



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA
Dipartimento: Territorio e Sistemi Agro - Forestali

Corso di laurea magistrale in Scienze Forestali e Ambientali

Il legname nei torrenti montani: monitoraggio
della movimentazione con l'uso di
radiotrasmettitori

Relatore
Ch.mo Prof. Mario Aristide Lenzi
Correlatore
PhD. Emanuel Rigon

Laureanda
Linda Costa
Matricola n.
1036355

ANNO ACCADEMICO 2012 - 2013

Ai miei genitori

ABSTRACT

The present study was aimed to observe the movement of the in-channel wood of the Cordevole river using active radio transmitters that have allowed us to monitor the *Large Wood (LW)* dynamics during ordinary flood events.

The analysis of LW displacements have fundamental importance with regard to the morphological changes and the risks assessment, with the aim of a correct design of the artificial structures that takes into account the presence of this material. The main function of the floating wood must be studied for each channel, in order to have a correct management of the entire hydrological basin.

In this paper we have tried to highlight the effective LW mobility in the Cordevole river. The study involved a sub-reach located inside the municipality of Livinallongo del Col di Lana. Were sampled 48 LW elements and tagged with an RFID transmitter, that have permitted, in response to a flood event, the location of the LW floated downstream. For each element were recorded quantitative and qualitative parameters and subsequently were conducted statistical analysis to highlight the correlations between these data.

Almost all the LW monitored are conifers of which 30% still presents the roots, localized in the active channel (56 %) or in the proximity (19%), the majority where floated (75 %), and 2/3 are not aggregate in log jams. The dimensions are between 0.1 and 0.44 m in diameter, and an average length of 6 m. During the period of monitoring carried out between May and June 2013, there has been a flood event with the ordinary flow rate of about 40 m³/s (hydrometric station of Saviner), which has caused the displacement of 18 LW tagged. Five elements have not been found because of a possible transmitters malfunction or tampering. The LW average distance covered during the flood is 2.9 km, with a maximum of 8.2 km. An analysis of the dimensions of the elements in relation to distance traveled does not reveal statistically significant relationships. In the present work will be thorough changes in the LW in the last 6 years in the stretch of the study, and the characteristics of the displacement dynamic observed.

RIASSUNTO

Lo studio proposto ha avuto lo scopo di osservare la movimentazione del legname all'interno dell'alveo del torrente Cordevole utilizzando radiotrasmittitori che hanno permesso di monitorare il comportamento che il *Large Wood (LW)* ha durante eventi di piena ordinari.

L'analisi della movimentazione del LW risulta essere di fondamentale importanza per quanto riguarda le modificazioni morfologiche e per la valutazione dei rischi che la fluitazione del legname può causare, con il fine di una corretta progettazione delle opere di sistemazione idraulico forestale che tengano in considerazione la presenza di questo materiale. Per ogni corso d'acqua va quindi valutata la funzione prevalente che il legname assume all'interno del collettore, questo permette di procedere ad una corretta gestione dell'intero bacino idrografico.

Con questo elaborato si è cercato di porre in evidenza l'effettiva mobilità che il LW assume all'interno del torrente Cordevole. Lo studio ha interessato un tratto del torrente localizzato nel comune di Livinallongo del Col di Lana. Sono stati campionati 48 elementi legnosi ai quali è stato inserito un trasmettitore RFID che ha permesso, in seguito ad un evento di piena, la localizzazione del LW fluitato a valle. Per ogni elemento legnoso sono stati rilevati i parametri quantitativi e qualitativi e successivamente sono state condotte delle analisi statistiche per evidenziare le correlazioni tra questi dati.

Quasi tutti gli elementi monitorati sono delle conifere di cui il 30% presenta ancora la ceppaia, localizzati all'interno dell'alveo attivo (56%) o nelle immediate vicinanze (19%), per la maggior parte già movimentati in precedenza (75%), e per 2/3 disposti singolarmente. Le dimensioni sono comprese tra 0,1 e 0,44 m di diametro, e una lunghezza media di 6 m. Durante il periodo di monitoraggio eseguito tra maggio e giugno 2013, si è verificato un evento di piena ordinario con portata di circa 40 m³/s (stazione idrometrica di Saviner), che ha causato lo spostamento di 18 elementi. Cinque di essi non sono stati ritrovati a causa di una possibile manomissione o malfunzionamento dei trasmettitori. La distanza media percorsa è di 2,9 km, con un massimo pari a 8,2 km. Dall'analisi delle dimensioni degli elementi in relazione alle distanze percorse non emergono relazioni statistiche significative. Nel presente lavoro saranno approfondite le variazioni del LW negli ultimi 6 anni nel tratto di studio, e le caratteristiche della dinamica di movimentazione osservata.

INDICE

<i>Indice delle figure</i>	<i>IV</i>
<i>Indice della tabelle</i>	<i>VII</i>
1. Introduzione	1
2. Il legname in alveo	5
2.1 Nomenclatura del legname in alveo	6
2.2 Origine del legname in alveo	7
2.3 Le proprietà del legno	8
2.4 Trasporto del legname in alveo	10
2.5 Gli accumuli legnosi	13
2.6 La presenza e la volumetria del legname in alveo	18
2.7 Gli effetti del legname in alveo	22
2.7.1 Gli effetti ed i rischi idraulici	24
2.7.2 Effetti erosivi – sedimentologici	27
2.7.3 Effetti morfologici	27
2.7.4 Effetto ecologici	28
2.8 Studi precedenti	28
3. Materiali e metodi	31
3.1 Materiali utilizzati	32
3.2 Metodologie di lavoro	35
3.2.1 Prima fase: identificazione, rilevamento ed inserimento del tag RFID	35
3.2.2 Seconda fase: monitoraggio post – evento	45
3.2.3 Terza fase: elaborazione dati	48
4. Descrizione dell'area di studio	49
4.1 Il bacino idrografico del Torrente Cordevole	50
4.2 Il tratto del Torrente Cordevole oggetto di studio	51
4.3 Parametri morfometrici	51

4.3.1	Idrografia	54
4.3.2	Quote	56
4.3.3	Esposizione	57
4.3.4	Pendenze	58
4.4	Piovosità e clima	60
4.5	Assestamento territoriale	62
4.6	Geomorfologia	64
4.7	La frana del monte Piz	65
4.8	Eventi di dissesto	66
4.9	Storia	70
5.	Analisi e risultati	71
5.1	Valutazione dei dati di portata nella stazione di Saviner	71
5.2	Analisi qualitative e quantitative del LW campionato	73
5.2.1	Classe vegetazionale degli elementi legnosi monitorati	76
5.2.2	Origine degli elementi legnosi	77
5.2.3	Localizzazione	79
5.2.4	Stato di degradazione	81
5.2.5	Orientamento	82
5.2.6	Stato di aggregazione	84
5.2.7	Lunghezze degli elementi campionati	85
5.2.8	Diametri degli elementi campionati	86
5.3	Analisi qualitative e quantitative del LW movimentato	87
5.3.1	Lunghezza degli elementi movimentati	94
5.3.2	Diametro degli elementi movimentati	95
5.3.3	Volume degli elementi movimentati	96
5.3.4	Stato di degradazione degli elementi movimentati	97
5.4	Elementi legnosi non ritrovati	98
6.	Discussioni	99
6.1	LW campionato e variazioni qualitative negli ultimi 6 anni	100
6.2	Osservazioni di monitoraggio del LW	104
6.2.1	Parametri quantitativi e movimentazione del LW campionato	105

7. Conclusioni	111
8. Bibliografia	115

Indice delle figure

	Pag.
Figura 2.1 – Debris flood jams lungo il torrente Cordevole	17
Figura 2.2 – Caprile in seguito all'alluvione del 1966	26
Figura 2.3 – Immissione del torrente Fiorentina nel Torrente Cordevole a Caprile. Alluvione 1966	26
Figura 3.1 – Localizzazione della stazione idrometrica di Saviner	31
Figura 3.2 – Serie di briglie sul Torrente Cordevole	32
Figura 3.3 – Scheda di campo e palmare <i>Nomad Trimble</i> utilizzati durante la fase di installazione dei trasmettitori	35
Figura 3.4 – Canale da valanga e detrito legnoso depositato su entrambe le sponde del torrente Cordevole	36
Figura 3.5 – Confluenza del torrente Ornella nel Torrente Cordevole	37
Figura 3.6 – Inizio del tratto di studio in prossimità del ponte di Digionera	37
Figura 3.7 – Elemento campionato di piccole dimensioni	38
Figura 3.8 – A sinistra elemento campionato di grandi dimensioni	38
Figura 3.9 – Preparazione del foro	39
Figura 3.10 – Inserimento tag RFID	39
Figura 3.11 – Applicazione del silicone e ricoprimento con segatura	39
Figura 3.12 – Applicazione del tag metallico	39
Figura 3.13 – Elemento ritrovato in fase di monitoraggio	47
Figura 4.1 – Localizzazione dell'area di studio	49
Figura 4.2 – Tratto del Torrente Cordevole	50
Figura 4.3 – DEM del bacino del Torrente Cordevole considerando come sezione di chiusura lo sbarramento di Masarè	52
Figura 4.4 – Rappresentazione grafica della superficie nelle 10 classi altitudinali	56
Figura 4.5 – DEM del bacino del Cordevole con rappresentate le esposizioni	57
Figura 4.6 – Grafico a radar con la distribuzione percentuale delle esposizioni	58
Figura 4.7 – DEM del bacino del Cordevole con rappresentate le pendenze	59
Figura 4.8 – Rappresentazione grafica della superficie nelle 9 classi di pendenza	59
Figura 4.9 – Rappresentazione grafica dell'andamento della piovosità	61
Figura 4.10 – Rappresentazione grafica dell'andamento delle temperature	62
Figura 4.11 – DEM del bacino del Cordevole con rappresentata l'area assestata	63
Figura 4.12 – Carta geolitologica del bacino del Cordevole chiuso a Masarè (Rigon, 2009)	65
Figura 4.13 – Cartografia di Alleghe del 1783	66
Figura 4.14 – Erosione della Statale Agordina il Località Miniere nel corso dell'alluvione 1966. (Istituto bellunese di ricerche sociali e culturali)	68
Figura 4.15 – Centro abitato di Caprile, alluvione 1966. (Istituto bellunese di ricerche sociali e culturali)	68
Figura 4.16 – Ponte di Masarè a valle del lago di Alleghe, alluvione 1966. (Istituto bellunese di ricerche sociali e culturali)	69
Figura 4.17 – Caprile, ponte sulla Statale Agordina, alluvione 1966. (Istituto bellunese di ricerche sociali e culturali)	69

Figura 5.1 – Portate medie giornaliere del Torrente Cordevole registrate a Saviner. Minimi (rosso) medi (verde) e massimi (blu) di ogni mese per gli anni dal 1990 al 2012. I box rappresentano il 25° e 75° percentile, i baffi gli estremi, e i punti dentro i box il valore mediano. Le linee sono i valori registrati nei primi sei mesi del 2013	72
Figura 5.2 – Idrogramma orario di T. Cordevole dal primo gennaio al 4 luglio 2013	73
Figura 5.3 – Rappresentazione grafica della percentuale in classe vegetazionale del LW campionato	76
Figura 5.4 – Rappresentazione grafica della percentuale di LW composta da tronco o da tronco e ceppaia	77
Figura 5.5 – Rappresentazione grafica dell’origine degli elementi campionati in relazione alla numerosità degli stessi	78
Figura 5.6 – Rappresentazione grafica dell’origine degli elementi campionati in relazione al volume degli stessi	78
Figura 5.7 – Rappresentazione grafica della distribuzione numerica del LW campionato nel torrente Cordevole	80
Figura 5.8 – Rappresentazione grafica della distribuzione volumetrica del LW campionato nel torrente Cordevole	80
Figura 5.9 – Rappresentazione grafica dello stato di degradazione espresso in numero di elementi del LW campionato	81
Figura 5.10 – Rappresentazione grafica dello stato di degradazione espresso volume degli elementi del LW campionato	82
Figura 5.11 – Rappresentazione grafica dell’orientamento del LW campionato. Percentuale riferita al numero	83
Figura 5.12 – Rappresentazione grafica dell’orientamento delle ceppaie all’interno del torrente Cordevole. Analisi fatta su 15 campioni che presentavano le radici. Percentuali riferite al numero.	84
Figura 5.13 – Rappresentazione grafica dello stato di aggregazione del LW	84
Figura 5.14 – Rappresentazione grafica della distribuzione delle lunghezze degli elementi legnosi al momento del campionamento	85
Figura 5.15 – Rappresentazione grafica della distribuzione dei diametri degli elementi legnosi al momento del campionamento	86
Figura 5.16 – LW movimentato e ritrovato a monte della briglia fantasma	87
Figura 5.17 – Pozza a monte della “briglia fantasma”	90
Figura 5.18 – Rappresentazione grafica del monitoraggio del LW	90
Figura 5.19 – Elaborazione <i>Gis</i> raffigurante la distribuzione degli elementi legnosi nel momento dell’installazione dei tag RFID	92
Figura 5.20 - Elaborazione <i>Gis</i> raffigurante la distribuzione degli elementi legnosi movimentati nel momento del monitoraggio post evento	93
Figura 5.21 – Rapporto lunghezza degli elementi – distanza percorsa	94
Figura 5.22 – Rapporto diametro degli elementi – distanza percorsa	95
Figura 5.23 – Rapporto distanza percorsa e volume degli elementi	96
Figura 5.24- Immagini relative ai LW in fase di installazione RFID, poi non ritrovati	98
Figura 6.1 – Erosione spondale che ha causato lo sradicamento di una pianta	101
Figura 6.2 – Accumuli di legname in seguito ad una valanga	102
Figura 6.3 – Immissione dell’acqua utilizzata dalla centralina di Davedino	103
Figura 6.4 – Confronto della lunghezza del LW nelle tre categorie	105

Figura 6.5 - Confronto del diametro LW nelle tre categorie	106
Figura 6.6 - Confronto del volume LW nelle tre categorie	107
Figura 6.7 – LW bloccato all'interno dell'alveo	108
Figura 6.8 – Rappresentazione grafica del LW con e senza ceppaia	110

Indice delle tabelle

	Pag.
Tabella 3.1 – Scheda di campo con riportati i dati di alcuni elementi legnosi rilevati all'interno del torrente Cordevole	40
Tabella 3.2 - Scheda che descrive un accumulo legnoso presente le tratto in esame del torrente Cordevole	44
Tabella 3.3 – Scheda di campo per monitorare gli spostamenti del legname in alveo	46
Tabella 4.1 - Lunghezza dei 6 ordini di collettori	53
Tabella 4.2 – Affluenti nell'Alta Val Cordevole	55
Tabella 4.3 – Area espressa in Km ² presente per ogni fascia altitudinale	56
Tabella 4.4 – Tabella riassuntiva della piovosità mensile	60
Tabella 4.5 – Tabella riassuntiva delle temperature mensili	62
Tabella 5.1 – Scheda di campo con inseriti tutti i dati raccolti. Acronimi utilizzati: <u>Localizzazione</u> : D = dentro, M = marginale, S = sospeso, ST = step, Bf = Bankfull; <u>Orientamento</u> : CM = ceppaia monte, CV = ceppaia valle, ° rispetto alla corrente; <u>Origine</u> : FR = frana, SP = sponda, N = naturale, FL = fluitato, Ru = residui di taglio, DF = Debris Flow; <u>Rami</u> : INT = tutti i rami intatti, SPZ = alcuni rami spezzati, SN = solo nodi, ASS = assenti; <u>Stato di degradazione</u> : F = fresco, M = medio, V = vecchio, % di corteccia; <u>Interazione con la corrente</u> : S = sommerso, PS = parzialmente sommerso e % di sommersione; <u>Interazione con i sedimenti</u> : DP = deposito, SC = scavo, M = monte, V = valle, dimensione e tipo di sedimenti; <u>Stato di aggregazione</u> : S = singolo, A = accumulo.	75
Tabella 5.2 – Tabella riassuntiva dei rilevati effettuati durante la fase di monitoraggio	89
Tabella 5.3 – Distanza percorsa dagli elementi con stato di degradazione definito “vecchio”	97
Tabella 5.4 – Distanza percorsa dagli elementi con stato di degradazione definito “medio”	97
Tabella 6.1 – Risultato della fase di monitoraggio	105
Tabella 6.2 - Classificazione degli elementi con ceppaia	109

1. INTRODUZIONE

Solo in tempi recenti si è iniziato a studiare la presenza del detrito legnoso all'interno dei corsi d'acqua. Si apprende da articoli scientifici che questo tipo di osservazioni si sono sviluppate inizialmente in Nord America ed hanno interessato solo da poco tempo l'Europa ed in particolare l'Italia dove sono state fatte osservazioni prevalentemente in torrenti presenti sull'arco alpino.

In questo elaborato il detrito legnoso verrà indicato come *Large Wood* (LW) termine tecnico che indica il legno morto avente diametro minimo di 0,1 m e lunghezza minima pari a 1 m; esso può essere indicato anche come *Large Woody Debris* (LWD), inteso però come vero e proprio detrito in senso più prettamente negativo nei confronti delle sue interazioni con la morfologia fluviale.

L'introduzione di detrito legnoso all'interno dell'asta fluviale è da ricondurre a numerose cause che alla base hanno lo spopolamento delle zone alpine con conseguente cessazione delle attività agro – silvo – pastorali (Zorzi, 2007). Negli ultimi decenni si è assistito ad un cospicuo spopolamento dei paesi di montagna considerati disagiati in relazione alle comodità che paesi e città di fondovalle e di pianura possono offrire, questo fattore assieme all'eccessiva frammentazione del territorio in numerose proprietà private ha portato in molte aree alpine ad un progressivo abbandono delle attività agricole e boschive che hanno permesso la colonizzazione di zone boscate in aree precedentemente gestite a prato o pascolo e ad un eccessivo invecchiamento del bosco in aree già precedentemente boscate. Questi fattori portano, con il passare degli anni, ad un progressivo degrado ambientale che oltre ad influire sulla fauna e sulla flora locale porta parte del detrito legnoso prodotto dal bosco ad entrare all'interno dei corsi d'acqua. L'ingresso di LW all'interno degli alvei dipende per la maggior parte dalla mortalità naturale del bosco data dall'invecchiamento dello stesso, dalla mortalità episodica causata da eventi eccezionali come attacchi parassitari, schianti, incendi, frane, colate detritiche, erosioni spondali più o meno accentuate e non di minor importanza vanno considerate le attività antropiche che se non eseguite in modo ottimale possono causare effetti negativi alla morfologia fluviale.

La presenza di LW all'interno dell'alveo del torrente è quindi una testimonianza dell'evoluzione temporale dell'alveo stesso e presenta varie interazioni dal punto di vista morfologico, idraulico e ambientale (Rigon, 2009). Di estrema importanza sono i problemi di

carattere idraulico che si osservano in seguito alla movimentazione del LW durante eventi di piena; in corso di evento il legname presente in alveo spesso viene mobilizzato causando problemi e malfunzionamenti a molte opere presenti, le opere più sensibili e che risentono maggiormente della presenza del LW sono i ponti, in particolare le luci degli stessi che tendono ad intasarsi creando un'ostruzione la quale accentua la spinta dell'acqua sull'opera stessa diminuendone la resistenza. Osservando gli spetti morfologici e ambientali la presenza del legname in alveo può avere influenze positive soprattutto per quanto riguarda lo sviluppo della fauna ittica.

Studiando il LW vanno quindi osservati gli aspetti a cui si va incontro in relazione allo scopo che ci si prefigge dall'analisi. Va inoltre ricordato che gli aspetti che vengono considerati come negativi possono venire attenuati tramite la manutenzione degli alvei, delle opere idrauliche o della vegetazione riparia.

La presenza del detrito legnoso in termini quantitativi e di azione sull'asta fluviale è strettamente dipendente dalle caratteristiche dell'intero bacino di appartenenza; vanno inoltre tenute in considerazione le caratteristiche fisiche del legname depositato in alveo che influiscono sulla propria movimentazione o resistenza alla pressione che esercita la corrente. L'osservazione del LW in alveo e la presenza di legno morto all'interno dei boschi porta ad avere informazioni utili sulle caratteristiche ecologico - funzionali della vegetazione adiacente al corso d'acqua, sia per quanto riguarda il passato e sia per l'evoluzione futura (Lombardi, Marchetti 2006).

Con il passare degli anni si è assistito ad una variazione della concezione di gestione dei tratti fluviali; in passato le sistemazioni idraulico forestali avevano come finalità esclusiva l'aspetto idraulico e non venivano sviluppate tenendo presente anche l'interazione delle opere con l'ecologia del territorio; questo risulta evidente soprattutto osservando gli interventi eseguiti nel post alluvione del novembre 1966. Solo partendo dagli anni 70 - 80 sono state utilizzate tecniche di ingegneria naturalistica che nella loro realizzazione tengono conto anche degli aspetti ecologici e ambientali del corso d'acqua soggetto a sistemazione oltre che dell'aspetto paesaggistico. Negli ultimi decenni si è assistito ad un'evoluzione in termini ingegneristici sulla costruzione delle opere idrauliche, si è passati da briglie di tipo chiuso a strutture con funzioni specifiche di trattenuta in relazione al materiale presente in alveo; nel caso del legname le briglie di trattenuta o selettive hanno la funzione di captare i tronchi impedendone la fluitazione verso valle. Va precisato che la presenza delle opere all'interno degli alvei non è sinonimo di sicurezza assoluta, le strutture perché svolgano le loro funzioni

nel lungo periodo richiedono una periodica manutenzione dell'alveo, della vegetazione riparia e della struttura stessa.

Il presente elaborato ha lo scopo di valutare un problema oramai molto attuale che è quello della presenza del detrito legnoso all'interno dei corsi d'acqua; l'interesse nel studiare questa presenza nasce dall'esigenza di informazioni utili sull'influenza che il detrito legnoso ha sulla morfologia dell'alveo e sulla sua effettiva pericolosità durante gli eventi di piena. Questo lavoro ha avuto inizio con lo studio a campione di parte del detrito legnoso posizionato sia in accumuli sia in elementi singoli nell'alveo del Torrente Cordevole in Comune di Livinallongo del Col di Lana (BL). La fase successiva dello studio ha interessato il monitoraggio relativo allo spostamento del LW durante gli eventi di piena, esso è stato possibile attraverso la captazione del segnale emesso da trasmettitori RFcodetm posizionati all'interno dei tronchi in fase di osservazione degli stessi. Nell'elaborato saranno presenti i dati osservati e misurati dei singoli elementi analizzati (diametro, lunghezza, specie, stato di degradazione, localizzazione, origine,...) e la loro posizione rilevata con GPS. La localizzazione originaria verrà poi messa a confronto con la posizione dei singoli elementi successivamente ad un evento di piena verificatosi a fine maggio 2013. Si procederà così ad una valutazione dello spostamento per fluitazione che è avvenuto a carico dei singoli elementi legnosi.

2. IL LEGNAME IN ALVEO

Da quanto evidenziato dalla FAO il patrimonio forestale a livello mondiale va considerato come patrimonio a rischio, questo perché su scala globale c'è in atto una gravosa deforestazione data dal degrado, dalla conversione di piantagioni e boschi in aree industriali, dal riscaldamento globale e dallo sfruttamento eccessivo. Le foreste mondiali attualmente ricoprono il 31 % della superficie mondiale (pari a 4 miliardi di ettari), questo dato è in progressiva variazione; da rapporti FAO si apprende che nel decennio 2000 – 2010 sono andati perduti circa 13 milioni di ettari di foreste. La diminuzione di aree boscate varia a seconda delle regioni a cui ci si riferisce, in Europa è presente la maggior area forestata del mondo mentre, nell'ultimo decennio, in Sud America c'è stata la più alta perdita di zone boscate (FAO, 2011).

Da dati diffusi dal Dipartimento di Protezione Civile, in Italia, il patrimonio boschivo è costantemente sottoposto ad incendi che il più delle volte sono di origine dolosa (circa il 51%), in buona parte sono di natura colposa (21%), nel 25% dei casi l'origine è dubbia e solo per un 3% gli incendi si originano per cause naturali come ad esempio in seguito a fulmini. Questo dato porta a ragionare sul motivo per cui più della metà degli incendi sono di natura dolosa; su questo argomento la legislatura italiana ha posto una prescrizione per la quale risulta impossibile edificare su terreni percorsi dal fuoco, essi infatti devono rispettare la destinazione d'uso precedente all'incendio per evitare speculazioni edilizie (Bottai et al., 2008). In modo indiretto questa prescrizione fa notare l'interesse nell'incendiare superfici boscate per interessi di vario tipo, questo si ripercuote inoltre sulla stabilità dell'ecosistema bosco e inoltre accresce la probabilità che materiale legnoso derivante da incendio entri all'interno dei collettori presenti nel bacino.

Nonostante gli incendi, in Italia, si assiste ad un aumento delle superfici boscate che si estendono nelle aree che un tempo erano adibite a prato o a pascolo, questo porta come conseguenza l'avvicinarsi delle foreste ai collettori e di conseguenza aumenta la probabilità che materiale legnoso entri all'interno dei corsi d'acqua (Rigon, 2009).

Da quanto pubblicato nel 2012 dall'Inventario Nazionale delle foreste del Corpo Forestale dello Stato l'aumento del patrimonio forestale è stato quantificato a 1,7 milioni di ettari nell'ultimo ventennio, stimando la presenza di 12 miliardi di alberi che ricoprono un terzo dell'intera superficie nazionale.

Questa dinamica, che è correlata alla forte riduzione della gestione forestale avvenuta nel corso dell'ultimo secolo, è alla base dei rischi di tipo idraulico; oltre a questo gli interventi antropici se non eseguiti in modo corretto spesso destabilizzano l'ecosistema, che già di per sé risulta vulnerabile, e innescano problemi di tipo idrogeologico. L'ingresso di legname nei collettori porta a modificare la dinamica fluviale ed influisce sia sull'aspetto ambientale che morfologico; il *Large Wood* prende parte alle fasi di erosione del letto, al trasporto e alle fasi di sedimentazione.

2.1. Nomenclatura del legname in alveo

Risulta di fondamentale importanza individuare un linguaggio comune per l'identificazione del materiale legnoso presente in alveo; di questo è stato ampiamente discusso nel corso della conferenza tenutasi in Oregon nel 2000 ("*First International Conference on Wood in World Rivers*"). Inizialmente il materiale legnoso, ormai morto, presente all'interno dei collettori veniva chiamato con il termine anglosassone *Large Woody Debris (LWD)*, grammaticalmente questa nomenclatura indica il legname presente come detrito legnoso, quindi come un qualcosa che interviene in modo negativo sulla dinamica fluviale; oggi il legname in alveo non è più indicato come LWD ma più semplicemente come *Large Wood (LW)* (Pecorari, 2008). Il *Large Wood* indica il materiale morto presente in alveo che supera determinate dimensioni, per il legname di dimensioni minori si utilizza il termine *Fine Wood (FW)*.

Le dimensioni soglia per la classificazione del legname sono state modificate dai diversi autori; generalmente le dimensioni minime prese in considerazione per classificare il *Large Wood* sono date dal diametro di 0.1 m e lunghezza pari a 1 m, questo elaborato si basa su queste dimensioni minime. Altri autori riportano misure soglia di classificazione del LW diverse dalle precedenti: si tratta ad esempio di Wing e Skaugset (2002) che individuano il LW con diametro e lunghezza rispettivamente di 0.15 m e 3 m, Benda et al (2002) identificano il LW come elemento avente diametro minimo di 0.08 m e lunghezza minima di 1.8 m, Young (1991) definisce minime le dimensioni pari a 0.15 m di diametro e 2 m di lunghezza ed infine Robinson and Beschta (1990) considerano le dimensioni minime con diametro di 0.20 m e lunghezza di 2 m.

