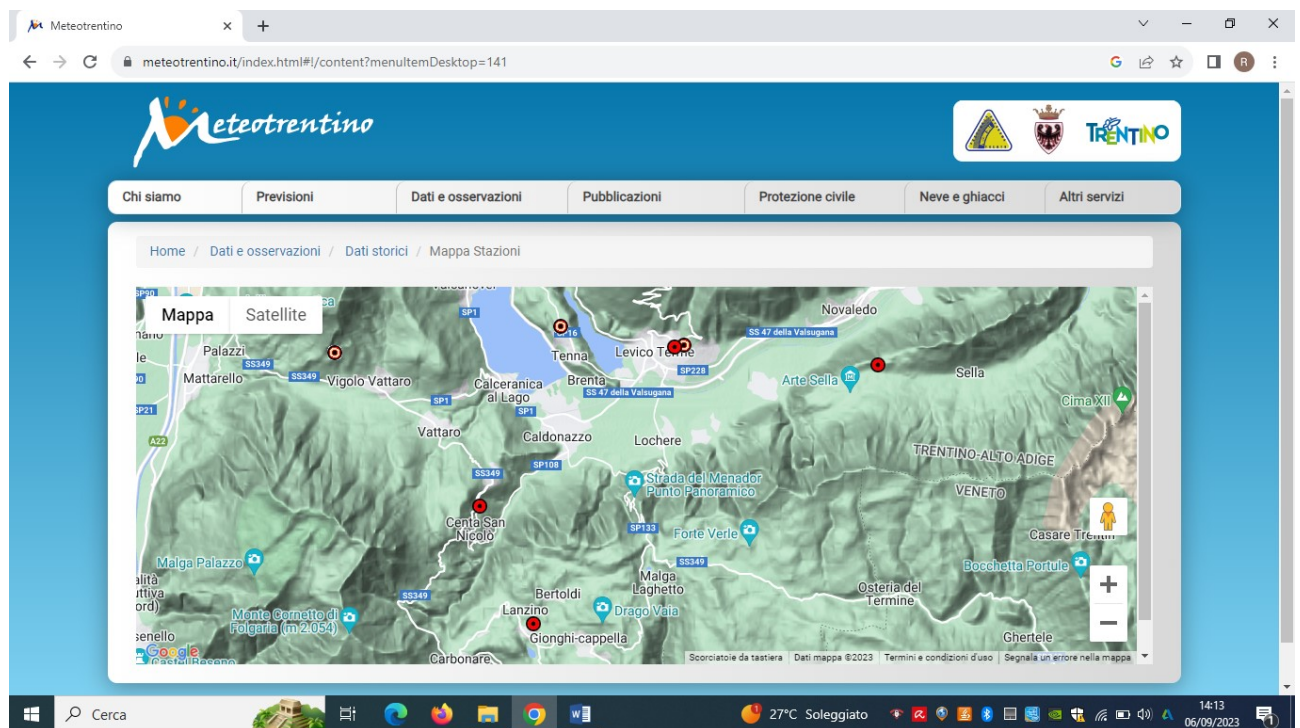


Fig. 54: Schermata del sito "Meteotrentino" con le tre stazioni in evidenza

L'altezza di precipitazione si definisce come l'altezza della lama d'acqua che coprirebbe una superficie orizzontale, qualora tutta l'acqua raccolta dalla superficie fosse trattenuta, così da formare uno strato di spessore uniforme. Quando si parla di altezza di precipitazione è necessario specificare sempre l'intervallo di tempo in cui la precipitazione è caduta.



Bisogna sottolineare che con precipitazione si indicano tutti gli afflussi meteorici sia liquidi (pioggia) che solidi (neve, nevischio, grandine); le precipitazioni solide si misurano attraverso il loro equivalente in acqua.

In tutte le stazioni considerate è installata la stessa tipologia di strumentazione per la misurazione della precipitazione: un pluviometro a bascula con vaschetta basculante. Questo è costituito da un cilindro in plastica, cavo, con area circolare superiore nota e un imbuto sul fondo che convoglia la precipitazione a due bascule (vaschette) che si muovono “ad altalena” nel ricevere e nello svuotare in alternanza l’acqua piovana (grazie alla variazione del baricentro). Ogni bascula, nel momento in cui svuota l’acqua, tocca un sensore sotto di essa generando un impulso elettrico letto e memorizzato da un calcolatore. La quantità d’acqua che genera la basculata è di risoluzione nota e viene memorizzata assieme al dato temporale grazie all’orologio interno. La somma degli impulsi memorizzati fornisce la precipitazione totale degli eventi piovosi, il dato temporale permette la costruzione delle relative curve di altezza ed intensità di precipitazione. L'inversione delle vaschette è provocata da una quantità d'acqua determinata e costante pari a 0.2 mm di pioggia.

Nei paragrafi successivi si riporta la descrizione delle stazioni e le precipitazioni per gli eventi alluvionali più intensi.

#### Stazione pluviometrica di Centa San Nicolò

La stazione di Centa San Nicolò (T0009) è posta ad una quota di 805 m s.l.m. (45°58'12.6" N di latitudine e 11°14'02.92" E di longitudine): l’attuale struttura è in funzione dal 30 luglio 1992 mentre, per il periodo 1 dicembre 1929 - 30 giugno 1992, la struttura era diversa ed era collocata nelle vicinanze di quella attuale ma ad una quota leggermente superiore.

Questa stazione, è attrezzata con un pluviometro a bascula, un anemometro, un termometro e un igrometro. Le serie storiche della stazione di Centa San Nicolò sono riferite al periodo 1929/2023 e sono disponibili ad intervalli di 5 minuti per gli eventi alluvionali del 2018, 2020, 2022 e 2023.

#### Stazione pluviometrica di Lavarone

La stazione di Lavarone (T0032) è posta ad una quota di 1155 m s.l.m. (45°56'25.0" N di latitudine e 11°15'13.4" E di longitudine). L’attuale struttura è in funzione dal 16 aprile 1997 poiché, come per la stazione di Centa, nel precedente periodo compreso tra il 1 gennaio 1929 e il 16 aprile 1997, era collocata nelle vicinanze. Anche questa stazione, come quella di Centa, risulta attrezzata con un pluviometro a bascula, un anemometro, un termometro e un igrometro.



I dati storici di precipitazione registrati dalla stazione di Lavarone sono riferiti al periodo 1929/2012 e sono disponibili ad intervalli di 5 minuti per gli eventi alluvionali analizzati (2018, 2020, 2022 e 2023).

#### Stazione pluviometrica di Levico (Terme)

La stazione di Levico (T0010) è posta ad una quota di 502 m s.l.m. (46°00'38.0" N di latitudine e 11°18'18.5" E di longitudine). L'attuale struttura è in funzione dal 01 gennaio 1981 poiché, come per le altre stazioni, nel precedente periodo compreso tra il 1 gennaio 1981 e il 24 marzo 2005, era collocata poco distante.

Anche questa stazione, come quella di Centa, risulta attrezzata con un pluviometro a bascula, un anemometro, un termometro e un igrometro.

I dati storici di precipitazione registrati dalla stazione di Lavarone sono riferiti al periodo 1981/2023 e sono disponibili ad intervalli di 5 minuti per gli eventi alluvionali del 2018, 2020, 2022 e del 2023.

### **10.4.2 Monitoraggio deflussi e taratura del modello**

Per la taratura del modello è necessario avere dei dati osservati da poter confrontare con i risultati forniti dal modello stesso; modificando poi alcuni dati di input e verificandone gli effetti sugli output, si può determinare la soluzione più adeguata per il caso in oggetto.

Nel caso del Rio Rì il monitoraggio dei deflussi lungo il bacino del rio Rì è stato effettuato mediante l'installazione di trasduttori di pressione della ditta "Tecno Penta". Questa tipologia di sensore compie una misurazione differenziale di pressione, ovvero rileva il livello idrometrico misurando la pressione esercitata dalla colonna d'acqua sovrastante e rapportandola, successivamente, alla pressione atmosferica. Più precisamente il sensore effettua la misura tramite un elemento piezoresistivo costituito da quattro resistenze in struttura a ponte diffuse su un wafer di silicio; il trasduttore è contenuto entro una camera stagna riempita di olio e chiusa da una membrana di acciaio inox su cui viene esercitata la pressione dal liquido esterno e che viene determinata tramite specifico modello matematico. Il dato rilevato dal sensore di pressione viene inviato tramite cavo ad una centralina di raccolta dati costituita da un datalogger alimentata a batteria. Nel caso del Rio Rì il datalogger utilizzato presenta un supporto di memoria per l'archiviazione dei dati con una autonomia di circa 40 giorni oltre i quali, per evitare l'automatica sovrascrittura, l'operatore deve scaricare i dati memorizzati utilizzando un apposito software (Vertiteq Spectrum 4.0).





Nel bacino del Rio Rì sono stati installati due sensori di pressione in funzione dal giugno 2011. Un primo trasduttore è stato installato in corrispondenza della briglia n° 13 in una posizione protetta nel caso di eventi alluvionali particolarmente intensi.

Il secondo trasduttore utilizzato per la rilevazione del deflusso superficiale lungo l'asta torrentizia del rio Rì è stato installato a valle della briglia filtrante (briglia n°6) nelle vicinanze del ponte della strada provinciale.

Nel primo sopralluogo effettuato in data 15/09/2021 si è purtroppo constatato che tutta la strumentazione in alveo fosse stata asportata o distrutta dall'evento di piena e dai conseguenti lavori del 2018, mentre i datalogger e i pannelli fotovoltaici installati per alimentare gli stessi datalogger erano stati rimossi dai Servizi Montani per permettere i lavori di sistemazione idraulica del rio.

Per tale lavoro si è presa quindi per valida la taratura effettuata da Alberti (2012) sui dati campionati in precedenza.

### **10.4.3 Risultati delle simulazioni: Idrogrammi di piena per ogni evento simulato**

In questo lavoro sono stati simulati i principali eventi di piena che si sono susseguiti nel decennio 2013-2023, ovvero gli eventi del 2018 e del 2020. Successivamente, si sono simulati due ulteriori piene legate agli eventi meteorici più intensi avvenuti nel periodo tra il rilievo del 2021 e quello del 2023, per cercare una possibile spiegazione alla variazione repentina di LWD osservata fra i due rilievi.

In tutte le simulazioni si sono tenute costanti alcune informazioni relative al bacino [Tab.43]. Tali informazioni sono state in parte fornite automaticamente dal software AdB-ToolBox e in parte sono state ottenute dal lavoro di tesi di Alberti (2012), tra le quali le caratteristiche della sezione di chiusura del bacino, dedotte dal prospetto e dalla pianta della gaveta della briglia n. 13 in Fig.55.

Tab. 43: Parametri utilizzati per la simulazione degli idrogramma di piena.