Gli elementi legnosi classificati come *Fine Wood* hanno minore importanza all'interno del collettore, essi in relazione alle proprie dimensioni agiscono in modo meno impattante sulla fluviomorfologia dell'alveo, tendono generalmente solo a bloccarsi su accumuli già esistenti. Oltre a questa distinzione si possono classificare anche gli elementi legnosi che hanno lunghezza pari alla larghezza del canale, essi vengono definiti *Coarse Wood (CW)*.

Nella realtà l'influenza del legname in alveo dipende dalle sue dimensioni relative alle dimensioni di larghezza del canale, indicata come larghezza al *bankfull* (Hassan *et al.*, 2005). È intuitivo che la classificazione del legname in alveo in relazione alle proprie dimensioni (diametro e lunghezza) identifica una suddivisione generale di tali elementi, per poter individuare un vero effetto del LW esso va messo in relazione con le dimensioni dei collettori interessati.

2.2 Origine del legname in alveo

La presenza di materiale legnoso in alveo ha uno stretto legame con le caratteristiche dei boschi che lo circondano; di essi infatti si osserva l'età del soprassuolo, lo stato fitosanitario e la densità dei popolamenti oltre che alla vicinanza con il collettore e le caratteristiche del bacino stesso (pendenza, esposizione, tipo di suolo,..). C'è quindi una stretta correlazione fra le caratteristiche del soprassuolo che alimenta l'alveo e il legname presente al suo interno.

Per studiare la dinamica di introduzione del legname nell'alveo vanno osservati i fattori che favoriscono questo processo; si tratta di fattori biologici e fattori non biologici. Dei primi fanno parte le piante attaccate da malattie fungine e quelle attaccate da animali che utilizzano la pianta per vari scopi (alimentazione, riproduzione, letargo) portando quindi varie tipologie di danno. Nei fattori non biologici rientrano le colate detritiche, le frane, gli smottamenti, le valanghe, gli schianti da vento o da neve e i danni antropici causati dalle lavorazioni boschive e dalla meccanizzazione forestale.

L'immissione di legname in alveo varia in relazione all'ordine del torrente; in torrenti di primo e secondo ordine gli elementi legnosi provengono generalmente da instabilità dei versanti che causano principalmente frane, colate detritiche ed influenzano fortemente la morfologia del canale; nei fiumi di ordine superiore la presenza di elementi legnosi in alveo è da attribuire principalmente alle erosioni di sponda. In seguito a queste affermazioni si osserva che la quantità di materiale legnoso è maggiore nei collettori di primo e secondo ordine e questo porta quindi ad avere maggiori interazioni di carattere morfologico all'interno

dell'alveo. In questi torrenti la percentuale di superficie boscata al margine dell'alveo è sempre maggiore rispetto ai fiumi di ordine maggiore, assumono quindi importanza rilevante le dimensioni dei tronchi in relazione alle dimensioni dei corsi d'acqua intese come tirante critico e livello a piene rive (Rigon, 2009). Nei territori montani inoltre, i versanti adiacenti ai collettori presentano molto spesso delle pendenze elevate, questa caratteristica favorisce un maggiore dissesto dei versanti favorendo l'entrata in alveo di materiale legnoso.

In relazione a tutto ciò Pecorari (2003) propone una classificazione dei processi di immissione del legname costituendo tre categorie che si basano su una scala temporale: *lungo termine* (nell'ordine dei 100 – 200 anni) dove l'introduzione di legname è legata principalmente alla mortalità naturale del popolamento in relazione alle caratteristiche proprie del sito, processo di *medio termine* (nell'ordine dei 10 – 20 anni) è causato da schianti da vento o tipicamente da erosione spondale, essa ha una grossa influenza specialmente su corsi d'acqua di grandi dimensioni in zone vallive, infine c'è la categoria definita a *breve termine* (nell'ordine di giorni) la quale individua come cause di immissione del legname eventi quali piene ordinarie, colate detritiche, frane o incendi.

Si nota quindi che l'immissione di legname all'interno dell'alveo è favorita da molteplici fattori, sia di carattere morfologico che gestionale; risulta quindi di estrema importanza che gli interventi antropici di carattere selvicolturale e idraulico - forestale agiscano in modo corretto per migliorare la resistenza dell'intero bacino.

2.3 Le proprietà del legno

Il legno viene definito da Urso (2013) come un tessuto vegetale, fibroso e consistente, che costituisce la struttura portante del fusto, dei rami, delle radici degli alberi e degli arbusti. Esso presenta delle caratteristiche particolari che influenzano il suo comportamento a contatto con l'acqua; il legno essendo un materiale fibroso presenta una forte anisotropia che influisce sui ritiri e i rigonfiamenti a seguito di variazioni di umidità e di presenza di acqua allo stato liquido, questo è dovuto ad un diverso orientamento cellulare che caratterizza il tessuto legnoso. Sempre in riferimento all'acqua il legno possiede una forte igroscopicità, permette quindi di assorbire velocemente l'acqua anche dall'umidità atmosferica essendo il legno composto da sostanze affini all'acqua come la cellulosa e alcuni estrattivi.

L'acqua all'interno del legno e quindi all'interno della cellula può essere presente in quattro forme: acqua libera o di imbibizione, acqua legata o di saturazione presente all'interno delle pareti cellulari e legata mediante legami idrogeno, acqua di costituzione o chimica che non influisce sulle proprietà meccaniche del legno perché è l'acqua contenuta chimicamente all'interno delle molecole costituenti le pareti cellulari ed infine in vapore acqueo. L'acqua di imbibizione fluisce liberamente tra le cellule, essa non ha influenza sulle caratteristiche tecnologiche del legno salvo che sulla densità, aumenta quindi solo il peso, essa può essere reclutata dal tronco soltanto per contatto diretto con l'acqua in forma liquida. L'acqua di saturazione si unisce prevalentemente alle microfibrille di cellulosa tramite legami idrogeno, essa, a differenza dell'acqua di imbibizione, presenta una forte influenza sulle proprietà e sui comportamenti del legno, può essere desorbita o adsorbita tramite l'umidità atmosferica quindi finché c'è un gradiente fra il legno e l'atmosfera essa continua a variare. Altro parametro da tenere in considerazione è il peso specifico del legno che è uguale in tutte le specie, viene indicato allo stato anidro pari a circa 1500 Kg/m^3 . Esso si distingue dal peso specifico apparente il quale varia da specie a specie e anche all'interno della stessa pianta; le sue variazioni vanno attribuite a vari fattori come ad esempio la stazione di crescita, i difetti del legno, la presenza di umidità e la presenza di nodosità. Il più leggero che si conosca è la Balsa con un peso specifico ad umidità normale compresa tra i 50 e i 100 Kg/m^3 , mentre il più pesante legno nazionale è quello di olivo il cui peso può superare i 1000 Kg/m^3 (Giordano, 1997).

Appare evidente che il legno posto in alveo ha delle costanti interazioni con l'acqua che lo portano a subire delle modificazioni fisiche in relazione alle proprietà specifiche del legno, si osserva principalmente una continua variazione di idratazione e successiva disidratazione del legname, questo porta il tronco a subire in continuazione rigonfiamenti e ritiri. A riguardo si osserva un comportamento diverso tra i tronchi a diretto contatto con l'acqua e quelli posti lateralmente sulle sponde. Il legname in alveo quando è totalmente imbibito non è più in grado di galleggiare e fluitare lungo il collettore, il legname posto lateralmente subisce invece continue fasi di adsorbimento e desorbimento che portano la formazione di cretti, la sfibratura dei tessuti e quindi una progressiva degradazione del legno stesso. In entrambi i casi la presenza di legno posto all'interno dell'alveo, sia a contatto che non con l'acqua, è soggetto ad un maggior degrado, quindi la resistenza dei tessuti legnosi diminuisce diventando più vulnerabile alle sollecitazioni di tipo meccanico.

Tenendo conto degli aspetti fisici sopra citati, il legname presente in alveo subisce delle alterazioni che influiscono sulla resistenza alle sollecitazioni esercitate da parte del corso d'acqua. La resistenza del legname diminuisce con l'aumentare dell'umidità, delle molteplici variazioni di assorbimento e desorbimento di acqua, con le eventuali alterazioni provocate da funghi o insetti, dalla presenza di nodi, difetti e deviazioni della fibratura. Come riportato da Rigon nel 2009 la sollecitazione a flessione è dovuta alla spinta idrodinamica che agisce sui tronchi, essa è direttamente proporzionale alla velocità media dell'acqua, alla superficie del tronco investito dal flusso e al coefficiente di resistenza elasto-plastico del legname. Nel momento in cui la sollecitazione supera la resistenza avviene la rottura dell'elemento legnoso che viene così depezzato; la rottura avviene generalmente nella parte più debole del tronco, può crearsi a livello di un nodo che in questo caso funge da perno per la rottura o in parti attaccate da funghi o insetti e quindi già di per sé più deboli. La rottura del legname non è quindi casuale, essa avverrà finché l'elemento non raggiungerà una dimensione adatta che consente un agevole deflusso lungo il collettore (Degetto, 2000).

2.4 Trasporto del legname in alveo

Il movimentazione del materiale legnoso all'interno dei corsi d'acqua fino ad ora è stata poco studiata, soprattutto per quanto riguarda l'aspetto idraulico (Pecorari, 2008).

La presenza del legname all'interno di un corso d'acqua molto spesso ha come conseguenza il suo trasporto; per apprendere pienamente l'importanza del LW in alveo va studiata la sua dinamica, quindi come avviene l'inizio del moto, il trasporto ed infine la deposizione del legname.

Il moto incipiente del legname è sempre funzione di 4 tipi di forze:

- la forza di resistenza idrodinamica che agisce sul tronco;
- la forza di resistenza del tronco che è data dall'effetto del peso specifico e dagli attriti generati dalla sua forma fisica;
- la spinta di galleggiamento;
- la forza peso del tronco.

Queste forze sono funzione del diametro del tronco, della densità relativa del legno, del coefficiente di forma del tronco, del tirante idrico della corrente, della velocità della corrente e della pendenza dell'alveo. Successive osservazioni hanno individuato che la lunghezza del legname e il tirante idrico sono parametri che influenzano maggiormente il moto e le forme di

trasporto del legname in alveo; è stato notato invece che la densità relativa, il tirante idrometrico e il diametro del tronco condizionano solo il moto incipiente del legname. La velocità e il tirante idrico influiscono inoltre sul reclutamento di legname perché all'aumentare di questi due parametri aumenta anche l'erosione spondale andando ad interessare zone esterne al *bankfull* reclutando materiale dalla piana alluvionale.

I fattori che influiscono sul trasporto del legno da parte della corrente sono gli stessi che ne permettono il galleggiamento, si tratta quindi di tenere in considerazione la densità relativa e la sommergenza relativa. Per densità relativa si intende il peso specifico del materiale quindi il rapporto tra la densità del legno e dell'acqua, mentre la sommergenza relativa è data dal rapporto tra il tirante idraulico e il diametro del legno.

La movimentazione dei materiali legnosi dipende in buona parte dal tipo di evento che li mobilita, infatti il trasporto del LW può essere dato da un trasporto di fondo, da un trasporto liquido, da colate detritiche (*debris flow*) o dall'originarsi di valanghe. Per il trasporto liquido e il trasporto di fondo valgono le leggi reologiche ed esso può essere classificato come:

- per *trascinamento* o *rotolamento* al fondo: la corrente spinge il materiale e lo fa strisciare o rotolare sul fondo. Si verifica quando vi è un basso livello di sommergenza relativa o quando la forza peso supera la portanza;
- in *sospensione* nella corrente: questo avviene solo quando il tirante è maggiore rispetto al diametro del tronco e quando la densità del legname è prossima a quella dell'acqua. Il materiale legnoso si muove quindi verso valle completamente immerso nella corrente evitando di toccare sia il fondo che il pelo libero;
- per *fluitazione* e *galleggiamento* al pelo libero: questo avviene quando il tirante idraulico è prossimo o maggiore al diametro medio del tronco e quando la densità del legno è minore rispetto all'acqua permettendo quindi il galleggiamento. Il valore della spinta idrostatica è maggiore del valore della forza peso del tronco.

Il trasporto del materiale legnoso lungo il collettore può inoltre avvenire in modi diversi in funzione della loro densità; sono state classificate da Braudrick et al. nel 1997 tre tipologie di moto del legname in alveo:

- moto *non congestionato*: dove i tronchi si muovono senza interagire tra di loro e rispondono agli ostacoli o ai gradienti di velocità con movimenti e rotazioni indipendenti gli uni dagli altri;

- moto *congestionato*: dove i tronchi si muovono assieme con diverse interazioni come una sola massa. Tendenzialmente il moto è di tipo impulsivo ed occupa più del 33% dell'area unitaria del canale;
- moto *semi-congestionato*: dove il comportamento è intermedio tra i precedenti. Alcuni tronchi restano isolati e altri sono disposti in piccole masse.

Studiando le caratteristiche del legname in alveo vari ricercatori hanno ritenuto importante osservare i fattori che influenzano la cinematica dei tronchi all'interno dell'alveo. In particolare *Braudrick* e *Grant* nel 2001 dopo vari studi hanno proposto un modello semiquantitativo che si basa sulle caratteristiche geometriche del legname e sulla geomorfologia dell'alveo. Questi studiosi sono partiti dall'osservazione di vari casi reali da cui hanno individuato tre grandezze caratteristiche del canale (larghezza, profondità e tortuosità) e due caratteristiche del materiale trasportato (diametro e lunghezza). Si nota immediatamente che non sono state prese in considerazione altre caratteristiche che influenzano il moto del legname, in particolar modo non è stato fatto riferimento alla presenza dell'apparato radicale e di rami. Questo modello ha avuto lo scopo di studiare la dinamica di spostamento degli elementi legnosi, dando quindi dei valori di distanza percorsa, di tempo impiegato e di come i tronchi si depositano a fine trasporto. Da questo modello è stato notato che le dimensioni dei tronchi non sempre hanno la stessa influenza sul canale, è stato dimostrato che la lunghezza del legname è correlata alla distanza percorsa in fase di trasporto. Dal modello si è riscontrato che i tronchi si muovono, rotolano o ruotano quando la parte anteriore viene a contatto con il letto, con una barra o con una sponda; il tronco si deposita quando anche la parte posteriore si incastra. In relazione al deposito dei tronchi gli studiosi hanno individuato delle grandezze che influenzano questo fenomeno. La capacità di deposito viene quindi espressa con la seguente formula:

$$DR \propto [\alpha_1 (L_{log} / W_{av}) + \alpha_2 (L_{log} / R_c) + \alpha_3 (d_b / d_{av})] \quad (1)$$

Dove:

- DR è la capacità di deposito
- L_{log} è la lunghezza del tronco
- W_{av} è la larghezza del torrente
- R_c è il raggio di curva medio del canale
- d_b è la profondità di galleggiamento

- d_{av} è il tirante medio

- $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$: sono coefficienti al quale viene assegnato un valore a seconda dei casi studiati, variano a seconda dell'importanza che viene data.

Nel 2002 è arrivata un'ulteriore conferma da parte di Gurnell et al. del fatto che il rapporto tra la larghezza del canale e la lunghezza degli elementi legnosi influenza molto il loro trasporto.

In relazione a questo rapporto Gurnell ha suddiviso i corsi d'acqua in tre categorie:

- *small rivers*: dove la larghezza del corso d'acqua è inferiore della lunghezza media dei tronchi. Come si può immaginare qui la presenza del legname è caotica e risulta più congestionato e meno mobile;
- *medium rivers*: la lunghezza media dei tronchi è di poco inferiore alla larghezza del corso d'acqua considerando il livello al *bankfull*;
- *large rivers*: la larghezza del corso d'acqua ha dimensioni nettamente maggiori rispetto al materiale legnoso che transita. Generalmente si attribuisce a collettori maggiori al primo e secondo ordine.

2.5 Gli accumuli legnosi

La distribuzione del legname in alveo dipende dal tipo di corso d'acqua, su torrenti di ordine inferiore la distribuzione è casuale, talvolta caotica ed ha una stretta correlazione con la morfologia del tratto in esame; in fiumi di ordine superiore gli elementi legnosi tendono a depositarsi in modo ordinato facilitando la successiva catalogazione degli accumuli (Abbe e Montgomery, 1996, 2003).

All'interno dell'alveo gli elementi legnosi possono essere presenti sostanzialmente in due forme cioè come elementi singoli (*log*) o come accumuli (*log jam*). Nella maggior parte dei casi il tronco singolo tende a posizionarsi parallelo alla corrente ed il mantenimento di questa posizione può essere facilitato dalla presenza dell'apparato radicale che generalmente è posto a monte e funge da perno di ancoraggio all'alveo.

Di estrema importanza è la presenza di accumuli all'interno dell'alveo, essi tendono ad essere maggiormente presenti nelle aree in cui il collettore attraversa delle zone boscate; si possono originare direttamente sul luogo di immissione del legname oppure più a valle dopo un tratto di trasporto del materiale legnoso. La formazione di accumuli dipende

essenzialmente dalla morfologia del collettore ma anche da quella dell'intero bacino; va inoltre posta attenzione alla specie legnosa che viene trasportata, se si tratta di conifera il tronco trasportato subisce una sorta di auto-pulitura dai rami raggiungendo una forma cilindrica che permette un facile spostamento, invece per le latifoglie i rami tendono a rimanere sul fusto favorendo l'ancoraggio all'alveo anziché il trasporto a valle.

I meccanismi di arresto e intrappolamento del detrito legnoso possono dipendere principalmente da tre fattori:

- tronchi intercettati da vegetazione viva, da un accumulo legnoso preesistente, da clasti di grandi dimensioni;
- tronchi intercettati e che accerchiano un ostacolo (ad esempio le pile dei ponti);
- tronchi depositati per sormonto di una superficie, ad esempio per tracimazione della piana inondabile o arenato durante la fase calante della piena.

Nell'osservazione degli accumuli vanno individuati quindi gli elementi chiave che li costituiscono, essi prendono il nome di *key pieces* e sono quelli che favoriscono il depositarsi di ulteriore materiale per la formazione degli stessi.

La costituzione di queste strutture viene inoltre favorita dall'arrestarsi di elementi di più piccole dimensioni chiamati *fine wood debris* che fungono, assieme al sedimento trasportato, da legante per gli elementi più grandi riempiendo gli spazi rimasti vuoti.

L'influenza e le caratteristiche degli accumuli variano in relazione alle caratteristiche fisiche del corso d'acqua. Generalmente in collettori di primo e secondo ordine si formano accumuli del tutto caotici mentre, in collettori di ordine superiore, la larghezza dell'alveo è maggiore e quindi i tronchi hanno maggiore mobilità e le strutture degli accumuli sono generalmente più organizzate e tendenzialmente parallele alla corrente (Abbe e Montgomery, 2003).

Una classificazione spesso utilizzata è quella proposta da Abbe e Montgomery (2003), essa suddivide gli accumuli in tre categorie in relazione alla dinamica dei vari elementi nella formazione degli accumuli legnosi:

- *Accumuli e detriti in situ*: comprende il legname rimasto nella posizione di immissione in alveo, sono composti da materiale (tronchi, ceppaie,..) avente una resistenza ed una forza peso tale annullare le spinte idrodinamiche della corrente durante eventi di piena ordinaria. In questi accumuli è frequente la presenza di ceppaie entrate in alveo a seguito di erosione spondale, in questi casi resta evidente l'area in cui si è verificato il distacco della pianta. Questi accumuli interferiscono attivamente con la

morfologia e l'ecologia del canale e al loro interno si riescono a distinguere gli elementi chiave che li costituiscono. Questa categoria è suddivisa in altri due tipi di accumuli:

- *log steps*: sono accumuli tipici di torrenti con pendenza elevata e larghezza al *bankfull* minore a 15 metri. Sono caratterizzati dall'aver un paio di elementi incastrati sul fondo o sulle sponde e disposti all'incirca ortogonalmente alla corrente, anche se non necessariamente vanno ad interessare l'intera larghezza dell'alveo. Questo tipo di accumulo forma generalmente una struttura a gradino che si può paragonare a quella degli *step-pools* ed è formato spesso da conifere.
 - *Bank input*: è tipico di zone dove il torrente è confinato. Si verifica quando è in atto un'erosione spondale ed avviene uno schianto all'interno dell'alveo di piante che spesso conservano il loro apparato radicale. L'erosione spondale è la tipica causa di innesco di questa tipologia di accumuli ma i fattori possono essere molteplici ad esempio gli schianti da neve o vento, le frane e le colate detritiche. La caratteristica di questo accumulo è che le piante lo formano nel punto in cui entrano all'interno dell'alveo, quindi non dopo aver percorso un tratto del corso d'acqua mantenendo in alcuni casi parte dell'apparato radicale ancorato alla sponda; un altro aspetto che lo differenzia dal *log steps* è che esso non interessa mai l'intera larghezza dell'alveo ma interagisce con la morfologia del tratto solo parzialmente formando a valle delle pozze.
- *Transport jams*: questi accumuli sono formati da materiale trasportato dalla corrente che si è depositato durante la fase calante della piena in corrispondenza delle diramazioni della linea del *talveg* attorno agli ostacoli, in presenza di isole o barre oppure lateralmente al *bankfull* (Braudrick et al., 1997). La linea del *talveg* rappresenta il tracciato dove si sposta la maggior parte del materiale legnoso, essa infatti è caratterizzata dalla massima velocità del flusso e dalla massima profondità della corrente sulla sezione. Questa categoria è formata da accumuli definiti stabili e altri meno stabili; degli accumuli stabili fanno parte: *debris flow/flood*, *bench*, *bar-apex*, *meander*, e *log rafts*; mentre i meno stabili comprendono: *bar-top*, *bank edge*, e *bank revetment*.
- *Debris foow/flood jams*: sono residui legnosi depositati da colate detritiche originati da frane di tipo superficiale (Swanson and Lienkaemper, 1978;

Swanston, 1991). Le *Debris flood jams* sono originate da detrito legnoso posto caoticamente in grandi accumuli; essi si possono muovere durante le piene causando delle congestioni lungo il canale.

- *Bench jams*: sono posti ai margini del canale e hanno gli elementi chiave orientati parallelamente od obliquamente rispetto al flusso che tendono ad inglobare altro materiale legnoso e sedimento che transita. Sono posti ai margini del canale e causano una deviazione della corrente.
- *Bar-apex jams*: si formano alla testa delle barre o delle isole, sono strutture che influenzano significativamente il moto della corrente. Questi accumuli sono formati generalmente da un elemento chiave che nel caso in cui la struttura abbia dimensioni rilevanti esso ha grandi dimensioni e può presentare l'apparato radicale posto a monte e quindi il tronco parallelo alla corrente. Sono strutture stabili e di importante impatto per il moto della corrente, in grandi torrenti possono dominarne la morfologia e creare nuovi habitat acquatici oltre che ad influire sulla morfologia dell'alveo e ridurre la sezione di deflusso.
- *Meander jams*: sono le forme di deposito più stabili e comuni che si originano dalle sponde interne dei meandri di torrenti di ordine superiore. Si formano dalla presenza di elementi chiave posti parallelamente alla direzione del flusso e se l'apparato radicale è presente è posto orientato a monte. Con il passare del tempo sempre più elementi legnosi prendono parte all'accumulo ricoprendo in parte la sponda che successivamente potrà essere interessata dall'instaurarsi di vegetazione. Costituiscono così strutture stabili, generalmente poste sulla sponda esterna dove la rinforzano e si oppongono all'erosione spondale condizionando però il raggio di curvatura.
- *Log rafts jams*: derivano dal trasporto congestionato di ingenti quantità di legname. Nel passato questo tipo di struttura che fluitava a valle veniva chiamata "zattera", era tipica di aree non ancora alterate dall'azione antropica.
- *Bar-top jams*: sono accumuli con organizzazione caotica dei singoli elementi che si depositano in fase calante della piena sulla parte più esposta di una barra o di un'isola, essi sono disposti in modo disordinato ma la maggior parte di loro è orientato in modo obliquo rispetto alla corrente. È una struttura che presenta instabilità.

- *Bank edge jams*: gli elementi si depositano lungo la sponda dopo essere stati trasportati a valle in corso di evento, si dispongono parallelamente al flusso e sono instabili, quindi facilmente movimentabili dalle piene successive.
- *Bank revetment jams*: questa tipologia di accumulo è simile al *meander jams*. Si differenzia perché in questo caso non ci sono gli elementi chiave posti parallelamente al flusso per intercettare altro materiale ed anche dal fatto che i *Bank revetment jams* possono venir movimentati durante le piene. Può risultare difficile individuarli perché alle volte vengono inglobati da vegetazione e sedimento.



Figura 2.1 – Debris flood jams lungo il torrente Cordevole

- *Combinated jams*: questi accumuli si formano quando residui legnosi fluitanti si ammassano su elementi chiave cresciuti in alveo. A seconda della grandezza degli accumuli essi si suddividono in due categorie:
 - *Valley jams*: hanno dimensioni maggiori, sono formati da piante schiantate all'interno dell'alveo che fungono da elementi chiave ed intercettano ulteriore materiale legnoso, formano un'importante ostruzione. Questi accumuli portano ad un'evidente deviazione della corrente che erode le sponde e tende a reclutare ulteriore materiale da aggiungere all'accumulo. Spesso le sue dimensioni superano la larghezza al *bankfull*. I *Valley jams* si formano in corrispondenza di frane di versante lungo canali confinati o in zone dove si

sono verificati eventi calamitosi di forte entità. La stabilità di questa struttura dipende dagli elementi chiave, porta alla formazione di una struttura tipo diga chiamata anche *debris dam*.

- *Flow-deflection jams*: questo accumulo è formato da elementi chiave che si trovano in loco e da altri fluitati.

Gli accumuli presenti all'interno dell'alveo assumono varie funzioni, sia di carattere positivo sia negativo. Come già precisato, la presenza di legname ancorato all'interno del canale può permettere la creazione di pozze o di specchi d'acqua e quindi la formazione di nuovi habitat per la fauna ittica, la presenza di legname altera inoltre la velocità della corrente e il trasporto solido causando fenomeni di erosione o di deposito. Gli accumuli inducono effetti di variazione sulla sezione di deflusso deviando il flusso o causandone la divergenza in più flussi secondari, infine va ricordato che la presenza di materiale legnoso aumenta la scabrezza del corso d'acqua aumentando di conseguenza gli sforzi tangenziali richiesti per l'inizio della mobilità del sedimento causando così una maggior capacità erosiva a valle.