Quota sezione di chiusura del bacino (m s.l.m.)	528.2
Area bacino (Km <sup>2</sup> )	3.01
Q base iniziale (m <sup>3</sup> /s)	0.02
Costante del parametro di esaurimento per il deflusso sottosuperficiale	6·10 <sup>-6</sup>
Parametro PFSF-CDS di riduzione della precipitazione	1
la (perdite iniziali)	0.1
Velocità massima del versante (m/s)	0.3
Velocità iniziale del deflusso su reticolo alla sezione di chiusura (m/s)	2.0
Larghezza al fondo del canale alla sezione di chiusura (m)	4.1
Pendenza alveo alla sezione di chiusura	2.9°
Scarpa destra e sinistra	0.72
Scabrezza Gauckler-Strickler (3 <sup>1/3</sup> /s)	25
Tolleranza per la convergenza risultati	0.04

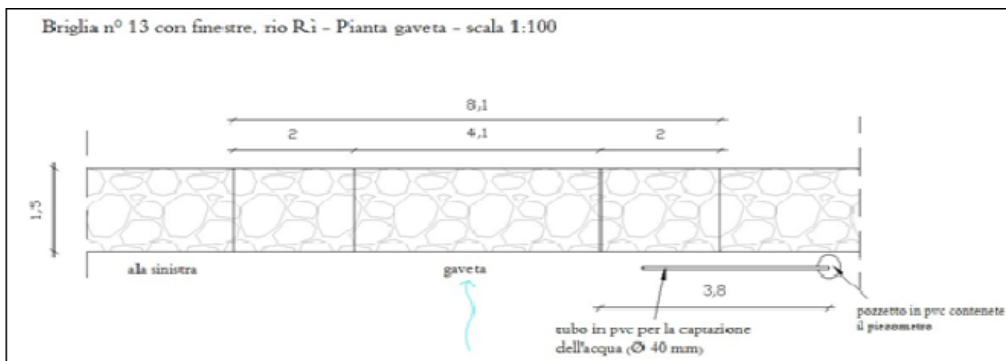
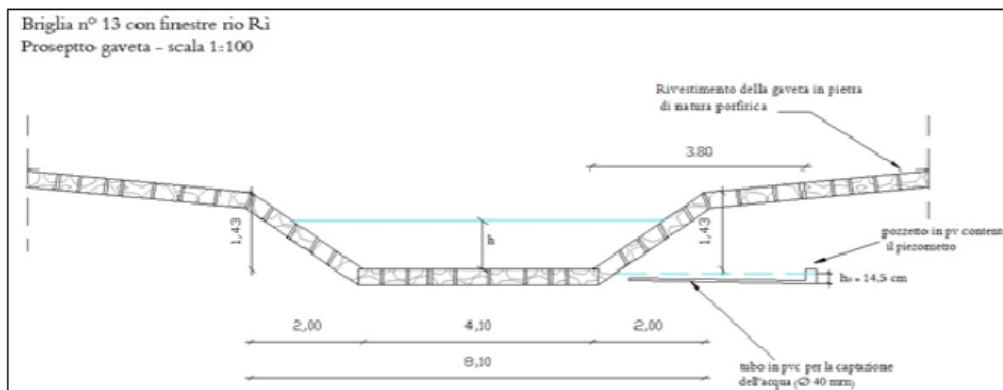


Fig. 55: Prospetto e pianta della gaveta della briglia n.13, sezione di chiusura del Rio Rì.



In Tab.44 sono riportati i dati relativi alle precipitazioni nei 5 giorni antecedenti ogni evento, e il relativo AMC da utilizzare nelle simulazioni.

Tab. 44: Altezza totale delle precipitazioni cadute nei 3 e 5 giorni precedenti i vari eventi e rispettivo valore di AMC.

DATA EVENTO	mm totali di pioggia nei 5 gg prima dell'evento	mm totali di pioggia nei 3 gg prima dell'evento	STATO VEGETAZIONE	AMC
28-29 ottobre 2018	1.5	1.5	a riposo	I
5-6 dicembre 2020	19.8	19.8	a riposo	II
29 luglio 2022	49.1	40.4	Fase vegetativa	II
10-11 maggio 2023	38.2	33.5	Fase vegetativa	II

Il modello utilizzato fornisce in output diversi file, tra i quali un report in formato foglio di calcolo, da cui si sono estrapolati i dati riportati in questo capitolo per ogni evento analizzato.

Per prima cosa, si sono analizzati i due eventi di piena straordinari del 2018 e 2020. In seguito si sono simulati i due principali eventi di precipitazione avvenuti tra il rilievo del 2021 e quello del 2023 per giustificare le differenze nello stato dei luoghi tra i due rilievi.

#### Evento 28-29 ottobre 2018 – Vaia

L'evento dell'ottobre 2018 è legato alla tempesta Vaia. Le precipitazioni sono iniziate la sera il giorno 26 ottobre (alle 22.15), si sono interrotte per qualche ora, per riprendere verso le 5 del mattino del 27 ottobre senza più avere interruzioni fino al tardo pomeriggio del 28 ottobre. Dopo una tregua di circa 9 ore sono riprese, per poi esaurirsi definitivamente alla sera del 29 ottobre.

Vista la quasi totale assenza di precipitazioni nei 5 giorni precedenti la piena, per la simulazione si è utilizzato un AMC I (condizioni secche); il CN medio apparente utilizzato dal modello nella simulazione è 25.51.

In Fig.56 si nota come, dopo circa 14 ore dall'inizio delle precipitazioni, inizia a formarsi del deflusso diretto, per aumentare in modo abbastanza progressivo la notte tra il 27 e il 28 ottobre. L'aumento improvviso della corrente si ha verso mezzogiorno del 28 ottobre, dove si forma un primo picco di portata, il modello stima una portata massima di circa 11 m<sup>3</sup>/s. Con il placarsi delle precipitazioni, anche la situazione critica in alveo regredisce, per poi aumentare di nuovo a seguito della ripresa delle precipitazioni, con diversi picchi successivi. In particolare, il picco



più rilevante dell'intero evento si stima a metà della mattinata del 29 ottobre, con una portata simulata massima di circa  $11.5 \text{ m}^3/\text{s}$  [Tab.45], seguito poi dalla fase di esaurimento finale della piena.

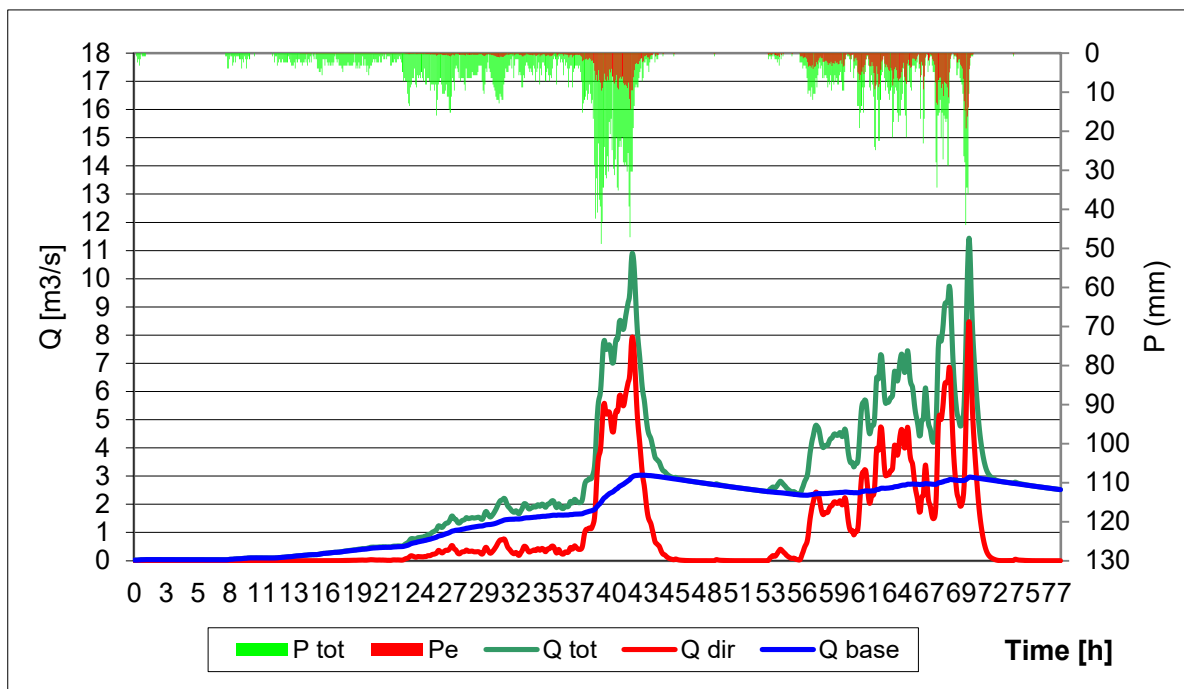


Fig. 56: Idrogramma di piena dell'evento del 28 – 29 ottobre 2018 nel bacino del Rio Rì.

P tot è il valore di precipitazione inserita nel file di pioggia; Pe è la *Pioggia efficace*, ovvero la porzione di precipitazione che secondo il modello genera deflusso superficiale; Q tot è la *portata totale simulata dal modello*; Q dir è la portata diretta (superficiale) simulata dal modello idrologico, Q base è la portata generata dal deflusso di base o sottosuperficiale simulata dal modello.

Tab. 45: Parametri ottenuti dalla simulazione dell'idrogramma di piena per l'evento del 28-29 ottobre 2018.

	Diretta	Base	Totale
Precipitazione (mm)	89.819	291.037	381.06
Portata Iniziale ( $\text{m}^3/\text{s}$ )	0	0.02	0.02
Portata massima ( $\text{m}^3/\text{s}$ )	8.478	3.033	11.437
Portata media ( $\text{m}^3/\text{s}$ )	0.963	0.808	1.057
Tempo al picco (h)	70.00	42.75	70.00

### Evento 05-06 dicembre 2020

Per questo evento di piena le precipitazioni sono iniziate nella tarda mattinata del 4 dicembre 2020 e sono continuate ininterrottamente fino al 7 dicembre [Fig.57]. Viste le precipitazioni dei



giorni precedenti la piena, per la simulazione si è utilizzato un AMC II (condizioni normali); il CN medio apparente utilizzato nella simulazione è risultato pari a 43.79.

Nella simulazione, il deflusso diretto comincia a formarsi dopo circa 5 ore dall'inizio delle precipitazioni, per aumentare lentamente fino a poco prima di mezzogiorno del 5 dicembre, dove la portata inizia ad aumentare molto velocemente fino a raggiungere il picco della piena (portata massima simulata dal modello circa  $6 \text{ m}^3/\text{s}$ ) [Tab.46]. Diversamente dalla maggior parte dei picchi di piena, non presenta una curva di esaurimento regolare, ma dei continui piccoli picchi fino all'esaurimento totale il 7 di dicembre.