2.6 La presenza e la volumetria del legname in alveo

La presenza del materiale legnoso ha richiesto negli anni una sua quantificazione in relazione al suo reclutamento ed alle sue perdite. Come già descritto, l'entrata in alveo di materiale legnoso può essere data da vari fattori come l'originarsi di frane, erosioni spondali, schianti da neve o da vento, colate detritiche, processi biologici, incendi ed attività antropiche. Le perdite di legname sono date dalla sua fuoriuscita principalmente a seguito di interventi di pulitura dell'alveo. Si può quindi fare un bilancio di massima per la quantificazione del legname presente utilizzando la formula di Brenda et al. (2003):

$$\Delta S_C = [(I - O) \Delta x + (Q_i - Q_o) - D] \Delta t \quad (2)$$

Dove:

- I è il materiale reclutato
- O è il materiale perso
- Δx è la lunghezza del tratto di canale in esame
- Q_i è il materiale già in alveo all'entrata del tratto studiato
- Q_o è il materiale ancora in alveo alla fine del tratto studiato
- D riporta la decomposizione del materiale in alveo

Il legname presente all'interno dell'alveo va quindi quantificato in termini volumetrici per poter vedere effettivamente qual è la sua entità a quindi dimensionare le eventuali opere di trattenuta. Per ottenere la volumetria del legname presente si possono praticare delle misure dirette oppure utilizzare delle formule empiriche. I metodi di tipo diretto prevedono la misurazione degli elementi legnosi in alveo; questo può essere fatto facendo un rilevamento su tratti campione oppure misurando interi collettori. Nel primo caso il rilievo è più speditivo e riporta meno precisione, viceversa nel secondo caso il rilievo risulta lungo ed impegnativo.

In letteratura sono presenti varie formule di tipo empirico realizzate principalmente da *Ishikawa e Rickenmann*.

Ishikawa (1990) ha concentrato parte dei suoi studi sul legname trasportato da alcuni fiumi del Giappone concludendo che la quantità e la qualità del legname varia in funzione dei torrenti. La relazione tra l'area drenata del bacino idrografico e il numero di tronchi trasportati da un evento di piena ha un involucro superiore della distribuzione data dalla seguente relazione:

$$N_{\log} = 5000 A_b \quad (3)$$

Dove:

- N_{\log} sono il numero di tronchi
- A_b è l'area del bacino idrografico espressa in km^2

Simile a questa equazione è stata ideata la seguente formula che mette in relazione il numero di tronchi e il volume di sedimento prodotto:

$$N_{\log} = 0.2 V_y \quad (4)$$

Dove:

- N_{\log} sono il numero di tronchi
- V_y è il volume di sedimento prodotto espresso in m^3

Oltre a queste due formule ne sono state ricavate altre che mettono in relazione il volume di legname trasportato con l'area del bacino idrografico e con il volume di trasporto solido:

$$V_g = 500 A \quad (5)$$

$$V_g = 0.02 V_y \quad (6)$$

Dove:

- V_g è il volume del legname trasportato espresso in m^3

Queste formule di *Ishikawa* sono state poi integrate da *Uchiogi et al.* (1996) allo scopo di definire il volume di sedimento trasportabile stimando le dimensioni di eventuali frane, erosioni spondali, di versante e colate detritiche. In seguito si stimano i diametri, le altezze e i volumi delle piante vive e morte presenti nell'alveo; il volume del legname può essere calcolato con la formula riportata in seguito (7):

$$V_{\log} = K_5 A_w \quad (7)$$

Dove:

- V_{\log} è il volume del legname espresso in m^3
- A_w rappresenta l'area boscata del bacino idrografico espresso in Km^2
- K_5 è una costante con valore da 10 a 1000 per i boschi di conifere, da 10 a 100 per i boschi di latifoglie.

Le formule presentate sono di frequente uso in Giappone, esse vanno però utilizzate con grande cautela vista la grande ampiezza numerica per la scelta dei coefficienti delle formule.

A livello europeo Rickenmann (1997) è stato il primo studioso ad approfondire le conoscenze riguardanti il trasporto del materiale legnoso; ha messo in relazione il legno trasportato durante un evento di piena, espresso in m^3 , e la superficie del bacino idrografico; si è visto però che i dati risultano abbastanza dispersi in bacini sia di piccole che di grandi dimensioni e che quindi non c'è una correlazione forte tra questi due parametri. L'equazione proposta di Rickenmann è la seguente:

$$V_{\log} \approx 45 \cdot A_b^{2/3} \quad (8)$$

Dove:

- A_b è l'area boscata del bacino idrografico espressa in km^2

Si sono ottenuti risultati migliori anche se non del tutto soddisfacenti relazionando il legname fluitato con l'area boscata di bacini idrografici superiori a $100 km^2$:

$$V_{\log} \approx 90 \cdot A_w \quad (9)$$

È stata inoltre studiata la relazione fra il volume di legname fluitato e la lunghezza degli alvei espressa in km; nel caso di lunghezza dei tratti inferiore a 20 km la dipendenza è di tipo quadratico con il volume del legname:

$$V_{\log} \approx 40 \cdot L_w^2 \quad (10)$$

Un'altra formula è stata ideata osservando gli idrogrammi di piena, mettendo in relazione il volume di materiale solido trasportato durante un evento e il massimo volume d'acqua transitato durante l'evento:

$$V_{\log} \approx 4 \cdot V_w^{2/5} \quad (11)$$

Le equazioni proposte da Rickenmann presentano principalmente un problema, esse peccano di eterogeneità dei dati, per il diverso modo di eseguire i rilievi e per le lacune presenti nella raccolta dati.

A livello italiano sono state proposte delle formule da Degetto (2000) molto utili per il dimensionamento dei filtri per le opere di trattenuta; esse derivano da rilievi effettuati in torrenti del Trentino Alto Adige e mettono in relazione le lunghezza massima e quella media dei tronchi con la larghezza media del corso d'acqua considerato al *Bankfull*.

$$L_{\log \text{ med}} \approx 0.34 B_{\text{med}} \quad (12)$$

$$L_{\log \text{ max}} \approx 1.015 B_{\text{med}} \quad (13)$$

Dove:

- $L_{\log \text{ med}}$ indica la lunghezza media dei legname veicolato in alveo, espressa in metri
- $L_{\log \text{ max}}$ indica la lunghezza massima del legname veicolato in alveo, espressa in metri
- B_{med} indica la larghezza media dell'alveo, espressa in metri, considerando il livello al *Bankfull*

Le formule 12 e 13 permettono di identificare la lunghezza media e massima dei tronchi movimentati durante gli eventi di piena; questa relazione risulta molto interessante perché permette di dimensionare i filtri per le briglie di trattenuta su torrenti che presentano larghezze inferiori a 10 – 12 metri.

La lunghezza massima del legname fluitabile può essere individuata anche utilizzando la seguente formula sempre espressa da Degetto (1999):

$$L_{\log \max} = 1.295 B_{\min} \quad (14)$$

Dove:

- B_{\min} indica la larghezza minima del corso d'acqua indicato al *Bankfull*

Degetto sulla base dei dati raccolti nei torrenti Trentini ha estratto una formula empirica per l'individuazione del volume di legname, essa ha come variabili la pendenza del collettore e la lunghezza boscata dell'alveo; la formula è la seguente:

$$V_B \approx (0.0026 I^{-1.8}) L_W \quad (15)$$

Dove:

- V_B indica il volume di base, cioè il volume della componente legnosa già presente in alveo

- L_W indica la lunghezza espressa in metri dell'area boscata.

Questa formula è ben strutturata per i torrenti alpini dove le quantità maggiori di legname si combinano spesso a condizioni di sponde e versanti instabili.

Da studi volumetrici effettuati nell'ultimo decennio su affluenti del Torrente Cordevole è emerso che: il Torrente Codalunga presenta 11.3 m^3 di legname su 1000 m di tratto d'alveo (Rigon, 2005), mentre il Fiorentina 18.2 m^3 , il Cordon 16.4 m^3 e le Code 34.6 m^3 intesi sempre su 1000 m di tratto d'alveo (Slongo, 2005). Si stima inoltre per i torrenti presenti nelle province di Trento, Belluno e Vicenza una presenza di legname in alveo che varia tra 8 e 80 m^3 di materiale su 1000 m di tratto d'alveo.

2.7 Gli effetti del legname in alveo

Come accennato in precedenza la presenza di legname all'interno dei tratti d'alveo, sia montani che di pianura, porta notevoli interazioni con l'ambiente circostante, gli effetti causati a volte possono essere del tutto spiacevoli se si pensa al rischio effettivo per l'uomo. Gli effetti principali causati dal legname dai quali poi si originano varie conseguenze sono quelli di riduzione della sezione di deflusso degli alvei e di ostruzione delle luci dei ponti; non

va però dimenticato che il LW contribuisce a formare unità morfologiche stabili che possono influire positivamente sugli habitat presenti.

Il concetto di rischio espresso dal Dipartimento Nazionale di Protezione Civile fa riferimento a tre fattori:

- *la pericolosità o probabilità di accadimento dell'evento calamitoso (P)*: la pericolosità di un evento va riferita al tempo di ritorno che esprime l'intervallo di tempo nel quale l'intensità dell'evento calamitoso viene superata mediamente una sola volta;
- *il valore degli elementi a rischio (E)*: intesi come persone, beni localizzati e il patrimonio ambientale; interessa quindi l'incolumità delle persone, dei centri urbani, delle aree industriali e delle vie di comunicazione;
- *la vulnerabilità degli elementi a rischio (V)*: esprimono l'attitudine a subire danni da parte di un evento calamitoso, risente quindi della capacità degli elementi di sopportare le sollecitazioni dell'evento.

Si definisce quindi danno (D) come il prodotto del valore del bene per la sua vulnerabilità. In sostanza la formula che rappresenta pienamente il rischio in relazione alle sue interazioni è la seguente:

$$R = P \times E \times V = P \times D \quad (16)$$

Dove:

- R rappresenta il rischio

Il fattore rischio è quindi definito dalle scelte progettuali e dagli interventi eseguiti dall'uomo sul territorio. Si è assistito nell'ultimo secolo ad una evoluzione della tipologia di opere e di metodi di lavoro influenzati sia dalla presenza di metodi e materiali innovativi sia dal verificarsi di eventi calamitosi che hanno portato a modificare i caratteri strutturali delle opere di difesa.

Il fattore principale di introduzione del legname in alveo risulta essere l'abbandono delle attività selvicolturali, pascolive e quindi di gestione del territorio. L'incuria del territorio porta quindi il LW ad entrare nel collettore e a diminuire l'efficienza delle opere idrauliche e di difesa.

La presenza del legname implica quindi notevoli effetti sulla struttura del collettore, essi non si presentano singolarmente ma sono in continua interazione gli uni con gli altri; si

possono suddividere in 4 tipologie di effetti: idraulici, erosivi-sedimentologici, morfologici ed ecologici.

2.7.1 Gli effetti ed i rischi idraulici

I processi idraulici vengono influenzati dalla presenza del legname all'interno del corso d'acqua. La presenza di LW nell'alveo può portare alla formazione di strutture interne al canale che risultano più impattanti verso monte, favorisce la formazione di ostruzioni e quindi la deviazione anche totale dei corsi d'acqua, aiuta l'accumulo di sedimenti soprattutto quando gli accumuli posti trasversalmente costituiscono una sorta di briglia naturale e nel complesso la presenza di legname aumenta la complessità dei deflussi. I detriti legnosi hanno in sostanza la capacità di influenzare i processi idrologici ed idraulici intervenendo sulla scabrezza idraulica, sulla velocità del flusso, sulla portata, sull'intensità di trasporto e sulla granulometria presente in alveo.

Le combinazioni del LW all'interno del canale possono portare alla formazione di strutture come gli *steps* e le *pools*; sono strutture che spesso vengono riprodotte artificialmente realizzando le briglie.

Nei corsi d'acqua di ordine inferiore la presenza del LW risulta essere più impattante avendo gli alvei minori dimensioni, il legname tende ad aumentare la complessità fluviale e di conseguenza fa diminuire la portata massima in corso di evento causando esondazione.

In sostanza gli effetti idraulici dipendono dalla morfologia del corso d'acqua, dal livello idrometrico e dal tipo di legname immesso in alveo. Le caratteristiche del legname che influenzano l'aspetto idraulico sono principalmente la sua dimensione (diametro e lunghezza), l'orientamento, lo stato di aggregazione e non meno importante è la quantità di legname presente. A riguardo della mobilità degli elementi legnosi va osservata anche l'eventuale presenza di ceppaia e di rami, essi infatti tendono ad opporsi alla movimentazione del tronco in corso di evento.

Osservando quanto detto fino ad ora, il LW all'interno dell'alveo causa molteplici problemi idraulici, può portare ad erosioni localizzate, ad ostruzioni e ad un aumento della scabrezza. I principali problemi che si creano durante gli eventi di piena sono l'intasamento delle opere idrauliche ed idroelettriche che sono molto presenti su tutto in territorio nazionale e l'ostruzione delle luci dei ponti con aumento della spinta idrostatica sulle pile. Nei corsi d'acqua montani il materiale fluitato riduce la funzionalità delle opere di trattenuta, in

particolare delle briglie selettive su cui il LW si deposita inizialmente in modo disordinato ed in seguito su di esso si ferma materiale e sedimento di piccole dimensioni; questo deposito influisce negativamente sui processi di autopulizia delle briglie che si svolgono durante le piene ordinarie (Mazzalai et al., 2006).

A causa dell'abbandono delle attività agro-silvo-pastorali ed allo spopolamento del territorio montano è calato drasticamente il controllo sistematico del territorio; fino a qualche decennio fa dalla gestione ambientale dipendeva la sopravvivenza delle popolazioni, i boschi venivano gestiti periodicamente per ricavare legna da ardere e legname da opera, i prati in parte coltivati per i fabbisogni familiari ed in parte falciati per il foraggiamento degli animali nei mesi invernali ed i pascoli venivano utilizzati dagli animali durante i mesi estivi. Anche i corsi d'acqua erano utili per irrigare le coltivazioni, per il funzionamento di mulini e segherie e quindi in via indiretta erano soggetti a continue manutenzioni. Negli ultimi anni si sta assistendo ad una sorta di abbandono del territorio, sia da parte della popolazione che degli organi di competenza; questo sta portando ad una destabilizzazione del territorio che possiede già di per sé una grande fragilità. Anche la morfologia dei torrenti montani naturaliformi influisce in modo negativo sulla sicurezza idraulica, questo perché la sezione si restringe e si allarga e le variazioni di pendenza aumentano il rischio idraulico in quanto favoriscono grandi variazioni del regime delle portate liquide e solide.

Attualmente si assiste ad una sottovalutazione della presenza del detrito legnoso nei corsi d'acqua oppure nei casi in cui siano state realizzate opere di trattenuta del legname ad esse non viene praticata regolare manutenzione sul post evento. Dopo l'alluvione del 1966 che ha colpito pesantemente la provincia di Belluno sono state costruite numerose opere idrauliche con funzione anti-erosiva per il letto e per le sponde. Le soluzioni progettuali adottate in seguito all'alluvione del 1996 sono state basate sull'idraulica monodimensionale e molto spesso sull'esperienza dei progettisti. Solo negli ultimi anni si sono sviluppate formulazioni in grado di risolvere le equazioni del moto anche in condizioni di moto rapido; basti pensare che i primi risultati dei modelli matematici hanno evidenziato l'evoluzione del fondo durante un evento di piena attraverso la modellazione delle caratteristiche idrodinamiche e morfologiche (Zorzi, 2007), dati che non erano assolutamente disponibili sul post 1966.



Figura 2.2 – Caprile in seguito all'alluvione del 1966



Figura 2.3 – Immissione del torrente Fiorentina nel Torrente Cordevole a Caprile. Alluvione 1966

2.7.2 Effetti erosivi – sedimentologici

Il legname presente nel corso d'acqua ed il sedimento sia trasportato sia presente sul fondo sono strettamente interagenti tra loro ed il loro legame varia in relazione alle caratteristiche del corso d'acqua intese come variazioni di dimensioni, pendenza e variazioni del fondo. Soffermando l'attenzione sui corsi d'acqua di ordine inferiore, che risultano essere spesso confinati tra versanti ripidi, si notano molte volte delle sezioni che in corso di evento si possono evidenziare come critiche per il passaggio del LW perché esso tende ad incastrarsi. L'arresto del LW trattiene a sua volta elementi legnosi più piccoli e sedimento che tendono a formare delle occlusioni stabili che nella peggiore delle ipotesi possono collassare e dare origine a dam break. A monte di queste ostruzioni si creano sempre dei vortici che con il tempo tendono a formare delle erosioni sulle sponde e quindi a modificare la morfologia dell'alveo. Le azioni combinate del legname e del sedimento aumentano la scabrezza dell'alveo che porta a ridurre l'energia cinetica del flusso e di conseguenza ad avere granulometria meno grossolana a valle. Dalla presenza di questi due tipi di elementi ne consegue quindi un aumento della variabilità granulometrica con trasporto di sedimento più fine dove la velocità della corrente diminuisce e l'erosione spondale data dalla deviazione della corrente può portare nel tempo alla formazione di canali secondari oltre che alla formazione di barre ed isole.

2.7.3 Effetti morfologici

Gli elementi legnosi presenti sia singolarmente che in accumulo contribuiscono alla modificazione del tratto d'alveo. Soprattutto la presenza di accumuli tende a frammentare il collettore in più canali divisi da barre o isole specialmente per quanto riguarda i canali di fondovalle o comunque dove essi hanno una discreta larghezza ed una bassa pendenza.

Considerando la stabilità delle sponde essa è accentuata dalla presenza di vegetazione nella fascia riparia potenzialmente interessata dall'erosione, qui l'apparato radicale tende a preservare dagli eventuali scavi che si possono verificare in corso di evento.

Le ostruzioni che maggiormente impattano sull'alveo sono i *valley jams*, sono accumuli grandi e stabili che possono portare anche alla deviazione del flusso dal suo corso originario. Dalla presenza di elementi legnosi di dimensioni significative si possono originare gli *step-pool* portando al rallentamento della corrente e ad erosione localizzata a valle dello *step*. In

modo analogo la presenza di legname può portare il corso d'acqua ad una morfologia a *riffle-pool*, modificando quindi il percorso originario del canale.

A livello morfologico e sedimentologico la presenza di legname in alveo tende a diminuire la capacità di trasporto diminuendo quindi l'arrivo di sedimento a valle, questo può causare dei problemi in pianura perché la mancanza di sedimenti in arrivo da monte favorisce l'erosione che risulta evidente in prossimità delle pile dei ponti. La presenza di LW tende comunque ad aumentare la stabilità dell'alveo, si ricorda infatti che di recente si sono effettuati interventi contro l'erosione spondale che prevedono l'inserimento di tronchi ancorati alle sponde dell'alveo ancorati in modo tale da evitare il diretto contatto tra la corrente a velocità ordinaria e la sponda.

2.7.4 Effetti ecologici

L'ecologia vede in modo del tutto positivo la presenza di legname all'interno dei collettori in quanto, essa fornisce sostanza organica e nutrienti alla rete trofica in seguito alla sua decomposizione ed inoltre crea pozze ed ostacoli, quindi habitat per numerose specie animali e vegetali. Il LW crea zone in cui la corrente diminuisce di velocità e permette a molte specie ittiche di sostare in alcune fasi del loro sviluppo. Nel complesso la presenza di legname aumenta l'eterogeneità vegetazionale delle foreste riparie grazie a processi morfologici e biologici e risulta importante per la produzione primaria di organismi autotrofi come le alghe che sono alla base della catena alimentare.

2. 8 Studi precedenti

Nel corso degli anni vari studi dislocati in più parti del mondo si sono concentrati sugli effetti che il legname ha all'interno dei corsi d'acqua sia di piccole che di grandi dimensioni. Le conseguenze della presenza del detrito legnoso vanno ad interferire principalmente sugli aspetti ecologici dell'habitat fluviale e sulla sicurezza idraulica che tende ad essere inversamente proporzionale alla presenza di LW. I due aspetti sono strettamente legati fra loro e comunque sempre presenti all'interno di un corso d'acqua; gli studi che sono stati affrontati negli anni si sono concentrati su un particolare aspetto tra i due sopra citati, esso è stato scelto in relazione all'importanza che ha all'interno dell'alveo stesso.

I primi studi sul legname in alveo si sono sviluppati in Nord America in seguito all'esigenza di analizzare la naturalità dei corsi d'acqua che avevano subito delle forti alterazioni causate da tagli indiscriminati della vegetazione riparia eseguiti fin dalla fine del diciottesimo secolo (Collins and Montgomery, 2002). Le ricerche americane hanno evidenziato che la presenza di habitat naturali e non modificati in modo invasivo dall'azione antropica sono indispensabili per la sopravvivenza di numerosi esseri viventi; anche la presenza di legname all'interno dell'alveo forma di per se delle pozze che vengono sfruttate da molti organismi. Gli studi eseguiti in America hanno primariamente l'obiettivo di salvaguardare la naturalità dell'ecosistema che oramai in molti tratti fluviali è andata persa. Si nota quindi che l'analisi non è rivolta prettamente ad analizzare il corso d'acqua dal punto di vista della sicurezza ma considera l'aspetto ecologico divenuto di maggior importanza dopo l'eccessiva azione antropica che ha interessato i corsi d'acqua americani.

A livello italiano solo negli ultimi anni si stanno diffondendo studi sulla presenza del legname in alveo. Le ricerche italiane, eseguite principalmente in area alpina, si basano molto spesso sull'osservazione dell'interazione che ha il legname in alveo con la corrente e sulla sua dinamica in corso di evento. Sono inoltre presenti ricerche svolte sul fiume Cecina in Toscana (Rinaldi et al., 2006).

Sono state condotte dall'Università degli Studi di Padova varie analisi che riguardano la presenza di legname in alveo sui collettori presenti in Provincia di Belluno e su alcuni torrenti del Trentino orientale. In Trentino sono state fatte ricerche da Degetto (2005) studiando i torrenti Caserine, Fumola, Ceggio, Vael, Udai e Dona sui quali è stato determinato il materiale legnoso potenzialmente trasportabile dagli eventi di piena ordinaria. Da questo studio è emersa una relazione tra la lunghezza degli elementi legnosi e la larghezza al *bankfull*. Nell'alto bellunese, nell'ultimo decennio, sono state fatte ricerche di tipo qualitativo e quantitativo misurando in campo le volumetrie di legname presente nel Torrente Cordevole e nei suoi 13 affluenti, sono state messe in relazione con l'area drenata e la presenza di versanti instabili analizzando quindi anche il collettore principale ed i sottobacini interessati. Questi lavori effettuati nell'ambito di tesi di laurea e di dottorato hanno interessato l'analisi quantitativa del legname nel torrente Cordevole (Faggian, 2011), l'analisi quantitativa del legname all'interno dei torrenti alpini e le modellazioni effettuate con il Gis (Rigon, 2009) e le caratteristiche qualitative e quantitative in particolar modo degli accumuli legnosi (Zorzi, 2007). Altre tesi di laurea e di dottorato che si sviluppano non nell'arco alpino hanno permesso

di elaborare la presenza del materiale legnoso all'interno di corsi d'acqua a canali intrecciati (Pecorari, 2008).

Uno studio recente eseguito da Bertoldi et al. (2013) ha avuto come obiettivo la raccolta dati sulle dinamiche di fluitazione del materiale legnoso, sono state eseguite delle prove di immissione di materiale legnoso di varie grandezze in un sottotratto del Torrente Cordevole in comune di Caprile annotando l'ora di passaggio dei vari tronchi nelle sezioni prestabilite, gli eventuali arresti e quindi le eventuali successive ripartenze, nonché le modalità di arresto. Tale studio ha permesso di identificare le modalità di arresto degli elementi in relazione alla tipologia morfologica presente che sono risultate poi poco correlate alle classi di lunghezza degli elementi; sempre in questo studio è stata esaminata anche la velocità media dei singoli elementi. Dai dati rilevati Bertoldi et al. hanno evidenziato l'importante condizionamento della morfologia dell'alveo sulla velocità di fluitazione, mentre è stato confermato che la portata influenza la tipologia di arresto.

Osservando in modo sommario gli argomenti trattati negli studi compiuti fin d'ora si nota che la mobilità del legname all'interno dell'alveo viene citata raramente. Le movimentazioni del legname costituiscono un fattore molto importante che influenza sia l'aspetto ecologico che di sicurezza; in questo caso prevale la preoccupazione dell'istaurarsi di rischi dovuti alla fluitazione a valle del LW. Per quanto riguarda il torrente Cordevole il problema è fortemente sentito, basti pensare alle conseguenze che si sono verificate durante l'alluvione del 1966 quando la presenza del legname all'interno dei corsi d'acqua ha ostruito le luci dei ponti causando collassi delle strutture ed esondazioni.

Nell'ambito di questo lavoro di tesi è apparso quindi importante affrontare l'argomento relativo alla mobilità del legname all'interno del torrente Cordevole, del quale fino ad ora le informazioni a disposizione sono assai scarse.

3. MATERIALI E METODI

Il seguente capitolo illustra inizialmente la strumentazione che è stata utilizzata per eseguire l'installazione dei trasmettitori RFID, la misurazione e la registrazione dei dati degli elementi campionati ed il monitoraggio del LW in seguito ad un evento di piena. La seconda parte di questo capitolo evidenzia invece le metodologie che sono state rispettate nell'esecuzione delle varie fasi di campo. Verranno inoltre proposte le schede di campo sia per quanto riguarda l'installazione che il monitoraggio del LW con riportata la legenda per eseguire una compilazione adeguata.

Le analisi sono state effettuate sul Torrente Cordevole, in Provincia di Belluno, tenendo in considerazione il corso d'acqua fino alla sezione di chiusura stabilita a Masarè di Alleghe. In figura 3.1 è inoltre localizzata la stazione idrometrica di Saviner nella cui sezione vengono registrati i dati orari di portata del Torrente Cordevole che sono stati messi a disposizione dall'ARPAV per essere analizzati nel corso di questa tesi; essa si trova in comune di Rocca Pietore ed è posta a valle di una serie di briglie di notevoli dimensioni.

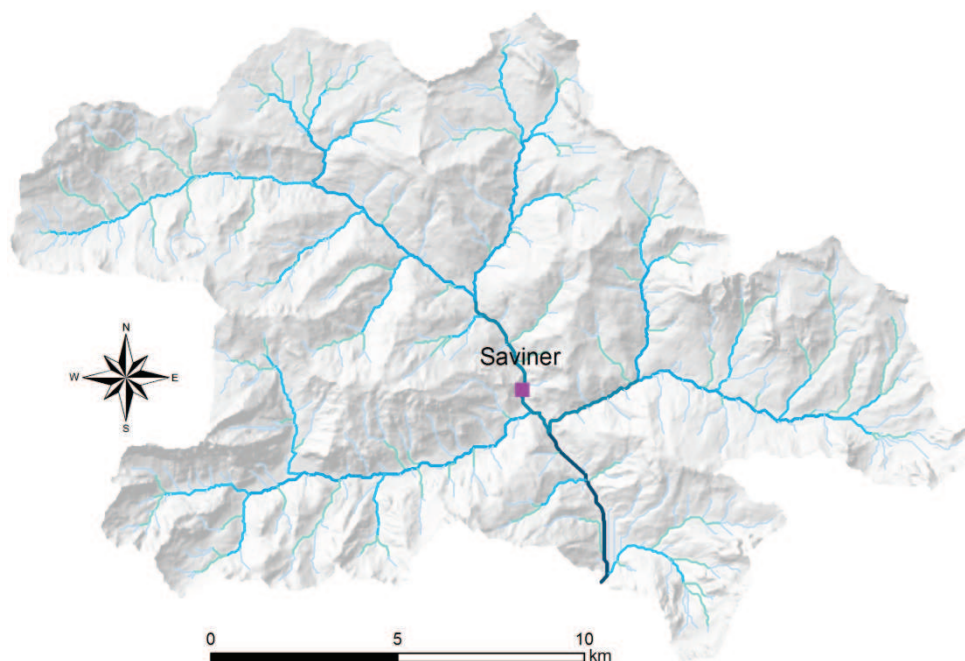


Figura 3.1 – Localizzazione della stazione idrometrica di Saviner



Figura 3.2 – Serie di briglie sul Torrente Cordevole

In figura 3.2 sono presenti una serie di briglie localizzate a monte della stazione idrometrica di Saviner, in fondo in destra idrografica, in corrispondenza del parcheggio è localizzata la stazione.