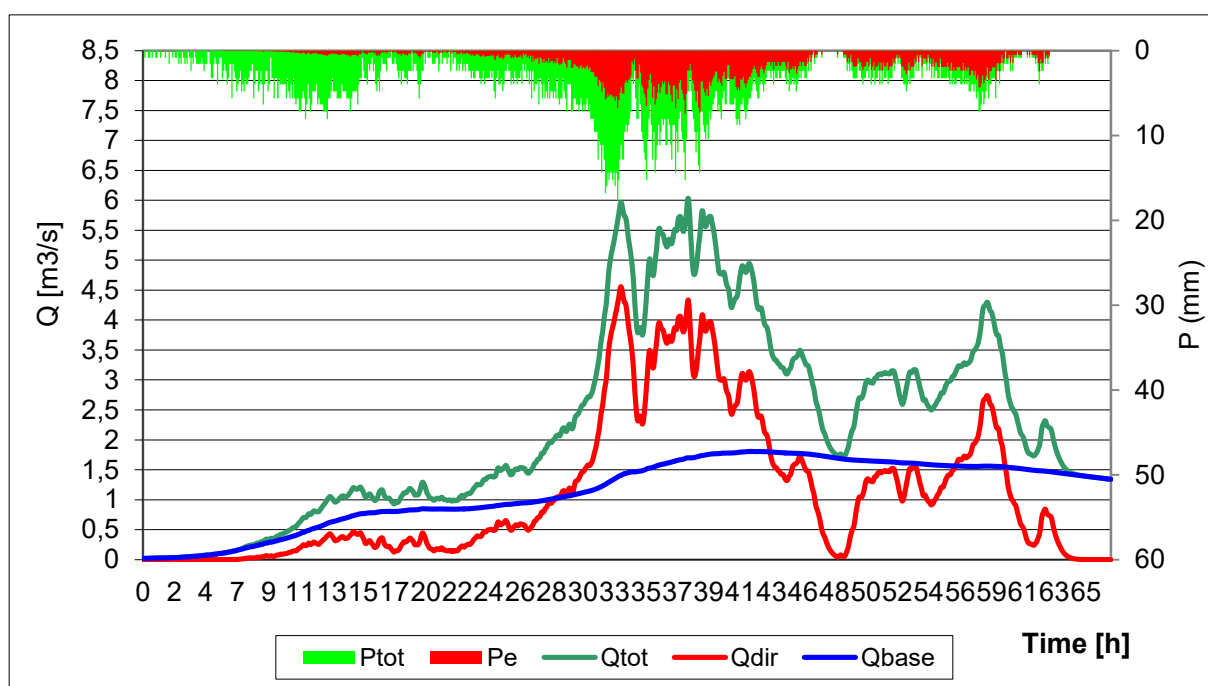


Fig. 57: Idrogramma di piena dell'evento del 05-06 dicembre 2020 nel bacino del Rio Rì.

P totale è il valore di precipitazione inserita nel file di pioggia; Pe è la *Pioggia efficace*, ovvero la porzione di precipitazione che secondo il modello genera deflusso superficiale; Q totale è la *portata totale simulata dal modello*; Q diretta è la portata diretta (superficiale) simulata dal modello idrologico, Q base è la portata generata dal deflusso di base o sottosuperficiale simulata dal modello.

Tab. 46: Parametri ottenuti dalla simulazione dell'idrogramma di piena per l'evento del 5-6 dicembre 2020.

	Diretta	Base	Totale
Precipitazione (mm)	88.306	163.557	252.09
Portata Iniziale ( $\text{m}^3/\text{s}$ )	0	0.02	0.02
Portata massima ( $\text{m}^3/\text{s}$ )	4.557	1.806	6.035
Portata media ( $\text{m}^3/\text{s}$ )	1.105	0.523	0.806
Tempo al picco (h)	32.95	42.02	37.58

### Evento meteorico del 29 luglio 2022

La prima precipitazione risultata più intensa nel periodo tra i due rilievi è datata 29 luglio 2022. Nella simulazione è stato utilizzato AMC II, poiché la quantità di precipitazione caduta nei 5 giorni precedenti l'evento meteorico in esame ricade nella classe corrispondente ad AMC II. Il CN medio apparente utilizzato nella simulazione dal modello è 57.10.

La precipitazione caduta il 29 luglio non ha determinato un aumento rilevante della portata del rio [Fig.58]; infatti, il modello ha stimato una portata massima di circa 1 m<sup>3</sup>/s [Tab.47].

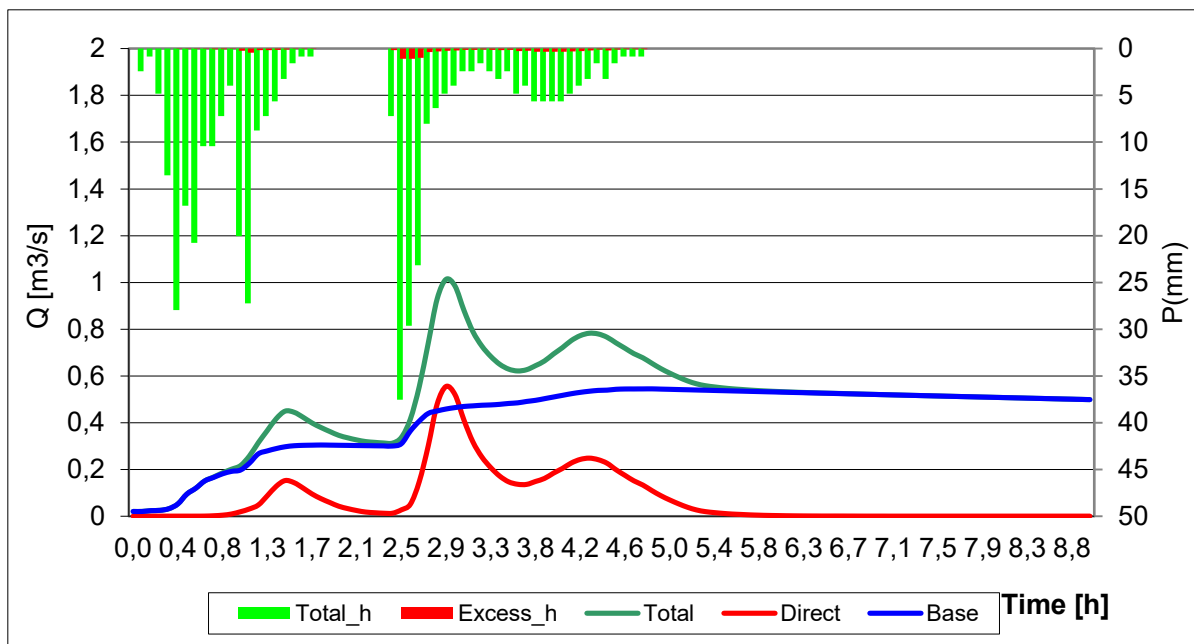


Fig. 58: Idrogramma di piena simulata relativa alla precipitazione del 29 luglio 2022 nel bacino del Rio Rì.

P totale è il valore di precipitazione inserita nel file di pioggia; P<sub>e</sub> è la *Pioggia efficace*, ovvero la porzione di precipitazione che secondo il modello genera deflusso superficiale; Q totale è la *portata totale simulata dal modello*; Q diretta è la portata diretta (superficiale) simulata dal modello idrologico, Q base è la portata generata dal deflusso di base o sottosuperficiale simulata dal modello.

Tab. 47: Parametri ottenuti dalla simulazione dell'idrogramma di piena per l'evento del 29 luglio 2022.

	Diretta	Base	Totale
Precipitazione (mm)	0.797	31.022	31.82
Portata Iniziale (m <sup>3</sup> /s)	0	0.02	0.02
Portata massima (m <sup>3</sup> /s)	0.555	0.545	1.013
Portata media (m <sup>3</sup> /s)	0.075	0.165	0.169
Tempo al picco (h)	2.92	4.83	2.92

### Evento meteorico del 10-11 maggio 2023

Nel caso in questione, la precipitazione ebbe inizio nella serata del 9 maggio 2023 e si concluse nella tarda serata dell'11 maggio. Nei giorni precedenti l'evento ci furono delle leggere precipitazioni, per cui si è utilizzato un AMC II nella simulazione. Secondo il modello, le precipitazioni furono abbastanza cospicue da produrre della Pe e quindi del deflusso [Fig.59]. La portata massima simulata dal modello risulta pari a 1.5 m<sup>3</sup>/s [Tab.48].

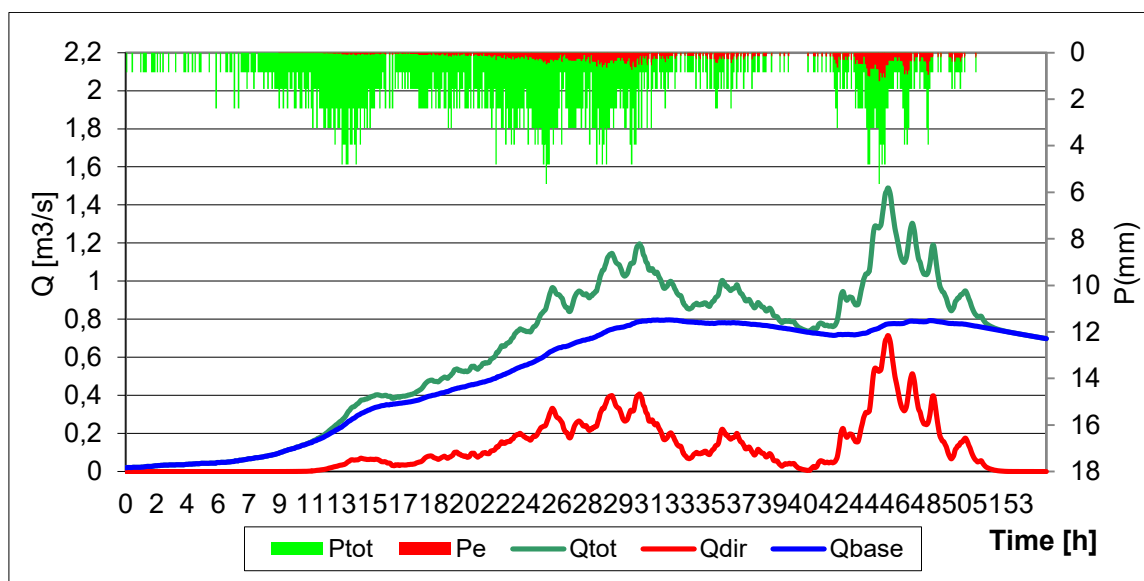


Fig. 59: Idrogramma di piena simulata relativa alla precipitazione del 10-11 maggio 2023 nel bacino del Rio Rì.

P totale è il valore di precipitazione inserita nel file di pioggia; Pe è la *Pioggia efficace*, ovvero la porzione di precipitazione che secondo il modello genera deflusso superficiale; Q totale è la *portata totale simulata dal modello*; Q diretta è la portata diretta (superficiale) simulata dal modello idrologico, Q base è la portata generata dal deflusso di base o sottosuperficiale simulata dal modello.

Tab. 48 Parametri ottenuti dalla simulazione dell'idrogramma di piena per l'evento del 10-11 maggio 2023.

	Diretta	Base	Totale
Precipitazione (mm)	7.992	71.625	85.988
Portata Iniziale (m <sup>3</sup> /s)	0	0.02	0.02
Portata massima (m <sup>3</sup> /s)	0.714	0.797	1.489
Portata media (m <sup>3</sup> /s)	0.121	0.273	0.304
Tempo al picco (h)	45.40	32.35	45.40



## 10.5 Confronto tra i risultati delle simulazioni e i volumi misurati

Nel periodo fra il 2013 e il 2023 si sono verificati 2 eventi di piena di intensità elevata, entrambi avvenuti prima del rilievo del 2021. Dal confronto con i volumi misurati nel rilievo del 2013 e riportati in Tab.49, si nota come nei 3 settori più a monte siano aumentati i volumi di LWD presenti in alveo, mentre nel settore 1 sono diminuiti. Le due piene, se pur con portate massime differenti, hanno determinato un rifornimento di legname in alveo soprattutto a causa dell'erosione delle sponde boscate. Tali dati però potrebbero non essere completamente descrittive della situazione post-eventi, poiché a seguito delle due piene sono stati effettuati dei lavori di sistemazione e svasso delle piazze di deposito.

Più significativo è certamente il confronto di volumi nel settore 4, poiché non è stato interessato da lavori di svasso e sistemazione idraulica. Tale tratto presenta un aumento consistente di LWD a seguito dei due eventi principali, mentre una diminuzione dopo gli eventi di bassa intensità avvenuti tra il 2021 e il 2023. Data la natura del bacino, caratterizzato da forti pendenze, frane diffuse e da un alveo ricco di detriti di falda, si può ipotizzare che gli eventi ordinari con un deflusso superficiale sopra una certa soglia, siano in grado di trasportare verso valle quantitativi di detrito di falda tali da coprire in parte gli elementi dispersi presenti in alveo e/o trasportare parte di questi legnetti verso valle.