3.1 Materiali utilizzati

I materiali utilizzati per il monitoraggio della movimentazione del legname in alveo sono diversi a seconda delle tre principali fasi: installazione dei trasmettitori di posizione, monitoraggio in seguito agli eventi di piena e elaborazione dei dati in laboratorio.

Durante le uscite in campo è stato necessario utilizzare vario materiale per poter procedere all'installazione dei trasmettitori all'interno degli elementi legnosi ed alla registrazione dei dati riguardanti i tronchi presi a campione; gli strumenti utilizzati hanno avuto la caratteristica di essere semplici e per quanto possibile resistenti all'acqua visto che il lavoro è stato svolto principalmente all'interno dell'alveo attivo del torrente Cordevole. È stata quindi utilizzata strumentazione specifica per l'installazione dei trasmettitori come scalpello, martello, trapano con relativa fresa e silicone; per il riconoscimento visivo degli elementi campionati è stato posto un tag metallico ben visibile con riportato un numero. Per la parte di rilievo dei dati sia

in fase di installazione che in fase di monitoraggio ci si è forniti di cordella metrica, cavalletto dendrometrico, GPS e fotocamera mentre solo per la seconda parte si è utilizzata una specifica strumentazione per la captazione del segnale emesso dai trasmettitori; infine i dati rilevati sono stati annotati su schede di campo precedentemente realizzate e diversificate tra la fase d'installazione e quella di monitoraggio.

Le attrezzature e gli strumenti portati in campo ed utilizzati durante l'intero periodo lavorativo sono i seguenti:

- *Cordella metrica*: è stata utilizzata una cordella metrica per la misurazione della lunghezza degli elementi legnosi campionati e nel caso in cui gli accumuli abbiamo formato una struttura a *step-pool* è stata misurata l'altezza dello *step*, le dimensioni della *pool* e della gaveta. La cordella metrica è avvolta all'interno di una cassa in plastica circolare, è lunga 20 m ed il nastro è in PVC.
- *Cavalletto dendrometrico*: il cavalletto ha permesso la misurazione del diametro medio degli elementi legnosi. Esso è in alluminio, quindi in materiale leggero facilmente trasportabile e permette una misurazione massima di 80 cm.
- *Trapano con fresa*: il trapano a batteria Hitachi ha permesso di eseguire il foro all'interno del tronco per poter posizionare il trasmettitore; il foro è stato fatto montando sul trapano una fresa dal diametro di 25 mm. Sono state portate in campo due batterie sostitutive per il trapano permettendo così di lavorare per tutto l'arco della giornata.
- *Scalpello e martello*: utilizzati dopo aver eseguito la foratura con il trapano, hanno permesso di regolarizzare le pareti del foro permettendo un più facile inserimento del trasmettitore.
- *Silicone*: il silicone ha permesso il fissaggio dei trasmettitori all'interno degli elementi legnosi e ha contribuito ad isolarli dal contatto con l'acqua.
- *Tag*: sono piastrine circolari di materiale metallico con colore azzurro acceso che riportano una numerazione progressiva per il riconoscimento a vista dell'elemento legnoso. Sono state posizionate sul tronco mediante un chiodo in alluminio.
- *Fotocamera*: la fotocamera utilizzata è una *Sony Lens G*, con essa è stata creata una documentazione fotografica dove sono stati registrati tutti gli elementi nel momento in cui sono stati posizionati i trasmettitori e nella fase di monitoraggio il punto di arrivo degli elementi legnosi.

- *GPS*: il GPS utilizzato è quello inserito nel *Nomad Trimble serie 900*, ha permesso di individuare i punti cartografici degli elementi al momento dell'installazione dei sensori e gli eventuali punti di arrivo degli elementi movimentati in corso di evento.
- *Mobile Trak lite*: è il programma installato sul palmare *Nomad Trimble serie 900* che ha la funzione di captare i segnali emessi dai trasmettitori. Questo programma ha una doppia funzione, può captare il segnale di tutti i trasmettitori che lo emettono oppure immettendo in precedenza il codice identificativo di quelli di interesse può captare solo il loro segnale.
- *Trasmettitore*: il modello di trasmettitore (tag RFID) che è stato usato è l'*RFCode M175 Rugged Tag*, esso è stato costruito per essere utilizzato in ambienti esterni grazie ad una costruzione a doppia parete che non permette all'acqua di entrare all'interno di esso. Ha lo scopo di trasmettere periodicamente un segnale che viene captato dall'antenna in fase di monitoraggio fino ad una distanza massima di 200 m; la frequenza di emissione del segnale viene programmata al momento della costruzione del trasmettitore, in questo caso i segnali vengono emessi ogni 20 secondi.
- *Antenna*: l'antenna utilizzata durante la fase di monitoraggio è il modello *M220 Mobile Reader*, essa permette di captare il segnale emesso dai trasmettitori RFID e di elaborarlo in tempo reale, quest'antenna collegata al palmare su cui è presente il programma *Mobile Trak Lite* permette di identificare il codice del tag RFID.
- *Schede di campo*: durante la fase di installazione dei tag RFID è stata compilata una scheda di campo che riporta informazioni sia quantitative sia qualitative sulle caratteristiche del LW campionato, a questa scheda ne è stata aggiunta un'altra, chiamata "scheda accumuli" nel caso in cui gli elementi legnosi in cui è stato inserito il trasmettitore facessero parte di un accumulo. Per la fase di monitoraggio post evento è stata ideata un'ulteriore scheda che mette in evidenza gli elementi che sono stati mobilitati rispetto a quelli che sono rimasti fermi.

Per la parte di elaborazione dati sono stati utilizzati principalmente due programmi:

- *Microsoft Excel 2010*: è stato usato per effettuare calcoli matematici e per la creazione di grafici e tabelle.
- *ArcGis 10.1*: usato per l'elaborazione cartografica e per l'analisi della movimentazione del legname.



Figura 3.3 – Scheda di campo e palmare *Nomad Trimble* utilizzati durante la fase di installazione dei trasmettitori

3.2 Metodologie di lavoro

Quanto proposto in questo elaborato è frutto di un lavoro composto principalmente da tre momenti ben distinti di cui due svolti in campo mentre l'ultimo riguarda l'elaborazione dei dati derivati dal lavoro svolto in precedenza. Questo studio ha avuto lo scopo di monitorare lo spostamento del materiale legnoso all'interno dell'alveo del Torrente Cordevole in seguito allo svilupparsi di eventi di piena. Il lavoro si è svolto tra i mesi di aprile e giugno 2013 ed è stato suddiviso in 5 giornate lavorative impiegando due persone per lo svolgimento del lavoro. Le giornate in campo sono state influenzate prevalentemente dalle condizioni meteorologiche in quanto le uscite hanno richiesto un meteo favorevole mentre la fase di monitoraggio è stata svolta solo successivamente ad un evento di piena assai importante.

3.2.1 Prima fase: identificazione, rilevamento ed inserimento dei tag RFID

Il primo momento lavorativo si è articolato in tre giornate di rilievi in campo. Durante la prima uscita è stato fatto un sopralluogo del tratto del Torrente Cordevole in cui era stato deciso di monitorare lo spostamento del LW; il tratto interessato parte a valle dal ponte di Digonera ed arriva a monte fino alla confluenza con il Torrente Ornella in corrispondenza dell'omonimo abitato. Tutto il tratto del Cordevole scelto per l'installazione dei tag RFID si trova in comune di Livinallongo del Col di Lana (vedi cap. 4).

L'osservazione del tratto è stata fatta percorrendo l'alveo da valle verso monte ma non è risultato possibile percorrere l'interno corso in quanto a circa 250 metri a monte del ponte di Digonera è presente un tratto della lunghezza di circa 150 metri interamente in roccia e reso maggiormente pericoloso dal livello d'acqua sostenuto, dato dallo scioglimento nivale. Oltre a questo tratto non accessibile la restante area di studio è risultata facilmente percorribile grazie ad una strada che la costeggia. Il sopralluogo dell'intero tratto ha avuto lo scopo di verificare la presenza di legname lungo il collettore e di localizzarlo. Percorrendo l'alveo sono state fatte delle considerazioni sulla presenza del materiale all'interno del collettore in particolare modo sul tipo di distribuzione lungo il tratto; si sono avvistati degli schianti sul versante in destra idrografica ed un importante canale da valanga in sinistra in corrispondenza di accumuli all'interno dell'alveo.



Figura 3.4 – Canale da valanga e detrito legnoso depositato su entrambe le sponde del torrente Cordevole

Dalla prima osservazione del tratto si è notata una maggiore presenza di legname a monte del ponte che porta alla frazione di Davedino posto circa a metà lunghezza dell'area di studio. È stato osservato in particolare lo stato di aggregazione degli elementi legnosi, quindi se si presentavano in stato singolo o disposti in accumuli e la loro localizzazione all'interno dell'alveo, tutto questo per poter poi procedere in modo ordinato durante la fase di

installazione dei tag RFID. Il sopralluogo ha permesso inoltre di valutare l'effettivo livello idrometrico che è risultato essere poco inferiore al livello al *bankfull* a causa dello scioglimento nivale. L'effettiva quantità d'acqua ha portato a posticipare le giornate di installazione dei trasmettitori per una questione di sicurezza nell'entrata in alveo.

L'effettiva fase di identificazione degli elementi legnosi e successivo inserimento del tag RFID è avvenuta a inizio maggio e si è svolta in due giornate lavorative. Dal sopralluogo effettuato un paio di settimane prima erano già stati identificati gli elementi che avrebbero potuto far parte dello studio in questione; solo durante questa fase ci si è avvicinati per un'osservazione dettagliata degli elementi.

Si è partiti dall'abitato di Ornella, più precisamente dalla confluenza con l'omonimo torrente per poi scendere a valle sia in sinistra idrografica dove il corso d'acqua costeggia la strada sia in destra nei tratti dove vi è stato possibile accedere. Non tutta la sponda in destra è risultata percorribile a causa della presenza di tratti in roccia e come già accennato non è stato possibile monitorare né in sinistra né in destra un tratto subito a monte del ponte di Digonera.



Figura 3.5 – Confluenza del torrente Ornella nel
Torrente Cordevole



Figura 3.6 – Inizio del tratto di studio in prossimità
dei ponte di Digonera

In questo lavoro di tesi che ha interessato lo studio del legname in alveo si identificano come LW i tronchi aventi lunghezza minima di un metro e diametro medio minimo di 0.1 metri; in qualche caso però allo scopo di rendere rappresentativo il materiale in alveo è stato deciso di campionare anche alcuni elementi con diametro inferiore a 0,1 metri e lunghezza inferiore a 1 metri.

L'identificazione del LW sul quale installare i trasmettitori RFID si è basata su semplici parametri: si è cercato di creare un campione rappresentativo dell'intero materiale presente in

alveo, considerando quindi sia elementi di grandi dimensioni sia quelli al limite minimo per essere definiti LW cercando di interessare più classi diametriche e varie lunghezze, studiando elementi con diversa localizzazione e stato di aggregazione inteso come singolo od accumulo. In presenza di accumuli sono stati identificati almeno due elementi di sostanziale importanza che lo costituivano.



Figura 3.7 – Elemento campionato di piccole dimensioni



Figura 3.8 – A sinistra elemento campionato di grandi dimensioni

Le figure 3.7 e 3.8 mostrano due elementi su cui sono stati installati i trasmettitori, si nota la differenza di dimensione, di localizzazione e di interazione con la corrente.

Il numero di elementi scelti ha corrisposto al numero di trasmettitori RFID da installare, sono stati quindi identificati 48 elementi legnosi nell'intero tratto di studio. La fase di installazione dei tag RFID è stata svolta come già accennato a maggio nel corso di due giornate lavorative. Dopo aver identificato l'elemento da campionare gli è stato praticato un foro posizionato circa a metà lunghezza del LW ma comunque in un punto in cui la foratura non diminuisse troppo la resistenza meccanica dell'elemento; per crearlo si è utilizzato un trapano a batteria sul quale è stata montata una fresa dal diametro di 25 mm e si è visto che praticando 3 fori adiacenti essi corrispondevano alla lunghezza del tag RFID. Le difficoltà e le facilità riscontrate nella foratura del tronco sono state variabili in relazione soprattutto allo stato di degradazione del tronco stesso. L'apertura del foro è stata poi regolarizzata utilizzando uno scalpello che ha permesso di eliminare i residui legnosi lasciati dalla fresa e quindi di permettere un più facile inserimento del trasmettitore all'interno del foro. All'interno del foro è stato inserito del silicone prima di installare il tag RFID per permetterne una migliore aderenza e successivamente è stato ricoperto da altro silicone per isolare il trasmettitore

dall'acqua. Per una questione prettamente visiva è stato posto sopra al foro un pezzo di corteccia o della segatura, questo per evitare di rendere visibile il trasmettitore agli occhi dei passanti. Per individuare a vista l'elemento legnoso campionato è stata posizionata una piastrina metallica chiamata "tag" sul tronco fissandola tramite un chiodo in acciaio; il tag per quanto possibile è stato posizionato in modo tale che sia visibile solo dall'occhio esperto di chi l'ha posizionato e non da gente estranea al lavoro svolto.



Figura 3.9 – Preparazione del foro



Figura 3.10 – Inserimento tag RFID



Figura 3.11 – Applicazione del silicone e ricoprimento con segatura



Figura 3.12 – Applicazione del tag metallico

Le figure 3.9, 3.10, 3.11 e 3.12 riportano le fasi che sono state seguite per l'installazione dei trasmettitori; il tronco rappresentato presentava uno stato di degradazione classificato come vecchio, su di esso è stato quindi più agevole praticare il foro in quanto i tessuti legnosi ormai alterati non presentavano la resistenza originaria. In figura 3.10 si vede molto bene la grandezza del foro in proporzione al tag RFID, mentre in figura 3.11 si nota che il silicone viene ricoperto con la segatura di risulta ottenuta dal foro, il ricoprimento avviene subito in

modo tale che il silicone funga da collante. Come si nota in figura 3.12 la zona di applicazione della piastrina metallica è tendenzialmente rivolta verso il suolo.

La fase di raccolta dati avvenuta assieme all'istallazione dei tag RFID ha previsto la compilazione di una scheda di campo su cui sono state riportate le informazioni sia di carattere qualitativo sia quantitativo dei singoli elementi, questo momento ha previsto oltre alla valutazione visiva degli elementi e del contesto di ubicazione anche l'uso di strumentazione come cordella metrica, cavalletto dendrometrico, GPS e fotocamera. In seguito è riportata la scheda di campo utilizzata durante l'istallazione degli RFID.

Tag	RFID	GPS			L = Latifoglia C = Conifera	LOCALIZZAZIONE	T = Tronco C = Ceppaia	ORIENTAMENTO	ORIGINE	RAMI	STATO DEGRADAZIONE	INTERAZIONE CORRENTE	INTERAZIONE SEDIMENTI	DIMENSIONI			STATO AGGREGAZIONE	ORA e Note e foto
		N	E	Precisione										DIAMETRO T (C)	DIAMETRO C	LUNGHEZZA		
218	183396	46° 29' 15.35"	11° 56' 07.34"	6.2	L	M sx	T	30°	FL	ASS	V	/	/	19	/	1.18	S	10:04
219	183384	46° 29' 13.53"	11° 56' 10.79"	9.7	C	M sx	T + C	CM 10°	FR + Ru	SN	M	/	/	17	/	6.60	A1	10:34
219	183384	46° 29' 13.53"	11° 56' 10.79"	9.7	C	M sx	C	CM 10°	FR + Ru	SN	M	/	/	?	?	?	A1	10:34
220	183373	46° 29' 13.53"	11° 56' 10.79"	9.7	C	BF	T	10°	FR + Ru	ASS	M	/	/	12	/	1.30	A1	10:50
221	183392	46° 29' 12.08"	11° 56' 11.41"	12	C	D	T + C	CV 0°	FL	ASS	V	/	DpM	15	/	1.62	S	11:05
221	183392	46° 29' 12.08"	11° 56' 11.41"	12	C	D	C	CV 0°	FL	ASS	V	/	DpM	19	34	0.38	S	11:05
222	183367	46° 29' 11.99"	11° 56' 11.02"	12	C	D	T	30°	FL	SN	V	/	/	8.5	/	2.58	A2	11:19
223	183362	46° 29' 11.99"	11° 56' 11.02"	12	C	D	T	45°	FL	ASS	V	/	/	27.5	/	1.20	A2	11:29
224	183383	46° 29' 12.67"	11° 56' 10.85"	11	C	D	T	45°	FL	SN	V	/	/	33	/	1.54	S	11:43

Tabella 3.1 – Scheda di campo con riportati i dati di alcuni elementi legnosi rilevati all'interno del torrente Cordevole

Il tratto d'alveo interessato è rappresentato da una scheda di campo (tabella 3.1) sulla quale le colonne rappresentano i caratteri da esaminare mentre ogni riga rappresenta un elemento legnoso, solo nel caso in cui in campione è compreso di ceppaia si sono utilizzate due righe per lo stesso elemento. La scheda di campo è così strutturata:

- *Tag*: numera gli elementi legnosi in modo progressivo così che risultino riconoscibili attraverso la targhetta metallica. Come si nota nella scheda di campo ad ogni tag corrisponde un determinato codice identificativo del trasmettitore RFID;

- *RFID*: identifica il codice interno del trasmettitore, il codice è leggibile su un'etichetta posta sul sensore;
- *Coordinate*: sono coordinate geografiche che identificano il punto iniziale nel quale si trova l'elemento analizzato.
- *Precisione*: riporta la precisione espressa in metri che il GPS ha nel rilevare il punto in cui è presente l'elemento legnoso, essa varia in relazione alla presenza e alla posizione dei satelliti che trasmettono il segnale.
- *Latifolia – Conifera*: è la prima distinzione che si fa sul materiale legnoso, l'identificazione è di fondamentale importanza perché come accennato in precedenza da indicazioni utili sul tipo di movimento in corso di evento e sulla capacità dei rami presenti di porre resistenza alla spinta della corrente. La distinzione aiuta inoltre ad identificare il grado di degradazione dell'elemento legnoso;
- *Localizzazione*: indica la zona in cui l'elemento legnoso è posizionato. La localizzazione viene suddivisa in cinque categorie indicate da una sigla: dentro (D), marginale (M), sospeso (S), step (ST), *bankfull* (Bf). Dentro si riferisce al legname all'interno del livello definito al *bankfull*, marginale è il LW presente all'interno della piana alluvionale ma esterno al livello al *bankfull* e nel caso in cui il campione fosse posizionato in zona di transizione tra le due precedenti è stato classificato come *bankfull*. I tronchi definiti sospesi sono quelli che si trovano all'interno dell'alveo ma sono posizionati in modo tale da rimanere sospesi al di sopra del livello a piene rive e quindi hanno un'interazione completa con la corrente solo in casi eccezionali e non con piene di tipo ordinario; assumono questa posizione generalmente in seguito a schianti od erosioni spondali e si trovano appoggiati spesso su grossi massi presenti in alveo o su vegetazione. Infine la categoria step indica i tronchi posti trasversalmente all'interno dell'alveo e che interagiscono attivamente con la corrente formando dei *log step*;
- *Tronco – Ceppaia*: permette di indicare la presenza del solo tronco o del tronco compreso di ceppaia. Nel caso in cui la ceppaia sia presente ne vanno riportate le sue misure;
- *Orientamento*: esprime la direzione dell'asse principale del tronco rispetto alla corrente, viene espressa in gradi tenendo come parametri fissi i gradi 0, 10, 30, 45 e 90; solo in un caso è stato indicato verticale come orientamento, questo perché il tronco era incastrato tra altro detrito legnoso e risultava verticale rispetto al corso

d'acqua. Nel caso in cui il LW fosse composto anche dalla ceppaia si è ritenuto utile specificare l'orientamento di essa quindi se era posta a monte (CM) o a valle (CV).

- *Origine*: per questo parametro viene indicata la causa dell'ultimo spostamento che ha subito il legname. L'origine è suddivisa in 6 categorie: frana (FR) quando in materiale è entrato in alveo a causa di una frana di versante e da lì non è più stato movimentato, sponda (SP) quando il LW deriva da erosione spondale, naturale (N) quindi per fenomeni relativi al ciclo biologico del bosco, fluitato (FL) quando l'elemento legnoso arriva in una determinata posizione dopo essere stato fluitato a valle dal corso d'acqua, residui di taglio (Ru) elementi pervenuti all'interno del corso d'acqua in seguito ad utilizzazioni forestali ed infine Debris Flow (DF) che rappresenta il legname arrivato in alveo assieme ad una colata detritica, questo avviene in zone montuose dove il collettore è incassato tra i versanti;
- *Rami*: anche per l'identificazione della presenza di rami sugli elementi legnosi è stata proposta una classificazione che riporta 4 categorie: tutti i rami intatti (INT), alcuni rami spezzati (SPZ), solo nodi (SN) e rami e nodi assenti (ASS);
- *Stato di degradazione*: questo parametro è strettamente dipendente dalla permanenza dei residui legnosi all'interno dell'alveo; la degradazione del materiale è inoltre influenzata dal trasporto che esso ha subito e dalla specie legnosa in questione. Lo stato di degradazione riporta tre categorie: fresco (F) dove il LW presenta una corteccia integra e si stima che sia all'interno dell'alveo al massimo da un anno, medio (M) quanto la corteccia inizia a staccarsi ed il legno a deteriorare ma tuttavia le capacità meccaniche rimangono invariate, infine viene classificato come vecchio (V) il tronco che presenta un stato avanzato di degradazione e le proprietà meccaniche sono diminuite;
- *Interazione con la corrente*: indica principalmente se il materiale legnoso è a contatto o non con la corrente e questo viene indicato con: sommerso (S), parzialmente sommerso (PS) oppure se non è a contatto con l'acqua la casella della scheda viene semplicemente barrata. Nel caso in cui l'elemento sia parzialmente sommerso va riportata indicativamente anche la percentuale che è sommersa. Quando il LW crea interazione con la corrente va segnato anche il tipo di interazione, nella scheda viene riportato il sifonamento (SF) e la deviazione della corrente (DC);
- *Interazione con i sedimenti*: va verificato se il LW presenta delle interazioni con i sedimenti. Se effettivamente il materiale legnoso ha questa interazione essa va

classificata in relazione alla sua struttura e alla sua posizione seguendo queste categorie: deposito (DP), scavo (SC), posto a monte (M) o a valle (V), va inoltre precisata la dimensione dell'accumulo di sedimento ed il tipo di sedimento;

- *Diametro T (C)*: viene misurato il diametro medio se si tratta di tronco ed invece il diametro minore se si tratta di ceppaia. Sono espressi in centimetri;
- *Diametro C*: questo parametro è utilizzato soltanto in presenza di ceppaia, ne riporta il diametro maggiore ed è espresso in centimetri;
- *Lunghezza*: riporta la lunghezza del tronco e nel caso di tronco con ceppaia le due lunghezze vengono mantenute distinte, vengono espresse in metri;
- *Stati di aggregazione*: fanno riferimento a come gli elementi sono disposti nell'alveo, essi possono trovarsi come singoli (S) o come accumuli (A), nel secondo caso si fa riferimento alla "scheda accumuli";
- *Ora e note*: è stata riportata l'ora in cui sono state scattate le fotografie per avere un riscontro preciso nell'identificare l'elemento.

Sulla scheda di campo è stato indicato lo stato di aggregazione del legname campionato facendo una distinzione tra elementi legnosi singoli e accumuli; la struttura ad accumuli è formata dal raggruppamento di legname di varie dimensioni che si può posizionare in varie zone dell'alveo attivo o della piana alluvionale generalmente in seguito ad eventi di piena. Quindi assieme alla scheda di campo sopra illustrata è stata compilata la scheda accumuli che permette di descrivere in modo dettagliato l'aggregazione del legname dove fanno parte almeno due LW presenti sulla prima scheda. Ogni accumulo è stato descritto con una propria scheda; in tabella 3.2 è riportata la scheda accumuli per l'A7 posto poco a valle della centrale idroelettrica di Davedino.

SCHEDA ACCUMULO N°		A7
FOTO		11:25
POSIZIONE GPS		N 46° 28' 37.3" E 11° 57' 05.5"
ELEMENTI CON RFID		2
TIPO DI ACCUMULO Abbe e Montgomery (2003)		Log dem
LOCALIZZAZIONE		in sinistra
ELEMENTI CHIAVE		2 massi con diametro di 2.50 m e 3 m
DIMENSIONI	LUNGHEZZA	6.7
	ALTEZZA	1
	LARGHEZZA	2.9
NUMERO TOTALE ELEMENTI		8
PRESENZA MATERIALE LEGNOSO Più FINE		Moderato
DIMENSIONI DEL CUNEO DI SEDIMENTO	LUNGHEZZA	/
	ALTEZZA	/
	LARGHEZZA	/
CONTRAZIONE		/

Tabella 3.2 - Scheda che descrive un accumulo legnoso presente le tratto in esame del torrente Cordevole

La scheda accumuli è strutturata per fornire maggiori informazioni riguardanti le strutture che il legname compone all'interno dell'alveo, essa è composta dai seguenti parametri:

- *N° scheda accumulo*: gli accumuli esaminati nel tratto d'alveo oggetto di studio sono stati numerati in modo progressivo. Nell'intero tratto si sono analizzati 7 accumuli legnosi;
- *Foto*: si riporta l'orario della foto per poter in un secondo momento porre a confronto l'immagine con i dati rilevati;
- *Posizione GPS*: corrisponde alla posizione GPS degli elementi campionati all'interno dell'accumulo;
- *Elementi con RFID*: va specificato a quanti elementi che compongono l'accumulo sono stati inseriti i tag RFID;
- *Tipo di accumulo*: segue la classificazione proposta da Abbe e Montgomery (2003) per i torrenti montani;
- *Localizzazione*: l'accumulo legnoso può essere localizzato a sinistra, a destra o in posizione centrale all'interno dell'alveo;

- *Elementi chiave*: si richiede il numero degli elementi che hanno determinato la formazione dell'accumulo. Degli elementi chiave sono state riportate le dimensioni;
- *Dimensioni*: sono richieste le dimensioni dell'accumulo, più precisamente lunghezza, altezza e larghezza. Le grandezze sono espresse in metri;
- *Numero totale degli elementi*: va riportato approssimativamente il numero di elementi che costituiscono l'accumulo. Nel caso in cui l'accumulo sia di grande dimensioni risulta difficile la stima esatta del numero di componenti.
- *Presenza di materiale legnoso più fine*: va descritta qualitativamente la presenza di *Fine Wood*;
- *Dimensioni del cuneo di sedimento*: non sempre è presente il cuneo di sedimento ma quando esso c'è è sempre posto a monte, ne vanno indicate la lunghezza, l'altezza e la larghezza espresse in metri;
- *Contrazione*: è data dal rapporto tra la larghezza ostruita dall'alveo e quella totale.

Nel caso in cui sia presente una formazione a *debris dem* o a *log-step* vanno effettuate ulteriori misurazioni:

- Altezza del salto;
- Numero dei tronchi che formano il salto;
- Larghezza della gaveta;
- Dimensioni della *pool*.

Con l'installazione dei trasmettitori RFID e la compilazione della scheda di campo con l'eventuale scheda accumuli è stata conclusa la prima fase di lavoro in campo.

3.2.2 Seconda fase: monitoraggio post – evento

La seconda parte del lavoro è stata nuovamente svolta in campo e si è articolata in due giornate lavorative a metà giugno. Le date per il monitoraggio sono state scelte in relazione agli eventi di piena avvenuti; a seguito dell'evento avvenuto a fine maggio si è deciso di proseguire con la verifica di spostamento degli elementi. Per il monitoraggio è stata utilizzata l'antenna *M220 Mobile Reader*, il palmare *Nomad Trimble serie 900* per il rilevamento delle nuove posizioni e su di esso è stato installato il programma *Mobile Trak lite* che permette la captazione del segnale dei tag RFID fino ad una distanza massima di 200 metri in linea d'aria.

Il monitoraggio si è svolto partendo a monte dalla posizione in cui era stato installato il primo trasmettitore, poco a valle della confluenza con l'Ornella e percorrendo l'alveo del Cordevole fino al ponte di Digonera. In questo tratto è stato possibile individuare i codici identificativi degli elementi che sono stati movimentati e di quelli che sono rimasti nella posizione originaria nonostante l'evento di piena che li ha interessati. Percorrendo la strada che costeggia in sinistra il tratto di studio del Torrente Cordevole ci si è fermati ogni qualvolta sul palmare apparisse il segnale di un trasmettitore, entrando quindi nell'alveo del corso d'acqua e percorrendo la direzione di captazione del segnale è stato possibile quindi risalire al tag RFID che stava trasmettendo. In questa fase ci si è avvalsi anche della documentazione fotografica creata nel momento di installazione dei trasmettitori allo scopo di individuare i luoghi in cui erano stati campionati gli elementi per l'installazione; è stata riscontrata una difficoltà data dalla crescita della vegetazione nel corso della primavera per l'identificazione precisa delle aree.

Percorrendo il tratto da Ornella al ponte di Digonera sono stati identificati anche degli elementi che si sono mossi in corso di evento. Avendo percorso interamente questo tratto si è andati ad esclusione e si sono individuati sulla scheda di campo gli elementi legnosi che a valle erano andati oltre il ponte di Digonera. Durante la seconda giornata la ricerca degli elementi mancanti è stata focalizzata sul tratto a valle del ponte di Digonera ed il Cordevole è stato percorso utilizzando l'antenna per la captazione dei segnali emessi dai tag RFID fino a monte del lago di Alleghe. Durante questa fase è stata strutturata un'ulteriore scheda di campo che ha permesso di gestire in modo ordinato i nuovi dati.

TAG	RFID	POSIZIONE ELEMENTO	ROTTURE (Mis. Attuale)	LOCALIZZAZIONE	AGGREGAZIONE	ORIENTAMENTO
218	183396	Fermo	No	Di installazione	/	/
119	183384	Fermo	No	Di installazione	/	/
220	183373	Fermo	No	Di installazione	/	/
221	183392	Mosso	No	A monte Briglia fantasma	/	/
222	183367	Mosso	No	Marginale	Singolo	45°
223	183362	Fermo	No	Di installazione	/	/

Tabella 3.3 – Scheda di campo per monitorare gli spostamenti del legname in alveo

Nella scheda per di monitoraggio sono state riportate le numerazioni dei tag metallici e i codici dei tag RFID, per permettere l'identificazione degli elementi legnosi è stata introdotta la posizione dell'elemento intesa come LW fermo e mosso; se l'elemento non è stato movimentato i dati qualitativi, quantitativi e di posizione sono rimasti invariati rispetto a quelli al momento dell'istallazione. Nel caso in cui il LW sia fluitato in corso di evento è stata ripresa la posizione GPS che questa volta è stata direttamente registrata sul palmare, sono state verificate eventuali rotture dell'elemento rimisurandolo anche se questo non sempre è stato possibile, è stata registrata la localizzazione, lo stato di aggregazione e l'orientamento. In corso di monitoraggio è stata tenuta presente la possibilità di non ritrovare tutti quanti gli elementi legnosi campionati; il non ritrovamento può verificarsi in caso di rottura del trasmettitore oppure se l'elemento legnoso in corrispondenza del tag RFID risulta essere sommerso da un tirante d'acqua eccessivo oppure sommerso da troppo sedimento.



Figura 3.13 - Elemento ritrovato in fase di monitoraggio

3.2.3 Terza fase: elaborazione dati

L'elaborazione dei dati rilevati in campo è avvenuta a fine attività svolta sull'area di studio. Tutti i dati ottenuti in campo che sono stati annotati in formato cartaceo sono stati successivamente riportati in tabelle utilizzando *Microsoft Excel 2010*, con esso è stato possibile mettere a confronto i dati e creare grafici e ulteriori tabelle. Si è utilizzato inoltre *ArcGis 10.1* che ha permesso l'elaborazione cartografica dell'area di studio per farne uno studio dettagliato ed inoltre ha permesso di localizzare i punti GPS del materiale legnoso in fase di installazione e nel post evento; tutto questo ha permesso il calcolo della lunghezza del tratto d'alveo percorso dai singoli elementi mettendolo poi a confronto con i parametri qualitativi e quantitativi del legname in alveo.

Per eseguire tutto ciò è stato necessario riportare nel programma GIS la Carta Tecnica Regionale (CTR) relativa all'area dell'Alto Cordevole che assieme al DEM (Digital Elevation Model) ha permesso la comprensione e lo studio dei processi geomorfologici ed idraulici che interessano il bacino di studio. La matrice utilizzata per l'elaborazione GIS presenta celle di 25 x 25 m, queste dimensioni sono risultate idonee per le analisi che ci si è prefissi di fare; sono state quindi individuate le direzioni e la quantità di accumulo del deflusso chiamate e rispettivamente *flow direction* e *flow accumulation* dopo aver tracciato lo spartiacque del bacino idrografico utilizzando *Hydro Tools*. L'uso del GIS ha permesso la catalogazione degli ordini dei collettori presenti nel bacino, sono stati quindi individuati 6 ordini modificando in un successivo momento le loro caratteristiche grafiche allo scopo di migliorare l'individuazione dei collettori. L'uso del GIS all'interno di questo elaborato ha permesso inoltre di analizzare le fasce altitudinali, le esposizioni, le pendenze e l'assestamento dell'intero bacino dell'Alta Val Cordevole. Parte dei dati ottenuti tramite le elaborazioni GIS sono stati riportati in *Excel* ed elaborati al fine di ottenere delle osservazioni significative sulla morfologia del bacino.

4. DESCRIZIONE DELL'AREA DI STUDIO

Gli studi effettuati in questo elaborato riguardano un tratto del torrente Cordevole situato in comune di Livinallongo del Col di Lana. L'area di studio si trova in Regione Veneto, più precisamente in provincia di Belluno nell'Alto Agordino. L'Agordino è una delle otto grandi zone che compongono la provincia di Belluno, esse si differenziano per morfologia, storia ed evoluzione economica; i comuni dell'Agordino sono 16 e comprendono quasi totalmente il bacino idrografico del Torrente Cordevole. Il territorio presenta delle forti variazioni altimetriche passando dalle cime dolomitiche al fondovalle della conca Agordina.

L'Agordino confina a nord con il Trentino Alto Adige, in particolare con la Val di Fiemme e la Val di Fassa, a nord-est con il comune di Selva di Cadore, ad est con la Val Zoldana, a sud con il vallone Bellunese e ad ovest con il feltrino e il Primiero.

L'area oggetto di studio è facilmente raggiungibile percorrendo inizialmente la Strada Regionale Agordina che collega il vallone bellunese con l'omonima vallata e successivamente al bivio per il passo Fedaia si prosegue a destra percorrendo la strada che porta ad Arabba. La sezione di chiusura prevista nella fase di installazione dei trasmettitori RFID si trova poco dopo l'abitato di Digonera (frazione di Rocca Pietore) in corrispondenza del ponte che attraversa il Torrente Cordevole. Gran parte del tratto di torrente esaminato è costeggiato dalla strada comunale che porta alla frazione di Ornella in comune di Livinallongo del Col di Lana.

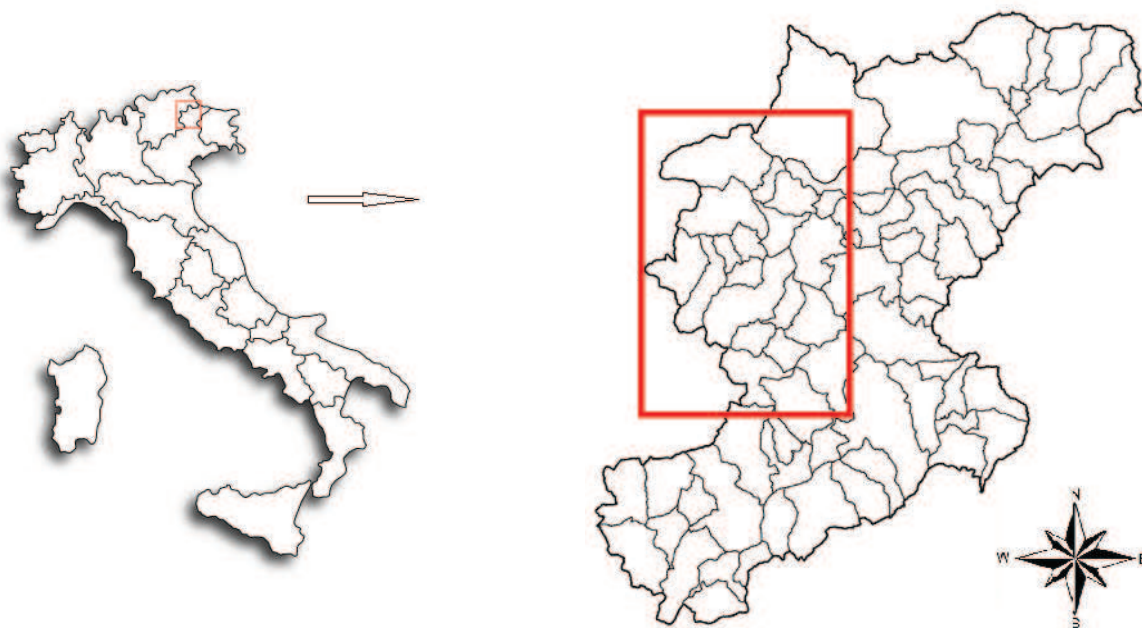


Figura 4.1 – Localizzazione dell'area di studio

4.1 Il bacino idrografico del Torrente Cordevole

Il torrente Cordevole è uno dei principali affluenti del fiume Piave; nasce presso il Passo Pordoi fra il Gruppo del Sella e quello della Marmolada a 2237 m s.l.m. e confluisce nel Piave in comune di Sedico a 279 m s.l.m.; presenta una lunghezza pari a 78,92 Km percorrendo per la maggior parte comuni che compongono la vallata Agordina. Il T. Cordevole presenta vari affluenti sia in destra che in sinistra e partendo da monte, i più importanti sono: il Fiorentina ed il Pettorina a Caprile che confluiscono rispettivamente le acque dell’altopiano di Mondeval e quelle in arrivo dal versante sud della Marmolada, l’Andraz, il Biois che percorre l’intera omonima valle che si trova ad ovest rispetto all’Alta Val Cordevole, mentre il Tegnas, la Sarzana, la Rova e la Bordina si immettono nel Torrente Cordevole nell’area del Basso Agordino. Infine a valle l’ultimo affluente del Torrente Cordevole posto poco distante dalla sua immissione nel Piave è il Mis che si estende in gran parte all’interno del Parco Nazionale delle Dolomiti Bellunesi.



Figura 4.2 – Tratto del Torrente Cordevole

Oltre ad essere interessato da vari affluenti, il Torrente Cordevole in comune di Alleghe forma l'omonimo lago originatosi nel 1771 in seguito ad una frana del Monte Piz; più a valle in comune di Cencenighe Agordino esso forma il lago artificiale del Ghirlo poco a valle dell'immissione del Biois.

Lungo il collettore del Torrente Cordevole e dei suoi affluenti sono presenti opere di sistemazione eseguite nella maggior parte dei casi successivamente all'alluvione del 1966 che ha segnato duramente l'intero territorio Agordino. L'alluvione avvenuta il 4 novembre del 1966 evidenziò le criticità presenti sul territorio, non solo per quanto riguarda il collettore del Torrente Cordevole ma anche per il territorio percorso di suoi affluenti. Un nodo critico che ha innescato seri problemi durante quella giornata fu la presenza di legname all'interno dei corsi d'acqua; da documentazione storica si apprende che il centro di Caprile fu invaso oltre che da acqua, fango e detrito anche da legname spesso di grandi dimensioni (vedi di seguito).

4.2 Il tratto del Torrente Cordevole oggetto di studio

Questo lavoro di tesi si è soffermato ad analizzare la movimentazione del legname su un tratto del Torrente Cordevole; l'area oggetto di studio è stata delimitata imponendo come sezione di chiusura lo sbarramento di Masarè che delimita a valle il lago di Alleghe. Le osservazioni che verranno riportate in seguito fanno riferimento all'interno bacino idrografico del Torrente Cordevole con riferimento alla sezione di chiusura sopra citata; l'installazione dei trasmettitori RFID e di conseguenza il loro monitoraggio si sono concentrati lungo l'asta principale del Cordevole. Il campionamento degli elementi legnosi è stato eseguito interamente in comune di Livinallongo del Col di Lana, sul tratto del Cordevole che va dall'abitato di Ornella fino al ponte adiacente alla frazione di Digonera. Il tratto in questione presenta una lunghezza di 3.206 Km in cui sono presenti tre affluenti di cui due in destra che sono l'Ornella e il Davedino e uno in sinistra che è il Rio Chiesa.

4.3 Parametri morfometrici

Come già accennato il Torrente Cordevole si estende lungo l'Agordino fino ad arrivare in comune di Sedico percorrendo una lunghezza di 78,92 km; esso nasce da piccole sorgenti d'acqua a quota 2237 m s.l.m. poste sul Gruppo del Sella in prossimità del Passo Pordoi e si

immette nel Fiume Piave a 279 m s.l.m.. L'interno bacino presenta un'area drenata di circa 866 Km² alla quale appartiene gran parte del territorio Agordino. L'area del Torrente Cordevole sopra citata è suddivisa in 6 sottobacini che sono: l'Andraz, il Pettorina, il Fiorentina, il Biois, il TEGNAS e il Mis. Arrivando al lago di Alleghe il Torrente Cordevole diventa di 6°ordine e come si nota in figura 4.3 è interessato da vari affluenti; il bacino considerato che ha come sezione di chiusura lo sbarramento di Masarè presenta un'area drenata di 246.74 Km².

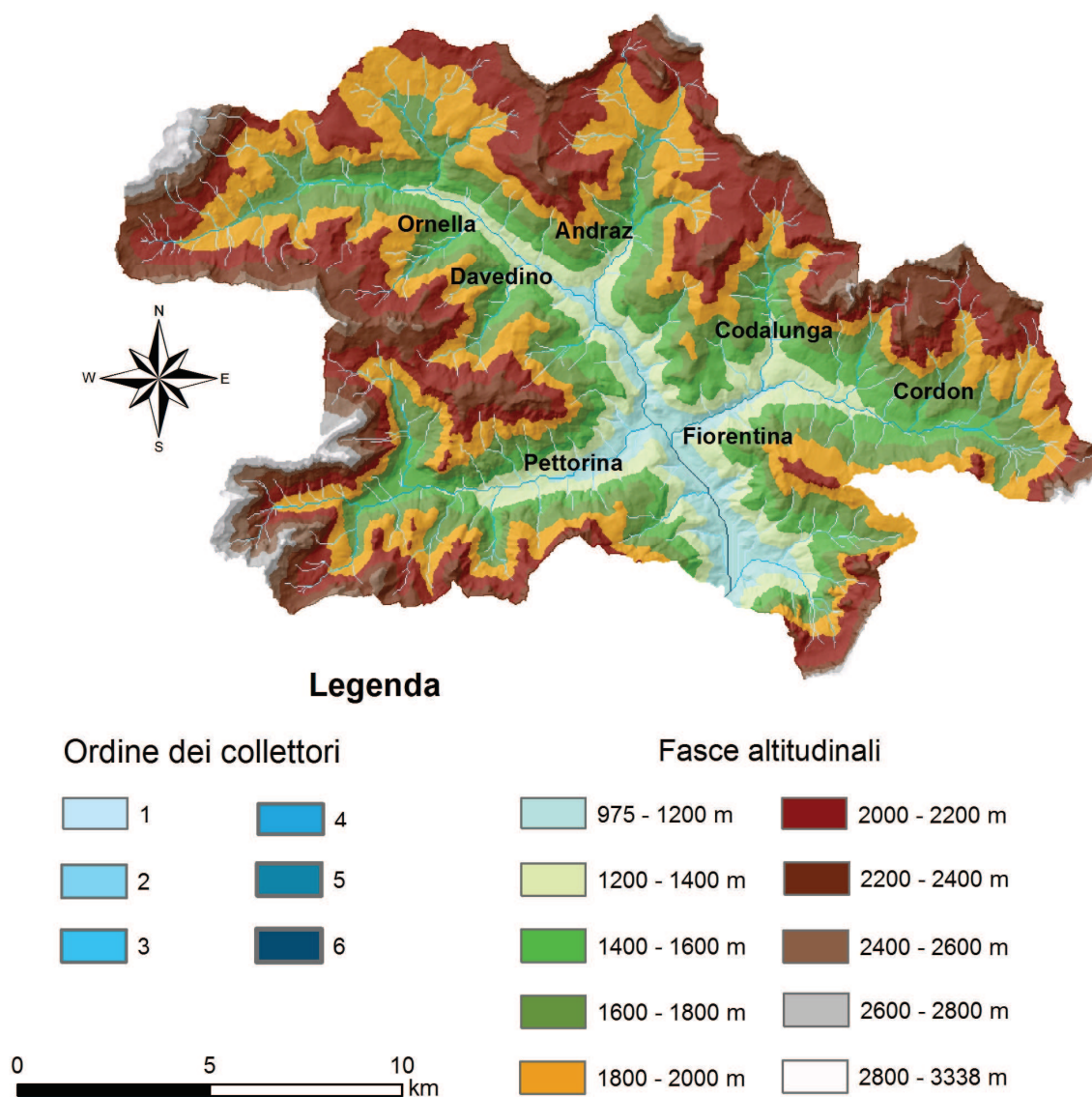


Figura 4.3 – DEM del bacino del Torrente Cordevole considerando come sezione di chiusura lo sbarramento di Masarè

Nella figura 4.3 si riporta un DTM del Bacino idrografico considerato, ottenuto dall'elaborazione dei file ascii scaricati dal Geoportale Regionale. Come già descritto nel capitolo precedente le elaborazioni cartografiche sono state possibili utilizzando ArcGis 10.1 che ha permesso attraverso l'uso della CTR di effettuare le analisi di bacino riportate in seguito e successivamente delle elaborazioni matematiche dei dati effettuate con *Excel*.

I principali affluenti del Torrente Cordevole all'interno del bacino analizzato sono l'Ornella, il Davedino e il Fiorentina in destra mentre in sinistra sono presenti l'Andraz e il Fiorentina nel quale si immettono il Codalunga e il Cordon. L'indice di sinuosità del tratto del Torrente Cordevole fino al lago di Alleghe è di 1.28, appare essere quindi tendenzialmente rettilineo.

Dall'elaborazione eseguita con il GIS è stato possibile risalire agli ordini che compongono il reticolo idrografico presente nel bacino e successivamente alla lunghezza complessiva dei singoli ordini.

Ordine collettore	Lunghezza complessiva (m)	Numero di collettori
1	209851	1133
2	90772	450
3	52176	339
4	32162	201
5	7904	23
6	4583	14

Tabella 4.1 - Lunghezza dei 6 ordini di collettori

In tabella 4.1 sono state riportate le lunghezze dei collettori che costituiscono la rete idrica del bacino del Torrente Cordevole. La somma delle lunghezze di tutti gli ordini dei collettori è pari a 397,45 Km. Si nota una grande numerosità di collettori di primo ordine data anche dall'importante estensione del bacino del Torrente Cordevole. Avendo a disposizione i dati presenti in tabella 4.1 è possibile calcolare il rapporto di biforcazione dei collettori presenti nel bacino idrografico del Cordevole considerando la sezione di chiusura di Masarè; questo rapporto esprime il legame che c'è fra il numero di collettori di un certo ordine ed il

numero di collettori dell'ordine immediatamente successivo. Il rapporto di biforcazione medio assume valori generalmente tra 3 e 5 ma in alcuni casi possono arrivare anche a 2. Nel caso in esame il rapporto di biforcazione presenta un valore di 3.18. È stata poi valutata la densità di drenaggio del bacino in questione, essa è calcolata come rapporto tra la lunghezza totale della rete idrica e la superficie del bacino ed esprime la capacità del bacino a produrre deflusso; è risultato che la densità di drenaggio relativa al bacino dell'Alto Cordevole è pari a 1.61 Km^{-1} . Questo valore indica la presenza di una buona copertura vegetale che diminuisce il deflusso superficiale dell'acqua.

4.3.1 Idrografia

Il Torrente Cordevole ha origine in prossimità del Passo Pordoi a 2239 m s.l.m. e scende verso l'abitato di Arabba dove si presenta già in forma di 4° ordine per aver ricevuto il Torrente Boè e il Campolongo, entrambi posti nel territorio comunale di Arabba. Scendendo a valle il Cordevole entra in comune di Livinallongo del Col di Lana dove riceve i Torrenti Ornella, Davedino e, più in basso, in comune di Rocca Pietore c'è l'immissione del Torrente Andraz il quale fa diventare il Cordevole di 5° ordine. Presso l'abitato di Caprile, quindi già in fondovalle, si immettono i Torrenti Pettorina e Fiorentina ed il Cordevole diventa di 6° ordine proseguendo poi verso il lago di Alleghe con un andamento più fluviale dato dalla minor pendenza e dall'ampiezza dell'alveo. La dinamica del Torrente Cordevole porta a movimentare abbastanza materiale solido oltre che al LW portando di conseguenza ad un progressivo interrimento del lago di Alleghe. Oltrepassato il lago, il Torrente Cordevole procede a valle costeggiando spesso la Strada Regionale Agordina per poi confluire nel Piave di cui è il maggior tributario. In tutta la sua lunghezza, il Torrente Cordevole fa confluire nel Piave tutta l'acqua presente nei torrenti che percorrono l'agordino, sono infatti coinvolte sia tutta l'alta Val Cordevole, la Valle del Biois e tutti i torrenti che sono localizzati nei comuni del basso agordino.

In tabella 4.2 vengono riportati in ordine di immissione tutti gli affluenti presenti nell'alta valle del Cordevole.

Affluenti	Quota di confluenza m s.l.m.	Affluente (dx, sx)
Passo Pordoi (sorgente)	2239	
Ru. Vauz	1835	Dx
Ru. Fontane	1790	Sx
Ru. Aurora	1600	Dx
Ru Boè	1590	Sx
Ru. Campolongo	1580	Sx
Ru. Pestort	1510	Dx
Ru. Salvazza	1430	Sx
Ru. D'Ornella	1245	Dx
Ru. Davedino	1170	Dx
Ru. Chiesa	1150	Sx
Ru. Di Andraz	1110	Sx
Ru. De Ross	1105	Dx
Ru. Di Pignazza	1095	Sx
Ru. Prade Malan	1030	Sx
T. Pettorina	1024	Dx
T. Fiorentina	1023	Sx
Ru. Barce	1010	Dx
Ru. De Molini	1000	Dx
Ru. Da Tos	980	Sx
Ru. De Fontana	970	Sx
Ru. Delle Sorize	966	Dx
Ru. De Vizza	966	Sx
Ru. De Cassola	966	Sx
Ru. De Pianaz	966	Dx
T. Zunaia	966	Sx
Ru. Sec	966	Sx

Tabella 4.2 – Affluenti nell'Alta Val Cordevole

4.3.2 Quote

Per rappresentare la variazione di quota presente nel bacino sono state individuate dieci classi altitudinali divise equamente. All'interno del bacino idrografico tracciato la quota massima è di 3338.54 m s.l.m. che si trova in Marmolada, mentre quella minima risulta essere pari a 966 m s.l.m. posta alla sezione di chiusura a Masarè. È stata inoltre calcolata l'area appartenente a ciascuna classe altimetrica individuata; i valori sono presenti in tabella 4.3 e rappresentati in figura 4.4.

Fascia altitudinale	Area (Km ²)
975 - 1200m	10.96
1200 - 1400 m	19.55
1400 - 1600 m	31.89
1600 - 1800 m	42.17
1800 - 2000 m	52.43
2000 - 2200 m	49.08
2200 - 2400 m	25.44
2400 - 2600 m	9.11
2600 -2800 m	3.69
2800 - 3338 m	2.42

Tabella 4.3 – Area espressa in Km² presente per ogni fascia altitudinale

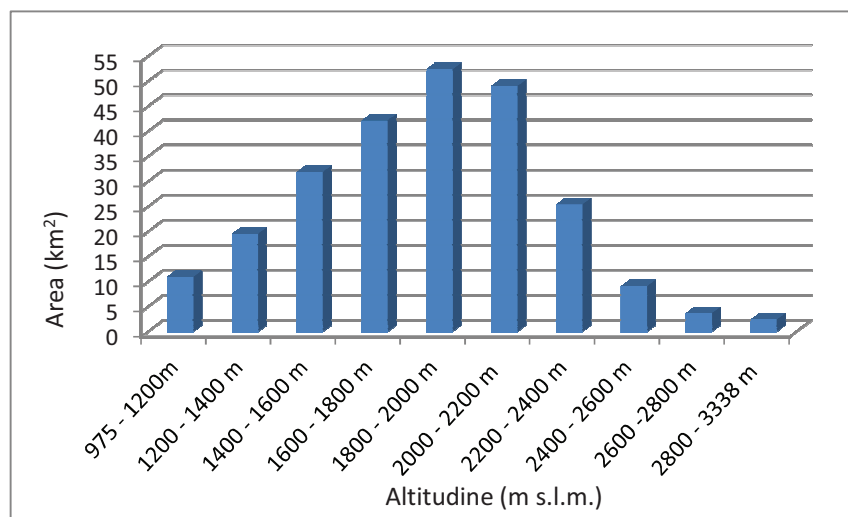


Figura 4.4 – Rappresentazione grafica della superficie nelle 10 classi altitudinali

Dall'osservazione del grafico si nota che la maggior superficie del bacino si ha tra i 1800 e 2200 m s.l.m. Appare inoltre visibile che l'area posta a quote inferiori a 1200 m s.l.m. è poco sviluppata, corrisponde infatti ai soli abitati di Alleghe, Caprile e Rocca Pietore.

4.3.3 Esposizione

Ora verranno analizzate le esposizioni del bacino idrografico del Torrente Cordevole con sezione di chiusura a Masarè di Alleghe. Le esposizioni che si osservano lungo i versanti sono strettamente dipendenti dalla disposizione dei rilievi e dalla direzione delle aste idrografiche. L'esposizione nella seguente analisi viene indicata facendo riferimento ai quattro punti cardinali e alle altrettante direzioni intermedie tra loro. L'esposizione dei versanti è una caratteristica di fondamentale importanza perché da essa dipendono le variazioni microclimatiche, lo scioglimento nivale ed il tipo di flora presente.