I due eventi di piena straordinaria, entrambi caratterizzati da una durata di precipitazione molto lunga, da una pioggia efficace elevata e da intensità medie non particolarmente elevate, hanno determinato l'aumento del volume dei LWD nel settore 4 soprattutto a causa delle frane di sponda causate dalla saturazione del terreno e della forza erosiva del deflusso.

Elementi che risultano fondamentali nel generare un deflusso rilevante sono le condizioni iniziali di saturazione del terreno e la quantità e durata complessiva della precipitazione; questo è dovuto al fatto che il bacino è caratterizzato da una natura carsica, quindi la prima pioggia non è in grado di generare deflusso, poiché tende ad infiltrarsi completamente nel terreno. Sulla portata massima influisce anche l'intensità della precipitazione: l'evento del 2018 presenta un'intensità media maggiore rispetto a quello del 2020 e questo si è ripercosso sulla portata alla sezione di chiusura (nel 2018 è stimata quasi il doppio rispetto al 2020).





Tab. 49: Valori di precipitazione, portata liquida per gli eventi analizzati con il modello idrologico nel Rio Rì e volume del legname misurato in alveo tra il 2013 e il 2023.

Evento	P totale (mm)	Pe (mm)	Durata (ore)	Intensità media (mm/h)	P nei 5 giorni precedenti l'evento	Q massima (m <sup>3</sup> /s)	Q media (m <sup>3</sup> /s)	Volume deflusso (m <sup>3</sup> )	Volume legname (m <sup>3</sup> )			
									Settore 1	Settore 2	Settore 3	Settore 4
Settembre 2013									15.590	0.660	1.700	15.980
28-29 ottobre 2018	379.80	89.819	62.5	6.08	1.5	11.437	1.057	269546.8				
5-6 dicembre 2020	251.87	88.31	62.5	4.03	19.8	6.035	0.806	265006.3				
Ottobre 2021									9.545	2.445	3.625	20.643
29 luglio 2022	31.80	0.797	4.75	6.69	49.1	1.014	0.169	2391.8				
10-11 maggio 2023	79.53	7.992	51	1.56	38.2	1.489	0.304	23984.0				
Luglio 2023												18.018

I bacini montani caratterizzati da un clima pre alpino equinoziale solitamente presentano delle precipitazioni consistenti nel periodo tardo estivo-autunnale con un minimo invernale. Ci si aspetterebbe pertanto che gli eventi di piena avvengano in autunno o in primavera. Il decennio analizzato non pare presentare però una stagione preferenziale per gli eventi meteorici che sono stati in grado di dare origine a una portata significativa. L'evento che maggiormente risulta non essere in linea con le aspettative è quello avvenuto nel dicembre del 2020, per il quale le condizioni stazionali non hanno permesso probabilmente lo sviluppo di neve (la temperatura registrata non è scesa sotto gli 0°C durante precipitazione).



## 11. Conclusioni

Le portate liquide, che spesso caratterizzano i bacini montani, in caso di particolari eventi meteorici possono portare a piene con trasporto solido, se non addirittura colate iperconcentrate o colate detritiche. La presenza di fasce boscate lungo le sponde degli alvei può inoltre innescare ulteriori problematiche; infatti, il materiale legnoso, cadendo in alveo, può essere anch'esso trasportato assieme all'acqua e ai detriti verso valle. Il materiale legnoso può essere trasportato sia all'interno della corrente, che per flottazione; inoltre, può essere trasportato come galleggiante singolo (in regime di trasporto non congestionato), come galleggiante congestionato (in regime congestionato), oppure come fronte congestionato secco (in regime ipercongestionato). Il materiale legnoso, soprattutto se di grandi dimensioni, può causare ostruzioni alle luci dei ponti, determinare fenomeni di avulsione, ostruire i filtri di eventuali briglie filtranti presenti, e causare danni alle opere di difesa. Diventa quindi fondamentale lo studio delle dinamiche che coinvolgono i LWD lungo un alveo.

Il rio Rì è caratterizzato da una portata effimera, a causa della natura carsica del suo bacino, quindi i suoi tempi di risposta agli eventi meteorici risultano inizialmente più lenti, ma una volta che l'acqua presente sotto al materasso detritico arriva in superficie, la risposta diviene improvvisamente veloce, con la formazione di piene improvvise e pericolose. A rendere ancora più elevato l'impatto di piene liquide consistenti è il trasporto solido sia di materiale detritico che legnoso. Gli eventi di piena straordinari sono quindi legati alle precipitazioni che interessano la superficie del bacino.

Nel presente lavoro, sono stati analizzati i rilievi effettuati nell'autunno del 2021 e quelli della tarda primavera del 2023; i risultati sono stati poi confrontati con quelli effettuati precedentemente. I rilievi effettuati nei diversi anni mostrano come l'accumulo di LWD sia risultato differente a seguito degli eventi di piena straordinari. I settori 1 e 2 mostrano molti più elementi dispersi nei rilievi effettuati a seguito delle piene straordinarie rispetto a quelli effettuati in contesti di ordinarietà. Il settore 3 mostra dei dati discordanti, ovvero i rilievi del 2004 mostrano un numero molto ridotto di elementi dispersi, mentre nei rilievi successivi il numero è abbastanza cospicuo. Il settore 4 presenta in tutti i casi un numero elevato di elementi dispersi; l'unico rilievo con un numero decisamente inferiore è quello del 2023, presumibilmente a seguito di qualche evento di piena non straordinario ma con trasporto detritico che ha coperto in parte il materiale legnoso presente.



Per quanto riguarda il volume totale stimato nel tratto analizzato, esso risulta abbastanza costante; al contrario, la distribuzione nei diversi settori cambia da evento a evento. Considerando il campionamento del 2013 come pre piena e quello del 2021 come post piena del 2020, ci sono delle costanti nella redistribuzione del materiale a seguito di piene straordinarie:

- i settori 1 e 2 presentano un incremento volumetrico;
- il settore 4 presenta un notevole decremento;
- il settore 3 rimane pressoché costante.