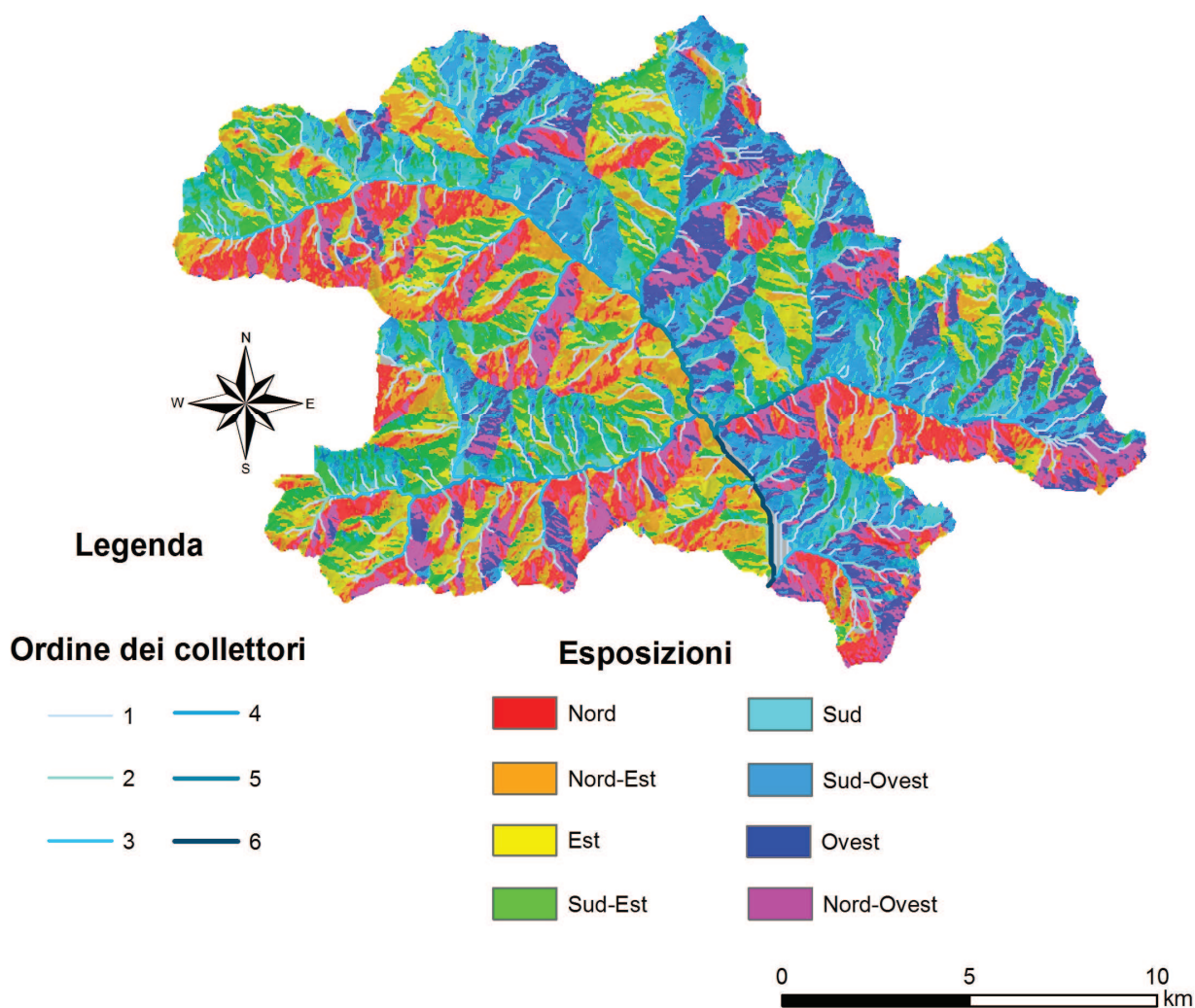


Figura 4.5 – DEM del bacino del Cordevole con rappresentate le esposizioni

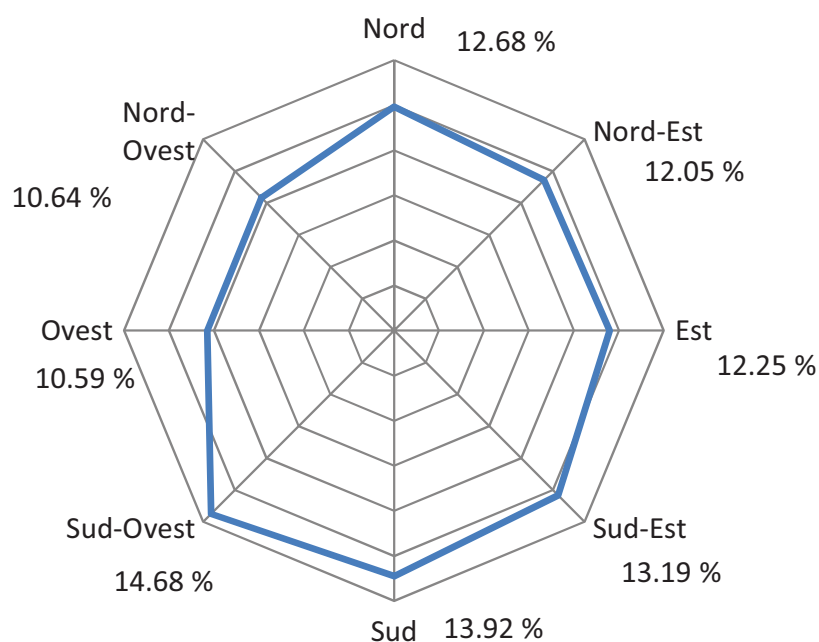


Figura 4.6 – Grafico a radar con la distribuzione percentuale delle esposizioni

Nelle figure 4.5 e 4.6 sono state analizzate le esposizioni che costituiscono il bacino del Cordevole; esse derivano da un'elaborazione digitale svolta con *ArcGis 10.1*. Per rendere più intuitiva la valutazione delle esposizioni per ogni categoria sono stati posti in percentuale il numero di celle in relazione al totale presenti per ogni classe. L'esposizione maggiore appare in direzione Sud-Ovest, mentre si ha meno area all'interno del bacino esposta a Nord-Ovest. La variazione percentuali tra le categorie sono minime, si può infatti affermare che l'esposizione all'interno del bacino è uniformemente distribuita, come generalmente si presenta per bacini di grandi dimensioni.

4.3.4 Pendenze

Altro parametro strettamente legato alle quote presenti in bacino sono le pendenze. È stato possibile analizzarle attraverso elaborazioni GIS ed utilizzando un istogramma per confrontare tra loro le classi di pendenza create.

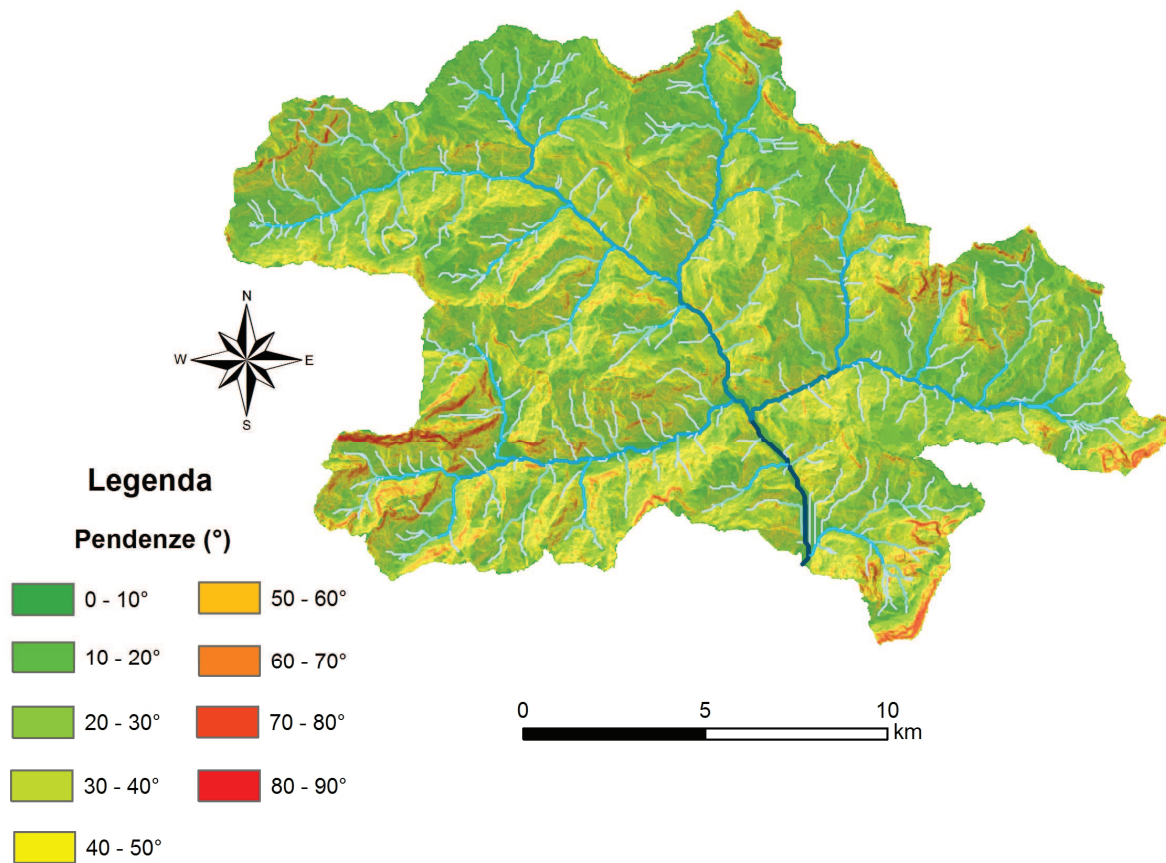


Figura 4.7 – DEM del bacino del Cordevole con rappresentate le pendenze

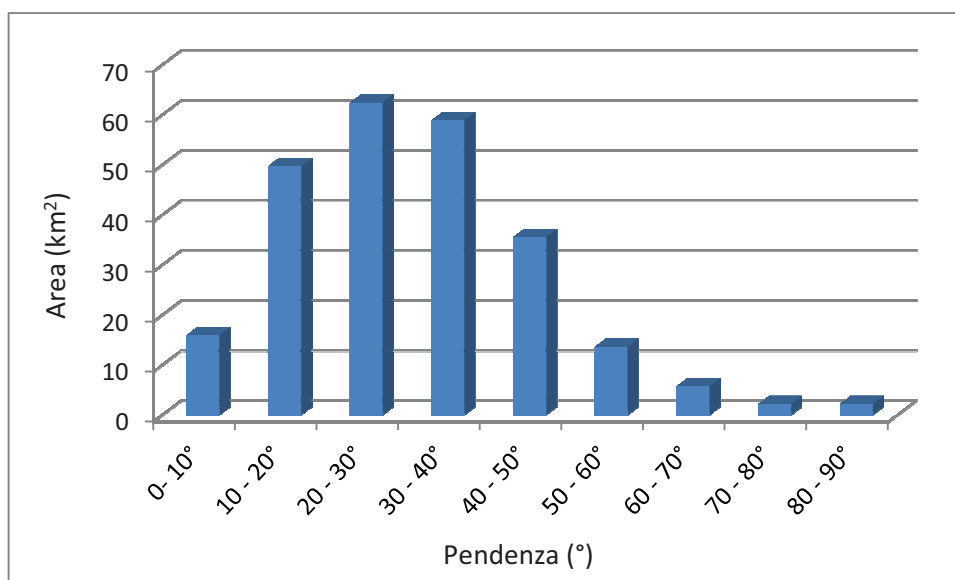


Figura 4.8 – Rappresentazione grafica della superficie nelle 9 classi di pendenza

Studiando la distribuzione della pendenza si riesce a capire com'è sviluppata l'area del bacino. La maggior parte della superficie dell'area di studio, più precisamente l'83.87% dell'intera area, ha una pendenza che si aggira tra i 10° e i 50°. Pendenze elevate quindi tra 50° fino ad arrivare alle pareti verticali rappresentano il 9.65 % del totale.

Guardando al ifigura 4.7 si vede che le pendenze massime sono prevalentemente nella parte iniziale del collettore del Torrente Pettorina, sul Gruppo del Sella e comunque in corrispondenza dell'inizio degli affluenti del Torrente Cordevole; si nota invece che le aree più pianeggianti sono poste a nord e ad est del bacino. Esse, intese con un intervallo tra 0 e 20° corrispondono al 26.67 % del totale dell'area di bacino.

Parlando in questa tesi di detrito legnoso, il fattore pendenza è di estrema importanza, nei versanti maggiormente ripidi che costituiscono i canali per i corsi d'acqua la probabilità che legname entri nel collettore è più elevata; infatti la pendenza e la stabilità sono due fattori che si possono definire inversamente proporzionali.

4.4 Piovosità e clima

Il bacino oggetto di studio è interessato da una transizione tra la fascia mesalpica e quella endalpica, esso è caratterizzato infatti da inverni piuttosto rigidi ed estati fresche; si assiste inoltre a frequenti precipitazioni che seguono una distribuzione di tipo continentale. Sono stati forniti dall'ARPAV i bollettini relativi alla piovosità e alle temperature registrati giornalmente dal primo gennaio 2008 al 31 agosto 2013 presso la stazione di Caprile. I dati riguardanti la piovosità sono stati riassunti nella tabella 4.4 calcolando la somma della piovosità mensile.

Anno	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC	TOTALE
2008	103.8	20.2	40.2	98.6	120.8	143.2	136.8	128.6	84.8	149.4	166.8	164.4	1357.6
2009	24.8	65	111.4	123	26	102.4	123.2	97.4	91.2	41.2	147	121.2	1073.8
2010	25.8	43.2	34.4	38.6	186.8	108.2	83	118.8	124	114	181.8	136.4	1195
2011	13.4	17.4	62.2	9	119.8	171.6	62.6	62.2	97.4	95	39	14.6	764.2
2012	15.4	5.2	40.6	109	93.6	83.4	198.8	135.4	159	129.8	258.8	19.8	1248.8
2013	33.2	52.8	99.6	85.4	204.6	107.2	108.4	86	/	/	/	/	/

Tabella 4.4 – Tabella riassuntiva della piovosità mensile

La tabella mostra mensilmente quanti sono stati i mm di pioggia registrati dal 2008 al 2013. È stato poi calcolato il totale della piovosità annua, essa è mediamente di 1100 mm con dei picchi che si verificano in primavera ed autunno. L'andamento della piovosità è ben visibile in figura 4.9.

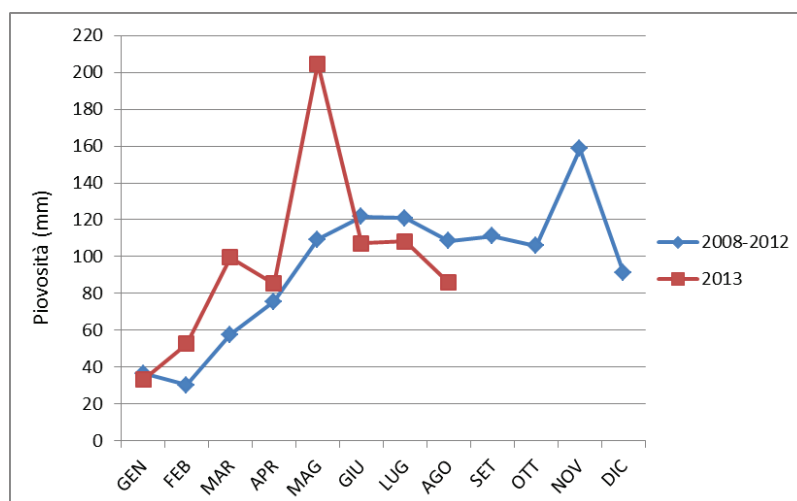


Figura 4.9 – Rappresentazione grafica dell'andamento della piovosità

All'interno del grafico con la spezzata blu è stato rappresentato l'andamento medio mensile della piovosità registrata tra il 2008 e il 2012; la spezzata rossa indica invece la piovosità media registrata dal primo gennaio al 31 agosto 2013. Appare evidente un valore spropositato di mm di pioggia caduti a maggio 2013, dai bollettini dell'ARPAV si osserva infatti che in quel mese si sono registrati ben 204.6 mm di pioggia nella stazione di Caprile. Questo picco è stato preceduto nel mese di marzo da 99.6 mm di pioggia, valore abbastanza alto per il periodo superato solo nel 2009. Nel complesso il grafico conferma quanto detto prima, infatti si nota che la maggior piovosità si verifica nel corso della primavera e verso la metà della stagione autunnale, mentre si osserva che la piovosità minima si ha durante i mesi invernali.

Si può quindi affermare che il bacino oggetto di studio è caratterizzato da molta piovosità distribuita nell'arco dell'anno che presenta soprattutto nel periodo estivo piogge intense e di breve durata; questo purtroppo favorisce il verificarsi di dissesti sia a causa della morfologia del territorio sia del concentrarsi delle piogge in un breve periodo che fa aumentare la portata dei torrenti causando esondazioni ed erosioni spondali improvvise. Visto il verificarsi di questi fenomeni sull'intera vallata sono state fatte e si continuano a costruire opere di regimazione e di protezione dall'erosione.

Si sono inoltre analizzati i bollettini relativi alle temperature registrate presso la stazione di Caprile dal 2008 ad agosto 2013. In tabella 4.5 sono riportate le temperature minime, medie e massime mediamente registrate mensilmente.

	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC
Minime	-12.2	-11.4	-7.5	-2.4	1.5	4.2	6.4	7.0	3.5	-2.9	-5.4	-13.1
Medie	-5.5	-5.1	-1.2	2.7	6.6	10.0	11.7	11.9	8.5	3.8	0.1	-5.2
Massime	1.0	1.2	3.7	7.4	11.6	15.4	16.0	15.7	14.0	10.3	6.1	0.8

Tabella 4.5 – Tabella riassuntiva delle temperature mensili

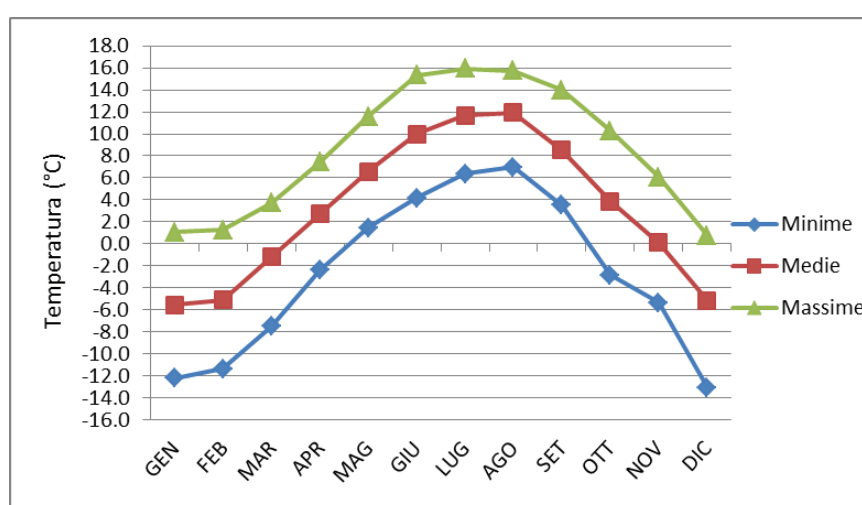


Figura 4.10 – Rappresentazione grafica dell'andamento delle temperature

Per la realizzazione della figura 4.10 è stata fatta la media delle temperature mensili registrate dalla stazione di Caprile dal 2008 al 2013. Le temperature minime oscillano tra valori molto bassi registrati a dicembre e i 7 °C registrati ad agosto; le massime si discostano di poco dallo zero nel mese di dicembre ed arrivano al loro valore massimo durante il mese di luglio.

4.5 Assestamento territoriale

È stata inoltre posta attenzione al tipo di uso del suolo definito dai piani di assestamento che comprendono l'area del bacino. Per buona parte della superficie sono disponibili dati a livello particellare che indicano la funzione, il tipo di governo, la superficie totale e di essa quella boscata. In figura 4.11 si mostra il DEM che raffigura la divisione particellare del bacino.

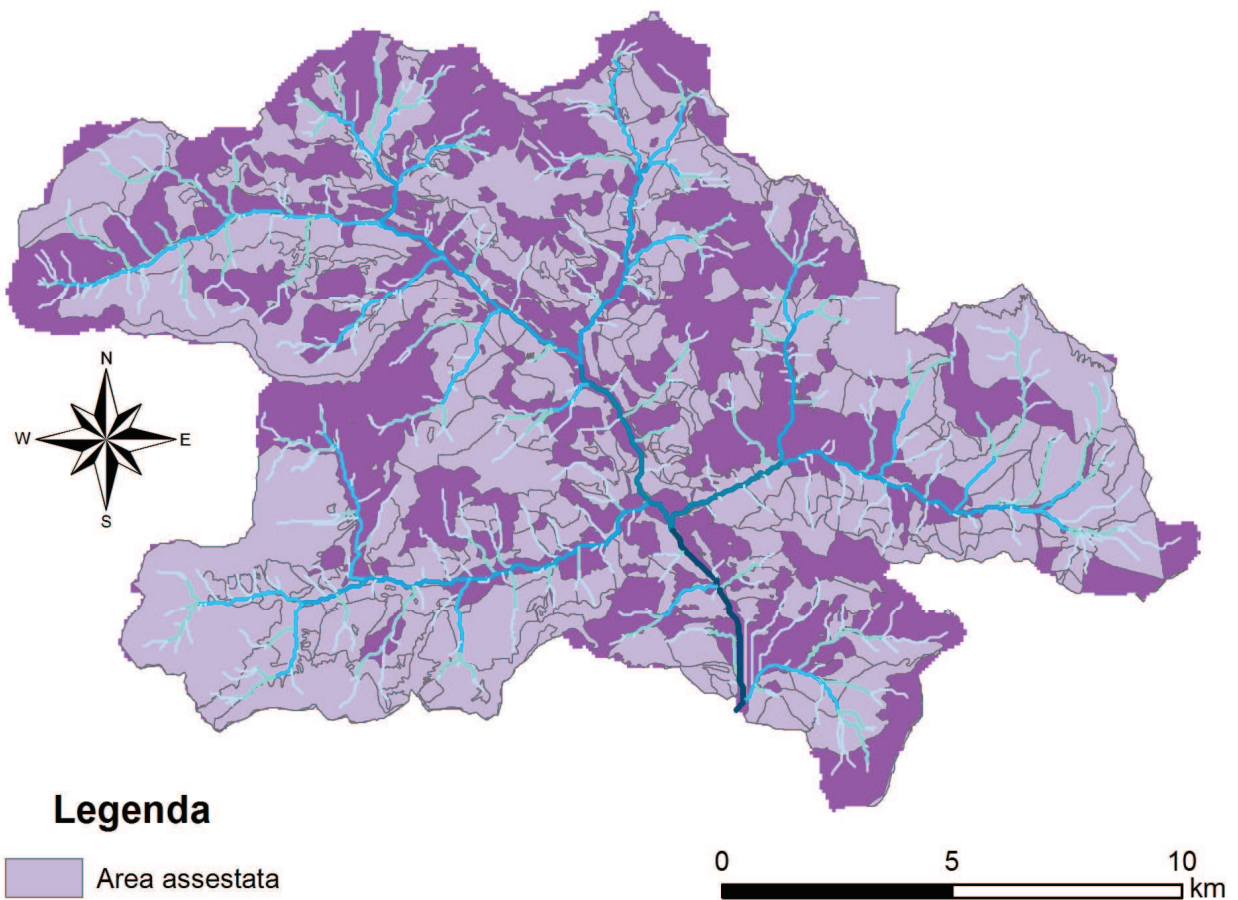


Figura 4.11 – DEM del bacino del Cordevole con rappresentata l'area assestata

L'area assestata all'interno del bacino del Torrente Cordevole non ricopre interamente la superficie in questione; dai dati che emergono si nota che le particelle comprese nell'unità assestata sono state classificate a seconda della funzione e sono le seguenti: ambientale, produttiva, protettiva, improduttiva e bosco-pascolo; sono state inoltre catalogate in base al tipo di governo inteso come fustaia, prateria e improduttivo. Nel caso in cui il governo è classificato come fustaia è stata precisata la specie boschiva presente; nell'area del bacino del torrente Cordevole le tipologie boschive presenti sono: pecceta dei substrati silicatici a megafornie, pecceta secondaria montana, pecceta subalpina dei substrati carbonatici, pecceta altimontana dei substrati carbonatici, piceo-faggeto dei suoli xerici, larici-cembreto tipico, larici-cembreto con abete rosso e lariceto tipico.

La copertura forestale prevalente è rappresentata da peccete che a quote superiori vengono sostituite dai larici-cembreti o dai lariceti puri.

4.6 Geomorfologia

La dolomia costituisce gran parte dei massicci rocciosi presenti all'interno dell'agordino, il suo scopritore fu Deodàt de Dolomieu (1750 – 1801) e si riferisce ad una roccia composta da magnesio e da carbonato doppio di calcio. Le rocce che affiorano nelle dolomiti si sono formate il seguito ad un processo definito litogenetico che ben si differenzia dal processo orogenetico nel quale si assiste alla formazione delle montagne; questa distinzione è ben marcata appunto nel caso della dolomia visto che tra i due processi è intercorso un periodo di 100 – 150 milioni di anni. Come già accennato l'Alta Val Cordevole non è composta solo da dolomia ma in parte è anche di origine vulcanica.

La struttura geologica è legata alla presenza di estese lagune connotate da una forte attività organogena protrattasi per circa 60 milioni di anni, essa è avvenuta in più riprese formando gli estesi orizzonti carbonatici che in seguito sono diventati dolomia. Queste fasi, durate 60 milioni di anni, sono state intervallate da attività vulcanica che ha lasciato testimonianze visibili dalla presenza di rocce di tipo vulcanico.

L'agordino dopo aver subito agli inizi del quaternario il corrugamento dato dall'orogenesi, subì in epoca più recente un modellamento glaciale che ridisegnò i versanti lasciando l'attuale aspetto estremamente complesso e articolato.

Va osservata inoltre la geomorfologia del territorio in analisi; essa dipende da fattori endogeni ed esogeni che modellano la topografia della valle. I fattori esogeni per loro caratteristica hanno un'azione che agisce dall'esterno, tendono a diminuire i rilievi; essi corrispondono all'azione dell'acqua, della neve, del ghiaccio, del vento e non di meno dall'azione antropica; i fattori invece definiti endogeni sono il vulcanismo, la tettonica e gli eventi sismici.

Il bacino del Torrente Cordevole è caratterizzato da forti dislivelli tra il fondovalle e le cime più alte al cui interno sono presenti poche aree pianeggianti poste a quote elevate, in particolar modo sono presenti l'Altopiano del Sella e il Chertz. A nord, tra Arabba e il Passo Pordoi sono presenti invece depressioni vallive costituite per lo più da rocce erodibili e quindi facilmente alterabili da fenomeni di tipo esogeno che avvengono erodendo, trasportando e depositando materiale. I bacini dell'Ornella e del Davedino posseggono forme nette, ben incise con rocce mediamente compatte. La figura 4.12 riporta la carta geolitologica del bacino dell'Alto Cordevole dalla quale si possono notare le 8 classi presenti.

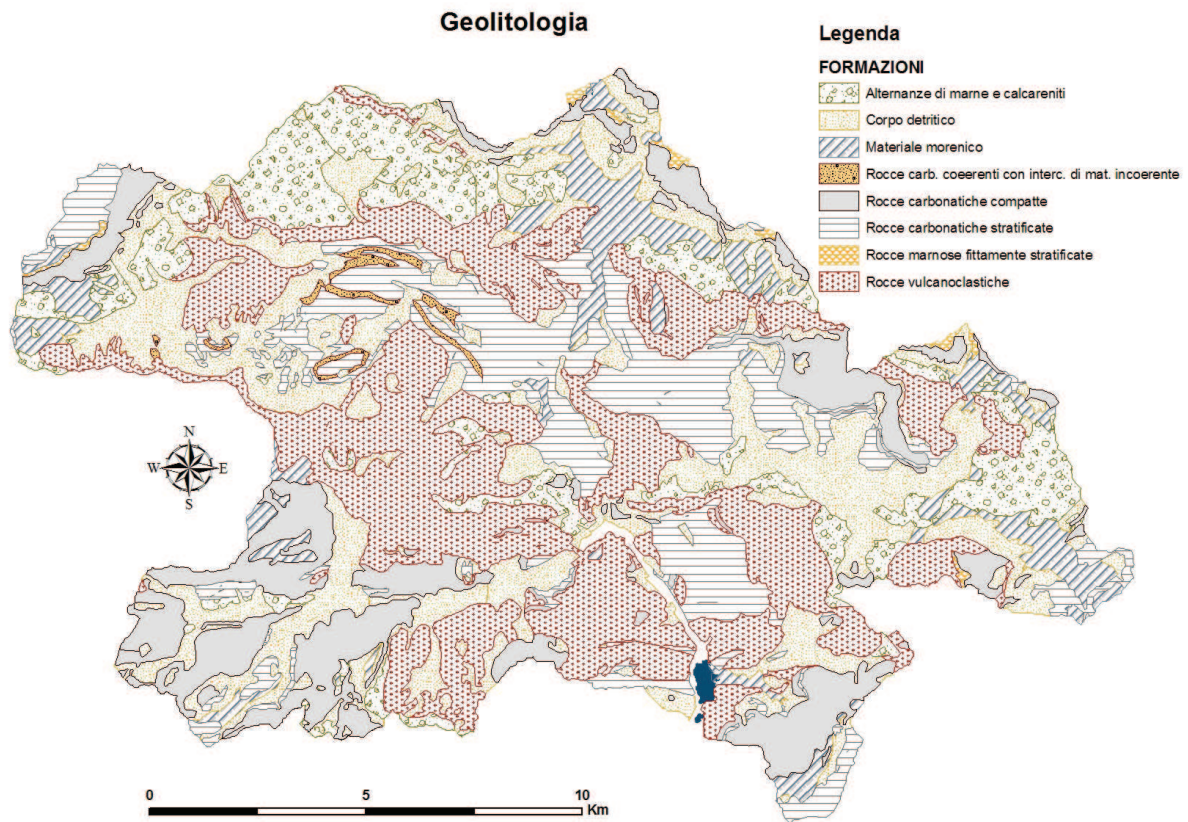


Figura 4.12 – Carta geolitologica del bacino del Cordevole chiuso a Masarè (da Rigon, 2009)

4.7 La frana del Monte Piz

In bibliografia sono presenti varie osservazioni geomorfologiche relative alla frana del Monte Piz avvenuta nel 1771 che ha causato la formazione del Lago di Alleghe; essa attualmente conserva in quasi tutta la sua integrità l'aspetto originario. La struttura litologica ed il forte dilavamento ha concesso solo in parte alla copertura vegetale di colonizzare il profondo scavo avvenuto con la frana. La frana che si è verificata è tipica da scivolamento, a questa caratteristica di base va sommato il fatto che l'autunno del 1770 fu contraddistinto da una forte piovosità; è stato però implicato anche un altro fattore che probabilmente ha facilitato l'instaurarsi di essa, si tratta infatti di un terremoto che si è verificato in quel periodo (Del Negro, 1990).

Considerando anche la parte sommersa dalle acque del lago, la frana ha un'estensione di circa 0.13 Km², con un'estensione lungo l'asse longitudinale di circa 1.6 Km. Il piano di scorrimento è visibile per un centinaio di metri, ha una pendenza di circa 40° con un'inclinazione sud-ovest, la vegetazione presente è prettamente di tipo pioniero. Tra la zona

di scorrimento e di accumulo della frana esiste una vasta depressione; l'accumulo è composto da massi di varie dimensioni che ricoprono le sponde del lago emergendo in qualche punto. La frana nella sua caduta non solo ha occluso la valle del Cordevole ma è anche risalita sul versante opposto per un centinaio di metri. Alla fine del secolo scorso si insediarono le prime costruzioni che formarono la frazione di Masarè. Questa disgrazia venne a seguito di una difficile situazione economica creata nel 1748 quando una forte piena del Torrente Cordevole distrusse buona parte delle officine e dei mulini presenti ai margini del torrente. In figura 4.13 è stata riportata una cartografia dell'area in cui si è formato il lago di Alleghe, essa risale al 1783.



Figura 4.13 – Cartografia di Alleghe del 1783(Istituto bellunese di ricerche sociali e culturali)

4.8 Eventi di dissesto

La costituzione morfologica del terreno descritta fino ad ora indica chiaramente l'erosione e l'instabilità che caratterizzano il bacino del Torrente Cordevole. Sul Torrente oggetto di studio si nota che prevalentemente si verificano erosioni del fondo e delle sponde e lo scalzamento di opere costruite dall'uomo. Nella valle del Torrente Cordevole sono presenti

i segni di passate erosioni e di accumuli di frane antiche, questo sta ad indicare che il bacino riporta gravi forme di instabilità. Per contrastare i dissesti che si verificano periodicamente nel territorio, sono state predisposte opere strutturali come opere di difesa spondale e briglie. L'evento che ha scatenato la necessità di intervenire sul territorio anche se non sempre in modo adeguato fu l'alluvione del 1966.

Il disastro del 1966 fu di notevole rilevanza in tutta la Provincia di Belluno. Le cause dell'alluvione avvenuta il 4 novembre del 1966 vanno ricercate nella concomitanza di molteplici fenomeni meteorologici; nel corso di poche giornate si alternarono nevicate precoci ed abbondanti ad alte quote, piogge prolungate su terreno già impregnato d'acqua, sbalzi di temperature e venti caldi anomali per la stagione. Verso la fine di ottobre le cime delle montagne erano tutte innevate quando incominciò a piovere senza interruzione, si verificò quindi un innalzamento della temperatura che fece sciogliere la neve in alta quota aumentando a dismisura la portata dei torrenti e innescando quindi il trasporto solido di fondo e il trasporto del LW. Con l'occlusione delle luci dei ponti collassarono le loro pile facendo cedere l'intera struttura. Nella giornata del 4 novembre si raggiunse il culmine in ciascuno dei 16 comuni dell'Agordino, furono interrotte tutte le strade ed ogni mezzo di comunicazione; la principale via di comunicazione era la Statale Agordina, essa fu erosa in Località Miniere per circa 700 metri dal Torrente Cordevole. Anche le comunicazioni tra Agordo ed il resto della vallata furono interrotte a causa di numerose frane e smottamenti lungo la Statale. Solo due giorni dopo il maltempo cessò e fu possibile constatare l'entità dei danni subiti.

Il verificarsi di questa alluvione ha messo a nudo le effettive criticità presenti nella vallata, ha evidenziato i punti di maggior vulnerabilità ed in seguito a questa disgrazia l'intervento umano ha cercato di mettere in sicurezza le criticità evidenziate.



Figura 4.14 – Erosione della Statale Agordina il Località Miniere nel corso dell'alluvione 1966. (Istituto bellunese di ricerche sociali e culturali)



Figura 4.15 – Centro abitato di Caprile, alluvione 1966. (Istituto bellunese di ricerche sociali e culturali)

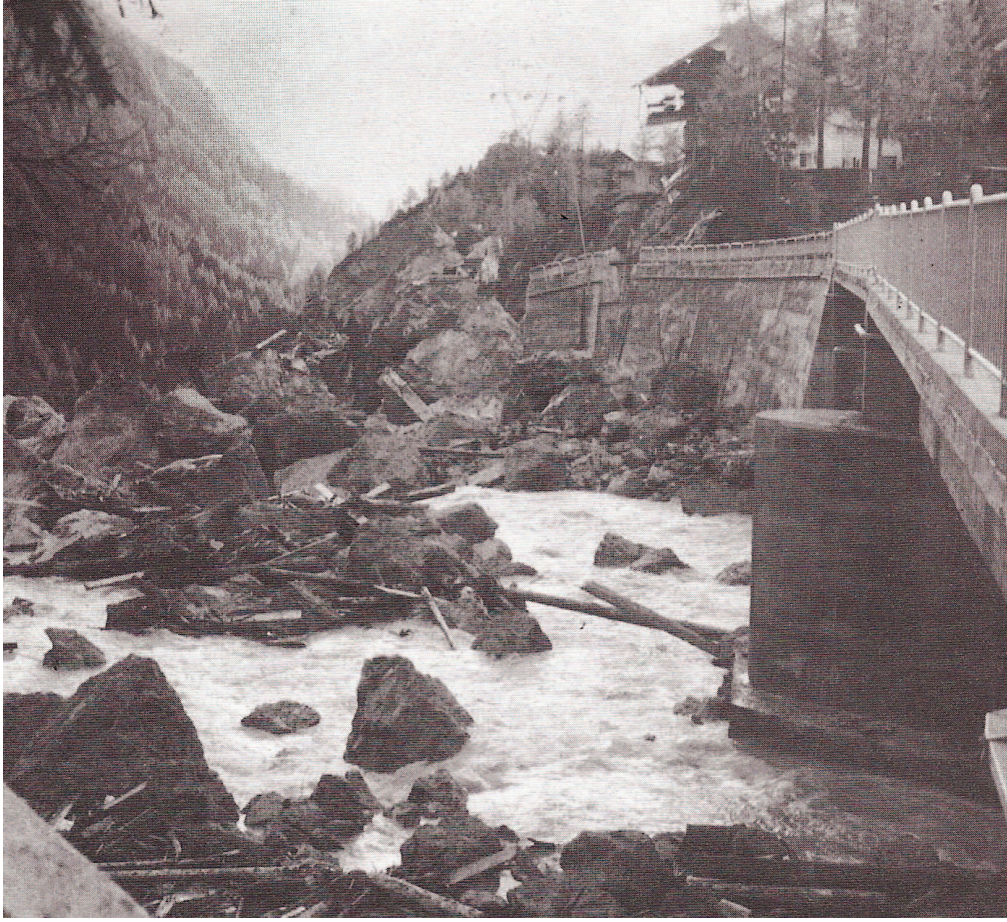


Figura 4.16 – Ponte di Masarè a valle del lago di Alleghe, alluvione 1966. (Istituto bellunese di ricerche sociali e culturali)



Figura 4.17 – Caprile, ponte sulla Statale Agordina, alluvione 1966. (Istituto bellunese di ricerche sociali e culturali)

4.9 Storia

Vista la morfologia del territorio dell'Alto Cordevole, in epoca antica queste zone erano frequentate solo temporaneamente per lo scopo della caccia; è stato infatti ritrovato su Passo Giau nei pressi di Mondeval, uno scheletro umano assieme a dei resti di rudimentali attrezzature per la caccia appartenenti all'epoca mesolitica. L'area dell'Alto Agordino fu colonizzata in modo permanente solo durante il periodo medioevale prevalentemente da boscaioli e cercatori di minerali provenienti da est, precisamente dalla Valle del Boite; questa zona cominciò quindi lentamente a mutare con il taglio dei boschi, la costruzione di abitazioni e stalle nei posti più soleggiati e accessibili e circa nel XIII secolo iniziarono le attività artigianali per il sostentamento della popolazione, si parla quindi prevalentemente di forni fusori e di mulini.

Come già accennato il territorio fu duramente messo alla prova dal verificarsi dell'alluvione del 1748 che distrusse molte abitazioni e attività artigianali poste sul greto del Cordevole, poi una forte modificazione morfologica avvenne con la formazione del lago di Alleghe causato dalla frana del Monte Piz. Il secolo successivo fu interessato anch'esso da numerose alluvioni, le più importanti si verificarono negli anni 1868, 1869, 1882, 1885, 1889, 1890 causando danni a persone e cose. Il secolo scorso oltre all'alluvione del 1966 che causò innumerevoli danni a tutti gli abitati dell'Agordino, la zona è stata segnata dall'azione della Prima Guerra Mondiale la quale ha interessato tutta l'area dell'Alta Val Cordevole; sono infatti presenti molte tracce del passaggio del conflitto, basti pensare alle gallerie del Lagazuoi ed ai segni del passaggio ancora presenti in Marmolada. Dal periodo post bellico iniziò a svilupparsi all'interno della vallata l'attività turistica; questa risorsa è attualmente di notevole importanza per tutta la zona dell'Alto Agordino.

5. ANALISI E RISULTATI

Lo studio ha riguardato il tratto del torrente Cordevole compreso tra il ponte di Digonera e la confluenza con il Torrente Ornella. Durante la fase di monitoraggio dello spostamento del legname è stato necessario ampliare l'area di analisi fino al lago di Alleghe (vedi capitolo precedente).

Successivamente alla descrizione dell'area di studio e alla spiegazione delle metodologie e dei materiali usati durante la fase di lavoro in campo, si riportano i dati ottenuti e le loro elaborazioni. Inizialmente viene riportata una breve analisi dell'andamento delle portate registrate alla stazione di Saviner dal 1990 ad oggi, con particolare attenzione al periodo in cui è stato fatto il monitoraggio della movimentazione degli LW. Si analizzeranno poi le proprietà qualitative e quantitative degli elementi legnosi "taggati" approfondendo in particolar modo la dinamica del LW, le dimensioni, lo stato di aggregazione, l'origine degli elementi, la deposizione e le eventuali rotture. I gruppi di dati ottenuti dai rilievi in campo sono stati analizzati congiuntamente tra loro per evidenziare nel capitolo finale quali sono le possibili relazioni tra le diverse variabili.

5.1 Valutazione dei dati di portata nella stazione di Saviner

Presso l'abitato di Saviner, in comune di Rocca Pietore, è presente una stazione idrometrica gestita dal servizio idrologico dell'ARPAV, la cui localizzazione è stata identificata nel capitolo 3 precisamente in figura 3.1. La stazione fornisce una documentazione oraria della portata espressa in m^3/s che transita sulla sezione di Saviner.

Avendo a disposizione la serie storica delle portate registrate dal 1990 ad oggi è apparso interessante osservare la variazione delle portate massime, medie e minime giornaliere che si sono verificate per oltre il ventennio. Su questo grafico di tipo azionario è stato inoltre riportato l'andamento del massimo, medio e minimo di portata mensile relativo al 2013; è stato poi creato separatamente un idrogramma di portata oraria relativo all'anno 2013 che comprende il periodo che va dal primo gennaio al 30 giugno. Nelle figure 5.1 e 5.2 si riportano i due grafici sopra menzionati.

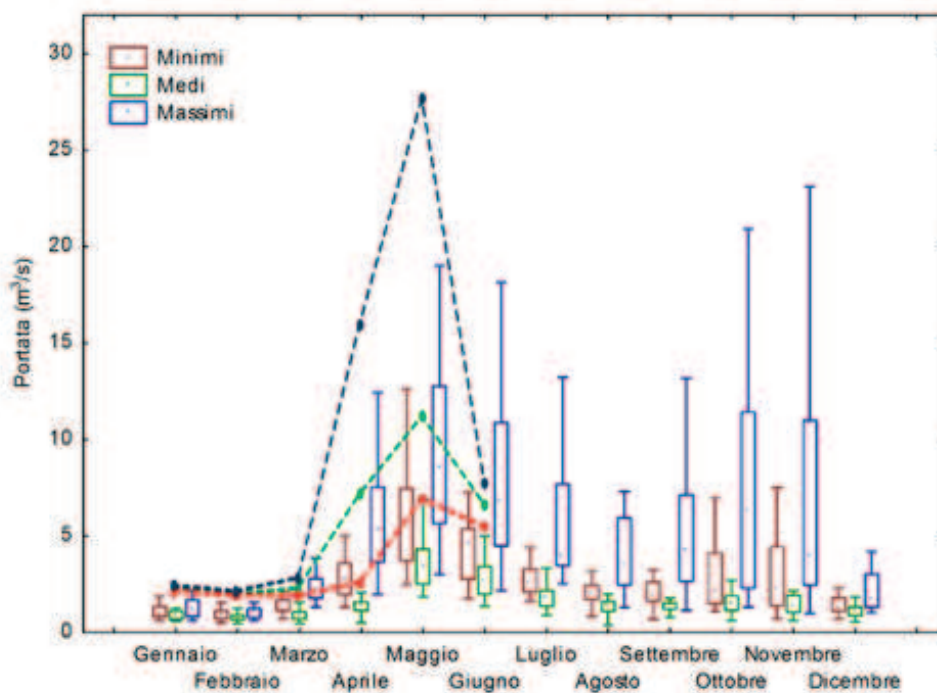


Figura 5.1 – Portate medie giornaliere del Torrente Cordevole registrate a Saviner. Minimi (rosso) medi (verde) e massimi (blu) di ogni mese per gli anni dal 1990 al 2012. I box rappresentano il 25° e 75° percentile, i baffi gli estremi, e i punti dentro i box il valore mediano. Le linee sono i valori registrati nei primi sei mesi del 2013

In figura 5.1 sono riportati i dati di portata giornaliera per gli anni dal 1990 al 2012 rappresentati in box plot, le linee invece mostrano l'andamento di portata misurato nel 2013, in entrambi i casi si parla di valori di portata minima, media e massima; si nota immediatamente la forte variazione di portata espressa in m^3/s registrata presso la sezione di Saviner. Osservando le tre categorie di portata si nota che sono presenti principalmente due picchi che si verificano uno a primavera quindi in corrispondenza dello scioglimento nivale e uno in autunno periodo in cui spesso si verificano molte giornate piovose. Durante i primi mesi dell'anno le portate minime, medie e massime si discostano di poco tra loro per poi arrivare ad aprile con un aumento dei valori massimi e minimi mantenendo comunque la portata media simile ai mesi precedenti. Mettendo in relazione i valori registrati nel 2013 con quelli relativi agli anni precedenti si nota che la portata di quest'anno segue l'andamento storico registrato, inteso come periodo di variazione delle portate, seppur riportando valori decisamente più alti di quelli registrati nell'ultimo ventennio per quanto riguarda la portata media e massima registrata nei mesi di aprile e maggio. In particolare il mese di maggio ha segnato una massima giornaliera di circa $30 m^3/s$, contro i $20 m^3/s$ massimi registrati dal 1990 al 2012.

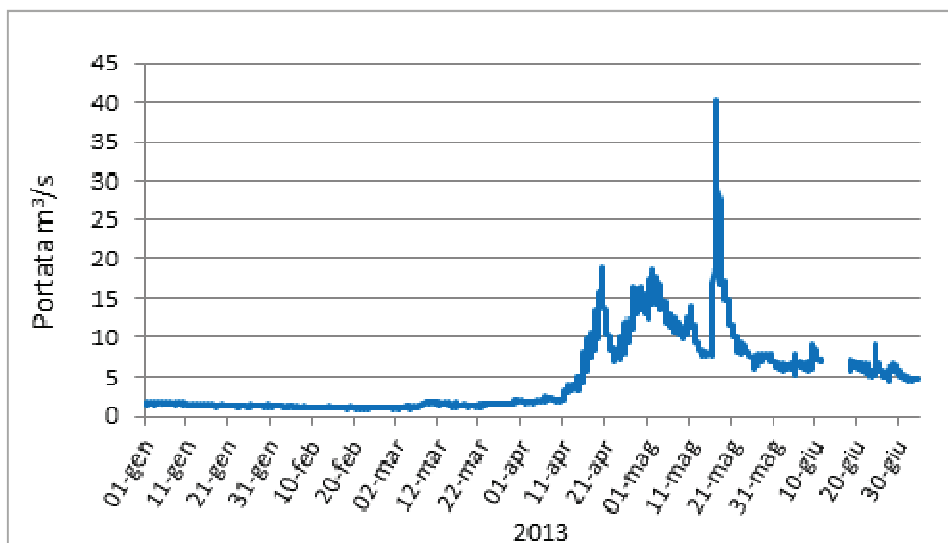


Figura 5.2 – Idrogramma orario del T. Cordevole registrato a Saviner dal primo gennaio al 4 luglio 2013

In figura 5.2 sono stati riportati i dati di portata oraria per i primi sei mesi del 2013. Appare subito evidente una discontinuità in corrispondenza del periodo che va dall'11 al 18 giugno probabilmente causata da un malfunzionamento della stazione idrometrica. Le portate utilizzate per la creazione del grafico derivano da una scansione oraria da parte della stazione di Saviner. Si nota una portata d'acqua relativamente bassa e costante durante i primi mesi dell'anno che subisce un progressivo aumento verso la seconda settimana del mese di aprile per arrivare al picco massimo dopo alcune oscillazioni il 17 maggio alle ore 14:00. Nei giorni successivi appare evidente un brusco calo della portata.

5.2 Analisi qualitative e quantitative del LW campionato

Per l'analisi delle caratteristiche qualitative e quantitative del materiale legnoso sono stati studiati i dati ottenuti dalla compilazione delle schede dei singoli elementi, dalle schede accumuli e dalla scheda di monitoraggio. I valori trovati sono analizzati congiuntamente per effettuare delle considerazioni sui risultati. In tabella 5.1 si riporta la scheda di campo degli elementi in cui sono stati inseriti gli RFID interamente compilata.

Tag	Numero progressivo	RFID	GPS			L = Latifoglia C = Confiera	LOCALIZZAZIONE	T = Tronco C = Ceppaia	ORIENTAMENTO	ORIGINE	RAMI	STATO DEGRADAZIONE	INTERAZIONE CORRENTE	INTERAZIONE SEDIMENTI	DIMENSIONI			STATO AGGREGAZIONE	ORA e Note e foto
			N	E	Precisione (m)										DIAMETRO T (C) (cm)	DIAMETRO C (cm)	LUNGHEZZA (m)		
218	1	183396	46° 29' 15.35"	11° 56' 07.34"	6.2	L	M	T	30°	FL	ASS	V	/	/	19	/	1.18	S	10:04
219	2	183384	46° 29' 13.53"	11° 56' 10,79"	9.7	C	M	T + C	CM10°	FR - Ru	SN	M	/	/	17	/	6.60	A1	10:34
219	2	183384	46° 29' 13.53"	11° 56' 10,79"	9.7	C	M	C	CM10°	FR - Ru	SN	M	/	/	?	?	?	A1	10:34
220	3	183373	46° 29' 13.53"	11° 56' 10,79"	9.7	C	BF	T	10°	FR - Ru	ASS	M	/	/	12	/	1.30	A1	10:50
221	4	183392	46° 29' 12.08"	11° 56' 11.41"	12	C	D	T + C	CV 0°	FL	ASS	V	/	M	15	/	1.62	S	11:05
221	4	183392	46° 29' 12.08"	11° 56' 11.41"	12	C	D	C	CV 0°	FL	ASS	V	/	M	19	34	0.38	S	11:05
222	5	183367	46° 29' 11.99"	11° 56' 11.02"	12	C	D	T	30°	FL	SN	V	/	/	8.5	/	2.58	A2	11:19
223	6	183362	46° 29' 11.99"	11° 56' 11.02"	12	C	D	T	45°	FL	ASS	V	/	/	27.5	/	1.20	A2	11:29
224	7	183383	46° 29' 12.67"	11° 56' 10.85"	11	C	D	T	45°	FL	SN	V	/	/	33	/	1.54	S	11:43
225	8	183394	46° 29' 11.82"	11° 56' 12.13"	11	C	D	T	10°	FL	ASS	V	/	/	9	/	1.8	S	11:58
226	9	183399	46° 29' 07.63"	11° 56' 19.33"	7.5	C	BF	T	0°	FL	SN	V	/	/	24	/	2.90	S	12:43
227	10	183388	46° 29' 05.63"	11° 56' 20.69"	7.6	L	S	T + C	CM10°	FL	ASS	M	/	/	7	/	1.20	S	13:01
227	10	183388	46° 29' 05.63"	11° 56' 20.69"	7.6	L	S	C	CM10°	FL	ASS	M	/	/	9	27	0.40	S	13:01
228	11	183363	46° 29' 05.60"	11° 56' 20.74"	9	C	D	T	10°	FL	SN	V	/	/	23	/	2.20	S	13:09
229	12	183400	46° 29' 04.52"	11° 56' 22.62"	7.7	C	S	T	10°	FL	ASS	V	/	/	8	/	3.50	S	13:10
230	13	183376	46° 29' 04.04"	11° 56' 24.92"	6.9	C	S	T	0°	FR-DF	ASS - SPZ	M	/	/	17	/	8.10	A3	13:34
231	14	183374	46° 29' 04.04"	11° 56' 24.92"	6.9	C	D	T	0°	FR-DF	SN - SPZ	V	PS 20%	/	11	/	4.5	A3	13:48
232	15	183379	46° 29' 03.81"	11° 56' 25.47"	14	C	BF	T + C	CV 0°	FR-DF	SN - SPZ	M	/	/	13	/	3.80	A3	14:12
232	15	183379	46° 29' 03.81"	11° 56' 25.47"	14	C	BF	C	CV 0°	FR-DF	SN - SPZ	M	/	/	44	24	0.30	A3	14:12
233	16	183380	46° 29' 03.74"	11° 56' 26.38"	16	C	S	T	10°	FR-DF	SN - SPZ	M	/	/	8	/	3.10	S	14:34
234	17	183391	46° 29' 03.60"	11° 56' 24.31"	8.5	C	D	T	90°	FL	ASS - SPZ	V	PS 60%	/	17	/	2.70	S	15:02
235	18	183397	46° 29' 03.42"	11° 56' 24.53"	7	C	D	T	10°	FL	ASS - SPZ	V	PS metà	/	13	/	1.22	S	15:08
236	19	183369	46° 29' 03.30"	11° 56' 25.54"	6.4	C	S	T	75°	FR-DF	SN - SPZ	V	/	/	13	/	1.31	A4	15:21
237	20	183387	46° 29' 03.30"	11° 56' 25.54"	6.4	C	BF	T	10°	FR-DF	ASS	V	/	/	10	/	2.20	A4	15:35
238	21	183389	46° 29' 03.18"	11° 56' 26.17"	8.8	C	BF	T + C	CM 0°	FL	ASS - SPZ	V	/	/	13	/	2.25	S	15:43
238	21	183389	46° 29' 03.18"	11° 56' 26.17"	8.8	C	BF	C	CM 0°	FL	ASS - SPZ	V	/	/	13	42	0.36	S	15:43
239	22	183385	46° 29' 02.04"	11° 56' 29.55"	15	C	D	T	0°	FL	SN - SPZ	V	/	/	15	/	6.20	S	15:59
240	23	183370	46° 29' 02.04"	11° 56' 29.55"	15	C	D	T	45°	FL	ASS - SPZ	V	/	/	10	/	3.30	S	15:59
241	24	183378	46° 29' 02.61"	11° 56' 31.89"	13	C	D	T + C	CV10°	FL	ASS	V	/	/	10	/	1.80	S	16:29
241	24	183378	46° 29' 02.61"	11° 56' 31.89"	13	C	D	C	CV10°	FL	ASS	V	PS 30%	/	11	44	0.18	S	16:29
242	25	183366	46° 29' 00.87"	11° 56' 32.21"	13	C	D	T	10°	FL	ASS - SPZ	V	/	/	13	/	2.10	A5	16:40
243	26	183361	46° 29' 00.87"	11° 56' 32.21"	13	C	BF	T + C	CM 0°	FL	ASS - SPZ	V	/	/	16	/	4.10	A5	16:40
243	26	183361	46° 29' 00.87"	11° 56' 32.21"	13	C	BF	C	CM 0°	FL	ASS - SPZ	V	/	/	18	75	0.60	A5	16:40
244	27	183386	46° 28' 55.91"	11° 56' 35.40"	15	C	D	T	45°	FL	ASS	V	/	M	7	/	1.35	S	17:07
245	28	183364	46° 28' 59.01"	11° 56' 34.50"	16	C	D	T + C	CM 0°	SP	INT	M	PS 80%	/	14	/	4.5	S	17:29
245	28	183364	46° 28' 59.01"	11° 56' 34.50"	16	C	D	C	CM 0°	SP	INT	M	/	/	20	95	0.43	S	17:29
246	29	183375	46° 28' 57.18"	11° 56' 35.87"	30	C	D	T + C	CM 0°	SP	SPZ	M	PS 50%	/	15	/	10	S	17:41
246	29	183375	46° 28' 57.18"	11° 56' 35.87"	30	C	D	C	CM 0°	SP	SPZ	M	/	/	21	110	0.32	S	17:41
247	30	183381	46° 28' 55.6"	11° 56' 36.6"	35	C	D	T + C	CV 0°	FL	ASS - SPZ	V	PS 10%	/	14	/	4.40	S	17:49