Le simulazioni di piena effettuate con il modello Hydromodel del Software GIS AdB-ToolBox mostrano come le piene siano strettamente legate alle precipitazioni. La prima fase degli eventi, soprattutto in caso di condizioni di scarsa saturazione del terreno, è caratterizzata da un progressivo lento aumento della precipitazione efficace e quindi del deflusso di base. Quando la precipitazione raggiunge intensità e durate significative, la portata che defluisce alla sezione di chiusura aumenta in modo repentino. L'evento del 28-29 ottobre 2018 è quello che ha avuto la portata di piena maggiore nel periodo analizzato: il modello ha simulato due picchi con portata maggiore di  $11 \text{ m}^3/\text{s}$ . Infatti, questo evento è quello che ha causato maggiori problematiche e danni in alveo.

Il volume del materiale legnoso è solo parte del detrito movimentato nelle piene straordinarie di questo bacino: sarebbe interessante svolgere uno studio che stabilisca la quantità di detrito di falda rispetto a quello legnoso e a quello totale. La frequenza di accadimento di eventi con tempi di ritorno elevati sta aumentando a causa dei cambiamenti climatici, in particolare dell'aumento della temperatura; è importante quindi che questi bacini vengano monitorati e gestiti costantemente.



## Bibliografia

- Abernethy B. et Rutherford I., 1999. *The effect of riparian tree roots on the mass-stability of riverbanks*. Earth Surface Processes and Landforms Earth Surf. Process. Landforms 25, 921±937
- Arena N. (2014) *Analisi del legname nell'alveo del Torrente Rì (TN)*. Tesi di laurea triennale in Riassetto del territorio e Tutela del paesaggio. Università degli studi di Padova. Relatori: Gregoretti C., Degetto M.
- Alberti R. (2012) *Modellazione idrologica e trasporto del legname nei torrenti rio Val Scura e rio Rì in Provincia di Trento*. Tesi di laurea triennale in Riassetto del territorio e Tutela del paesaggio. Università degli studi di Padova. Relatori: Gregoretti C., Degetto M.
- Bernard M. (2014). *Modellazione idrologica per un bacino di testata con confronto tra valori di deflusso misurati e simulati*. Tesi di laurea magistrale in Ingegneria Civile. Università degli studi di Padova. Relatori: Lanzoni S., Gregoretti C.
- Bilby, R.E., Ward, J.W., 1989. *Changes in characteristics and function of woody debris with increasing size streams in western Washington*. Transactions of the American Fisheries Society 118, 368±378.
- Clark, P.J., Evans, F.C., 1954. *Distance to nearest neighbors a measure of spatial relationships in populations*. Ecology 35, 445±453.
- Clifford E. Kraft, Dana R. Warren (2002). *Development of spatial pattern in large woody debris and debris dams in streams*. Geomorphology 51 (2003) 127–139
- Degetto M. (1999) *Dinamica del legname in alveo e modellazione del suo comportamento in presenza di briglie filtranti*. Tesi di laurea in Scienze Forestali ed Ambientali. Università degli studi di Padova. Relatori: D'Agostino V., Righetti M., Armanini A.
- Ferro V. (2006), *“La sistemazione dei bacini idrografici”*. Seconda edizione McGraw-Hill
- Michael G. Wing, Richard F. Keim, Arne E. Skaugset, 1999. *Applying geostatistics to quantify distributions of large woody debris in streams*. Computers & Geosciences 25 (1999) 801±807



- Martinelli G. (2013). *Piano di assestamento forestale del Comune di Caldonazzo*. Servizio Foreste e Fauna – Provincia Autonoma di Trento.
- Montgomery, D.R., Buffington, J.M., Smith, R.D., Schmidt, K.M., Pess, G., 1995. *Pool spacing in forest channels*. *Water Resources Research* 31 (4), 1097±1105.
- Montgomery, D.R., Buffington, J.M., 1997. *Channel-reach morphology in mountain drainage basins*. *Geological Society of America Bulletin* 109 (5), 596±611.
- Judith K. Haschenburgera,\* , Stephen P. Riceb, 2003. *Changes in woody debris and bed material texture in a gravel-bed channel*. *Geomorphology* xx (2003) xxx–xxx
- Naiman R. et al., 2002. *Dead Wood Dynamics in Stream Ecosystems*. USDA Forest Service Gen. Tech. Rep. PSW-GTR-181.
- Kraft C., Warren D., 2002. *Development of spatial pattern in large woody debris and debris dams in streams*.
- Swanson, F.J., Lienkaemper, G.W., Sedell, J.R., 1976. *History, Physical Effects, and Management Implications of Large Organic Debris in Western Oregon Streams*. PNW-56. USDA Pacific Northwest Forest and Range Experiment Station, Portland. 15 pp.
- Università degli Studi di Padova, Corso di LM in Scienze Forestali e Ambientali: appunti del corso *Applicazione GIS in idrologia* (2020-2021)
- Università degli Studi di Padova, Corso di laurea in Riassetto del territorio e tutela del paesaggio: appunti del Corso di *Idraulica e Idrologia* (2009-2010)
- Manuale d'uso del software applicativo adb-toolbox (versione 1.7 e superiori) rev.9 (2013)

#### Siti web consultati:

- <https://www.comune.caldonazzo.tn.it/>
- <http://storico.meteotrentino.it/web.htm?ppbm=T0010&rs&l&df>
- [http://www.protezionecivile.tn.it/territorio/webgis\\_downloadcarte/](http://www.protezionecivile.tn.it/territorio/webgis_downloadcarte/)
- [https://siatservices.provincia.tn.it/stemdata/2014\\_lidar\\_dtm\\_asc/](https://siatservices.provincia.tn.it/stemdata/2014_lidar_dtm_asc/)
- <https://siat.provincia.tn.it/>