Tag	Numero progressivo	RFID	GPS			L = Latifolia C = Confifera	LOCALIZZAZIONE	T = Tronco C = Ceppaia	ORIENTAMENTO	ORIGINE	RAMI	STATO DEGRADAZIONE	INTERAZIONE CORRENTE	INTERAZIONE SEDIMENTI	DIMENSIONI			STATO AGGREGAZIONE	ORA e Note e foto
			N	E	Precisione (m)										DIAMETRO T (C) (cm)	DIAMETRO C (cm)	LUNGHEZZA (m)		
247	30	183381	46° 28' 55.6"	11° 56' 36.6"	35	C	D	C	CV 0°	FL	ASS - SPZ	V	/	/	18	51	0.47	S	17:49
248	31	183368	46° 28' 53.82"	11° 56' 34.61"	36	C	D	T	90°	FL	ASS	V	/	/	9	/	1.75	S	18:01
249	32	183398	46° 28' 46.86"	11° 56' 49.10"	15	C	D	T	0°	FL	ASS - SPZ	V	PS 50%	/	31	/	0.55	S	18:24
250	33	183393	46° 28' 46.86"	11° 56' 49.10"	15	C	D	T	45°	FL	ASS - SPZ	V	/	/	11	/	2.11	S	18:30
251	34	183377	46° 28' 50.71"	11° 56' 43.80"	17	C	D	T + C	CM 0°	SP	ASS - SPZ	M	PS 50%	/	22	/	6.85	S	08:30
251	34	183377	46° 28' 50.71"	11° 56' 43.80"	17	C	D	C	CM 0°	SP	ASS - SPZ	M	/	/	33	64	0.73	S	08:30
252	35	161232	46° 28' 45.92"	11° 56' 49.06"	12	C	S	T	45°	FL	ASS - SPZ	V	PS 30%	/	12	/	2.40	A6	08:51
253	36	161233	46° 28' 45.92"	11° 56' 49.06"	12	C	D	T	45°	FL	SN	V	/	/	17	/	2	A6	09:00
254	37	161231	46° 28' 46.09"	11° 56' 49.20"	8.7	C	BF	T + C	CV 0°	FL	SN	V	/	/	9	/	3.25	S	09:15
254	37	161231	46° 28' 46.09"	11° 56' 49.20"	8.7	C	BF	C	CV 0°	FL	SN	V	/	/	14	53	0.44	S	9.15
255	38	161238	46° 28' 42.68"	11° 56' 55.35"	7.1	C	D	T	45°	FL	ASS	V	PS 30%	/	13	/	1.74	S	9.31
256	39	161240	46° 28' 39.09"	11° 56' 02.96"	9.3	C	D	T + C	CM 30°	FL	SN	M	PS 20%	/	14	/	1.75	S	09:47
256	39	161240	46° 28' 39.09"	11° 56' 02.96"	9.3	C	D	C	CM 30°	FL	SN	M	/	/	19	45	0.39	S	09:47
257	40	161235	46° 28' 38.3"	11° 57' 03.8"	12	C	BF	T	90°	RU	ASS	M	/	/	44	/	1.53	S	V 11:46
258	41	161239	46° 28' 30.04"	11° 57' 03.51"	8.2	C	BF	T	10°	RU	ASS	M	/	/	24	/	3.70	S	V 11:02
259	42	183365	46° 28' 37.3"	11° 57' 05.5"	7.4	C	S	T	90°	FL	ASS - SPZ	M	/	/	10	/	2.90	A7	V 11:49
260	43	183371	46° 28' 37.3"	11° 57' 05.5"	7.4	C	S	T + C	CV 45°	FL	ASS - SN	M	/	/	15	/	5.40	A7	V 11:25
260	43	183371	46° 28' 37.3"	11° 57' 05.5"	7.4	C	S	C	CV 45°	FL	ASS - SN	M	PS 5%	/	24	30	0.45	A7	V 11:25
261	44	183372	46° 28' 37.22"	11° 57' 04.80"	12	C	S	T	90°	FL	ASS - SN	M	PS 40%	/	17	/	5.50	SA7	V 12:21
262	45	183390	46° 28' 33.4"	11° 57' 04.94"	12	C	D	T + C	CM 10°	FL	SN	M	PS 20%	/	16	/	2.25	S	V 12:56
262	45	183390	46° 28' 33.4"	11° 57' 04.94"	12	C	D	C	CM 10°	FL	SN	M	/	/	25	72	0.39	S	V 12:56
263	46	161237	46° 28' 37.7"	11° 57' 04.6"	7.7	C	D	T	verticale	FL	SPZ1 - ASS	M	PS 10%	/	9	/	1.24	S	V 13:10
264	47	183395	46° 28' 35.64"	11° 57' 09.88"	18	C	D	T	45°	FL	APZ	M	PS 60%	/	10	/	2.10	S	11:05
265	48	161236	46° 28' 32.31"	11° 57' 14.31"	14	C	S	T	0°	FL	ASS - APZ	V	/	/	9	/	1.78	S	11:21

Tabella 5.1 – Scheda di campo con inseriti tutti i dati raccolti. Acronimi utilizzati: Localizzazione: D = dentro, M = marginale, S = sospeso, ST = step, Bf = Bankfull; Orientamento: CM = ceppaia monte, CV = ceppaia valle, ° rispetto alla corrente; Origine: FR = frana, SP = sponda, N = naturale, FL = fluitato, Ru = residui di taglio, DF = Debris Flow; Rami: INT = tutti i rami intatti, SPZ = alcuni rami spezzati, SN = solo nodi, ASS = assenti; Stato di degradazione: F = fresco, M = medio, V = vecchio, % di corteccia; Interazione con la corrente: S = sommerso, PS = parzialmente sommerso e % di sommersione; Interazione con i sedimenti: DP = deposito, SC = scavo, M = monte, V = valle, dimensione e tipo di sedimenti; Stato di aggregazione: S = singolo, A = accumulo.

5.2.1 Classe vegetazionale degli elementi legnosi monitorati

Come già precisato, la scelta degli elementi su cui inserire i trasmettitori RFID ha avuto come obiettivo principale quello di creare un campione rappresentativo dell'intera popolazione di LW presente nel tratto d'alveo del torrente Cordevole. Questo ha portato ad identificare elementi legnosi corrispondenti a specie vegetali diverse in base alla tipologia e proporzione presente in alveo; in questo elaborato è stata fatta la suddivisione tra conifere e latifoglie in quanto soprattutto in presenza di materiale degradato non è possibile identificare la specie di appartenenza. Per l'istallazione dei tag RFID sono stati identificati 48 elementi legnosi disposti sulla maggior parte del tratto in esame che presenta una lunghezza di 3206 metri. Non sono stati individuati elementi da campionare nel tratto in roccia a monte del ponte di Digonera.

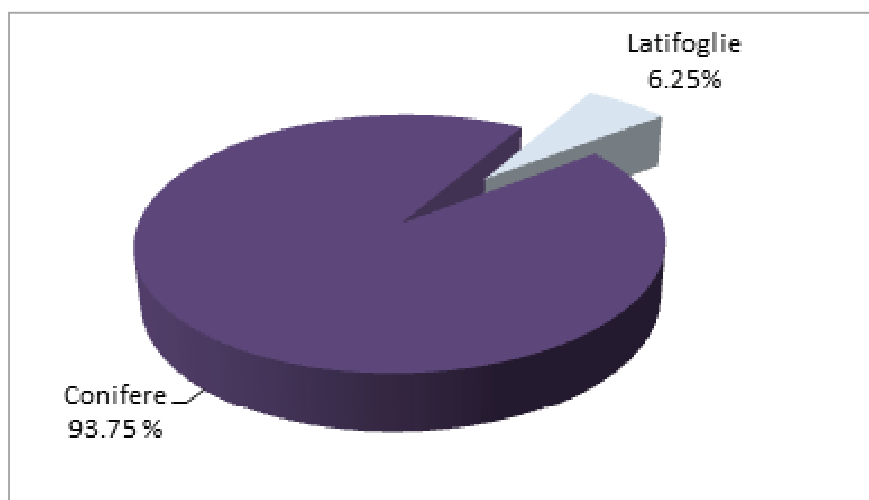


Figura 5.3 – Rappresentazione grafica della percentuale in classe vegetazionale del LW campionato

Nella figura 5.3 viene messa a confronto la percentuale di conifere e di latifoglie campionate. Su 48 elementi legnosi identificati solo 3 erano latifoglie, i restanti 45 appartenevano alle conifere; il rapporto percentuale tra i due è del 93.75 % contro il 6.25 % delle latifoglie.

Tra i 48 elementi campionati è stata fatta un divisione fra tronchi aventi ceppaia e tronchi senza ceppaia:

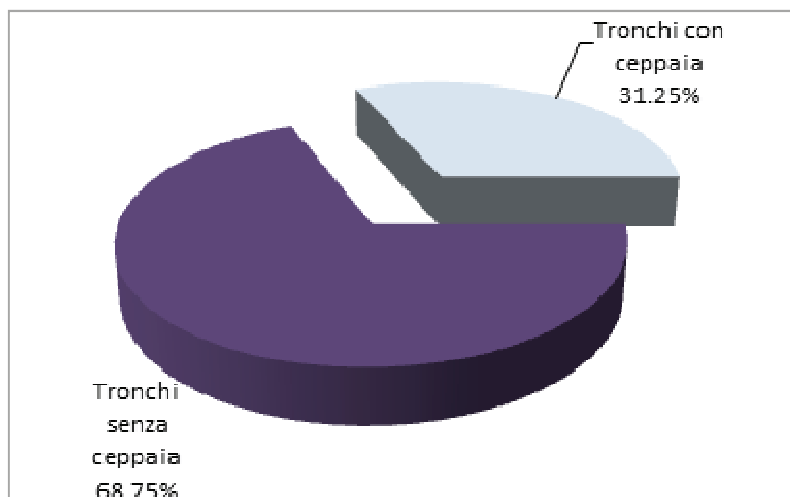


Figura 5.4 – Rappresentazione grafica della percentuale di LW composta sono da tronco o da tronco e ceppaia

Si osserva in figura 5.4 che quasi un terzo degli elementi legnosi campionati presenta il tronco provvisto di ceppaia. Su 48 elementi selezionati 33 erano provvisti di solo tronco mentre i restanti 15 presentavano anche la ceppaia con parte dell'apparato radicale. Anche questo valore rispecchia le caratteristiche del materiale presente in alveo.

5.2.2. Origine degli elementi legnosi

Durante i rilievi in campo è stata valutata l'origine del materiale legnoso in maniera da capire il fattore che lo ha fatto pervenire all'interno dell'alveo; nel caso in cui il LW abbia subito più processi che ne hanno permesso il movimento ad esempio entrata in alveo tramite erosione spondale e successiva fluitazione a valle è stato tenuto di riferimento l'ultimo fattore che ha originato lo spostamento.

Gli elementi che all'interno dell'alveo si presentano privi di corteccia e senza rami generalmente hanno subito fenomeni di fluitazione mentre il LW definito come residuo di taglio mostra segni evidenti di lavorazione da parte dell'uomo. La figura 5.5 riporta l'origine espressa in percentuale dei 48 elementi legnosi campionati.

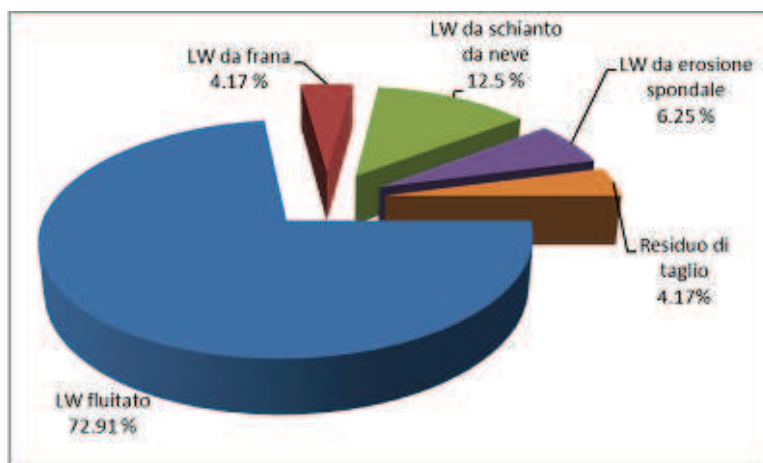


Figura 5.5 – Rappresentazione grafica dell’origine degli elementi campionati in relazione alla numerosità degli stessi

La distribuzione mostra una netta predominanza di materiale legnoso proveniente da fluitazione, si tratta infatti di 35 elementi che corrispondono ad un 72.91 % del totale. Sei elementi tra quelli campionati derivano da una valanga localizzata in sinistra idrografica la cui testa è entrata nell’alveo del torrente Cordevole ed essi rappresentano il 12.5 % del totale. Sono stati campionati 2 elementi per ognuna delle seguenti categorie: materiale originato da frana e rilasciato come successivo residuo di taglio, erosione in sponda sinistra e residuo di taglio da utilizzazione boschiva; queste tre categorie rappresentano singolarmente il 4.17 % del LW totale campionato. La presenza minore è data dagli elementi legnosi derivati da erosione spondale in destra idrografica, questi si può attribuire alla maggior presenza di tratti in roccia rispetto all’altra sponda del torrente Cordevole.

Vista la grande quantità numerica del materiale fluitato è apparso interessante verificare dal punto di vista volumetrico le proporzioni tra il legname derivato da diversa origine.

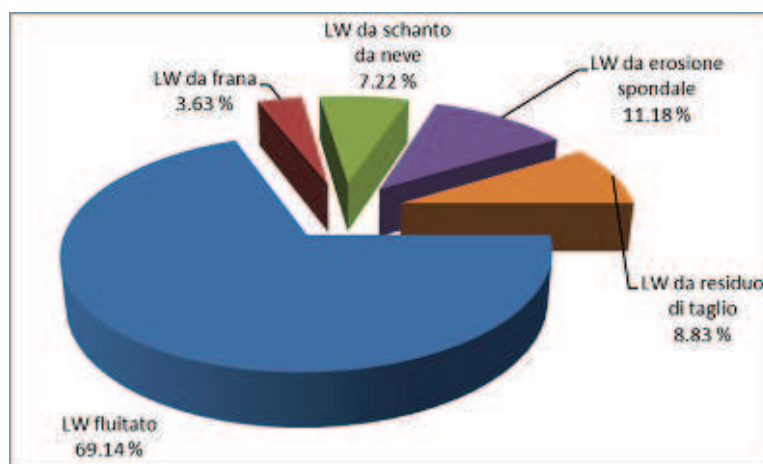


Figura 5.6 – Rappresentazione grafica dell’origine degli elementi campionati in relazione al volume degli stessi

In figura 5.6 si riportano nuovamente le proporzioni di materiale legnoso di varia origine; rispetto al grafico precedente è stata calcolata la volumetria degli elementi che costituiscono le varie categorie che esprimono l'origine del LW. Il volume di detrito legnoso fluitato corrisponde al 69.14 % del totale, il LW derivante da frana e successivamente da taglio interessa il 3.63 %, quello pervenuto in alveo in seguito ad un fenomeno valanghivo rappresenta il 7.22 %, l'erosione spondale in sinistra e in destra corrisponde complessivamente all'11,18 % ed infine il detrito legnoso derivato da residui di taglio rappresenta l'8.8 % del totale campionato.

È risultato interessante confrontare le figure 5.5 e 5.6; il paragone da indicazioni interessanti sul rapporto tra la numerosità ed il volume delle categorie di origine del materiale legnoso presente nel torrente Cordevole. Innanzi tutto osservando il materiale fluitato si nota una sostanziale diminuzione percentuale se si parla in termini di volume rispetto alla presenza numerica degli elementi sul totale campionato, questo può essere spiegato dal fatto che durante la fluitazione il LW trova spesso degli ostacoli e la forza idrodinamica dell'acqua spingendo tende a depezzare gli elementi e quindi li rende più numerosi ma di più piccole dimensioni, ma anche perché sono gli elementi più piccoli che tendono ad essere fluitati in corso di evento. Le percentuali rispetto al totale del LW da frana e residuo di taglio non si disconfermano di molto confrontando il rapporto di numerosità e poi volume. Gli elementi legnosi imessi da valanga riportano una presenza volumetrica nettamente inferiore rispetto alla presenza sul totale che se si valuta la numerosità, questo si può attribuire al fatto che durante il trasporto da parte della neve il LW tende a spezzarsi e quindi a costituire elementi legnosi più piccoli rispettando comunque le caratteristiche del LW. L'erosione spondale in termini numerici risulta maggiore in sinistra idrografica, osservando invece la proporzione dal punto di vista volumetrico risulta dare maggiore materiale legnoso all'alveo la sponda destra. Il LW derivante da residuo di taglio appare raddoppiato osservando la volumetria, questo perché è stato campionato botolame, quindi avente dimensioni diametriche importanti lasciato il loco probabilmente a seguito di un'utilizzazione boschiva.

5.2.3 Localizzazione

Il materiale legnoso all'interno dell'alveo ha la possibilità di distribuirsi in vari luoghi; per catalogare in modo chiaro la localizzazione del materiale in alveo è stata proposta come già spiegato una suddivisione della distribuzione in cinque categorie: dentro, marginale,

sospeso, step e bankfull. In figura 5.7 viene rappresentata la distribuzione del materiale legnoso all'interno dell'alveo.

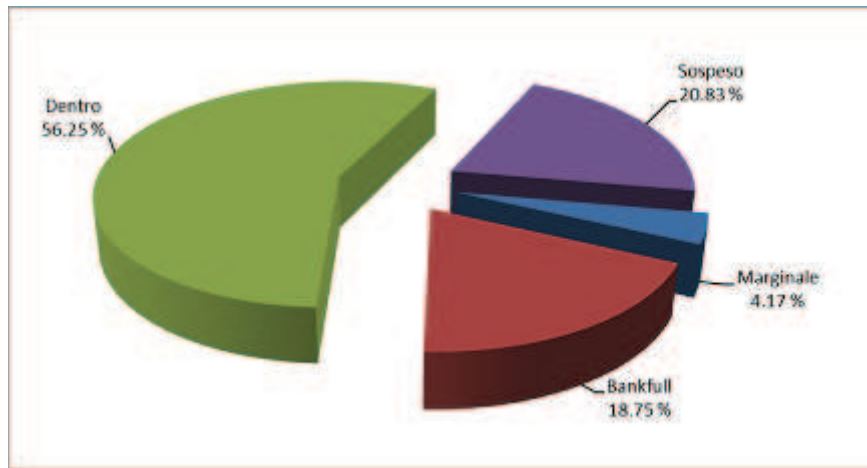


Figura 5.7 – Rappresentazione grafica della distribuzione numerica del LW campionato nel torrente Cordevole

In figura 5.7 appare rappresentata la localizzazione del legname monitorato nel tratto del Cordevole che va da Ornella al ponte di Digonera. La maggior parte degli elementi legnosi risultano distribuiti dentro l'alveo attivo del Torrente Cordevole e rappresentano il 56.25 %; il 20.83 % si trova sospeso, il 4.17 % è stato classificato come marginale ed un altro 4.17 % si trova sulla sponda (questi elementi corrispondono al botolame classificato come residuo di taglio) ed è stato inglobato nella categoria *bankfull* alla quale appartiene il 18.75 % del LW.

Come già proposto per l'origine del LW è apparso interessante osservare la localizzazione in termini volumetrici del materiale legnoso campionato all'interno del tratto in esame.

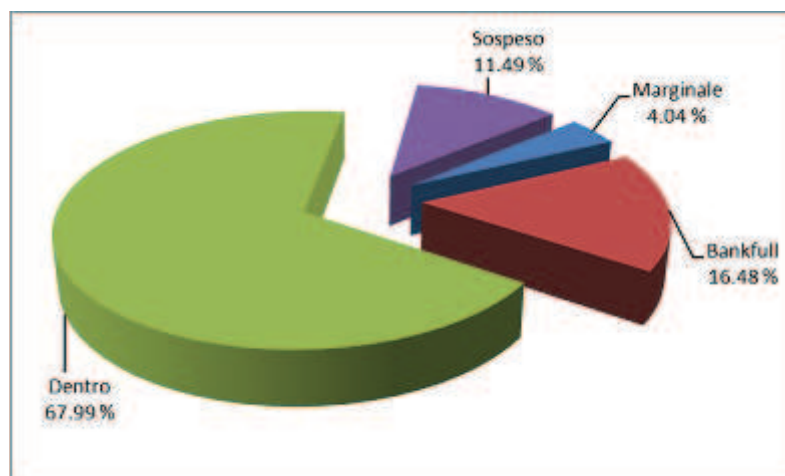


Figura 5.8 - Rappresentazione grafica della distribuzione volumetrica del LW campionato nel torrente Cordevole

Per creare la figura 5.8 è stato calcolato il volume degli elementi legnosi campionati ed è stato successivamente attribuito ad ogni localizzazione. Il volume totale degli elementi campionati corrisponde a 4,76 m³ e la maggior parte di esso si trova all'interno dell'alveo attivo riportando un valore di 67.99 % rispetto al totale. Il materiale sospeso è presente in termini volumetrici per un 11.49 %, il LW posto marginalmente corrisponde al 4.04 % mentre gli elementi posti a livello della *bankfull* riportano un volume pari al 16.48 % rispetto al totale.

Confrontando le figure 5.7 e 5.8 si nota che il detrito posto all'intero dell'alveo riporta un'importante volumetria rispetto al totale campionato, gli elementi classificati come sospesi hanno una volumetria che influisce in modo minore sul totale rispetto alla numerosità, gli elementi marginali presentano la stessa importanza sia a livello numerico che volumetrico, come pure per il LW a livello della *bankfull* in quale presenta un differenze percentuale di circa due punti fra le due valutazioni.

5.2.4 Stato di degradazione

Lo stato di degradazione può essere definito come un indice che permette di stimare il tempo di permanenza del legname all'interno del collettore. In questo elaborato sono state distinte tre classi di degradazione: fresco, medio e vecchio.

In figura 5.9 verranno presentate in termini quantitativi rispetto al totale le tre categorie sopra citate.

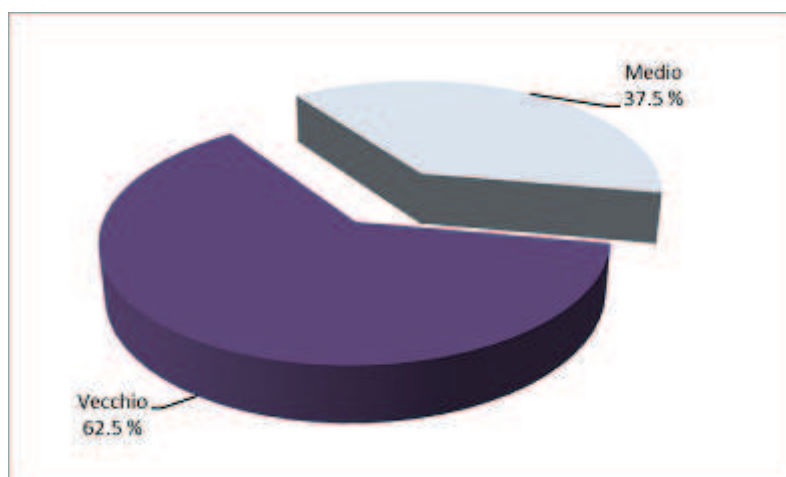


Immagine 5.9 – Rappresentazione grafica dello stato di degradazione espresso in numero di elementi del LW campionato

È evidente la mancanza della classe di elementi freschi, all'interno del corso d'acqua infatti non ne sono stati rilevati. L'abbondanza di LW identificato come vecchio indica una sua lunga permanenza a contatto con il corso d'acqua che si può stimare sicuramente come superiore a 2 – 3 anni. È stato fatto un confronto anche con i volumi del legname vecchio ed allo stato medio; in seguito si riporta la figura 5.10.

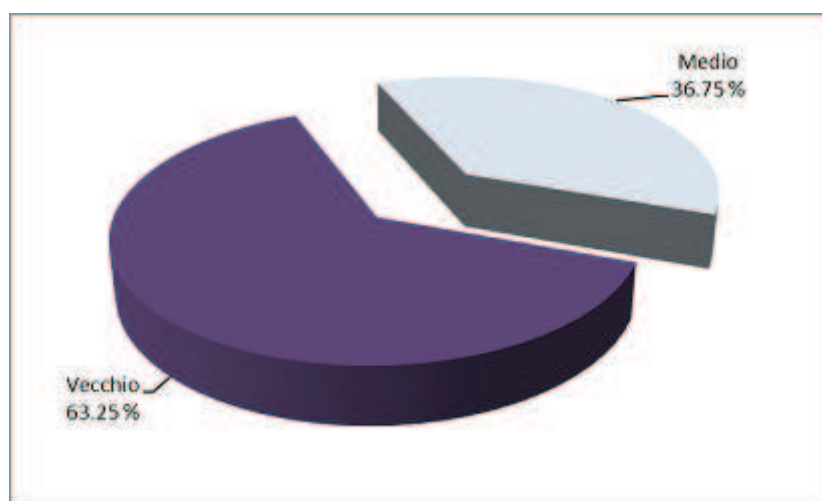


Figura 5.10 – Rappresentazione grafica dello stato di degradazione espresso volume degli elementi del LW campionato

Osservando i due grafici si nota che non c'è variazione di proporzione tra numerosità e volumetria tra le due categorie.

5.2.5 Orientamento

La movimentazione degli elementi all'interno dell'alveo è un'operazione molto complessa e che dipende da molteplici fattori. L'orientamento degli elementi legnosi si considera in relazione all'asse principale rispetto alla corrente; sono state create delle categorie espresse in gradi che comprendono gli elementi legnosi; nel caso in cui sia presente la ceppaia di essa è stato identificato l'orientamento semplicemente espresso come a valle o a monte.

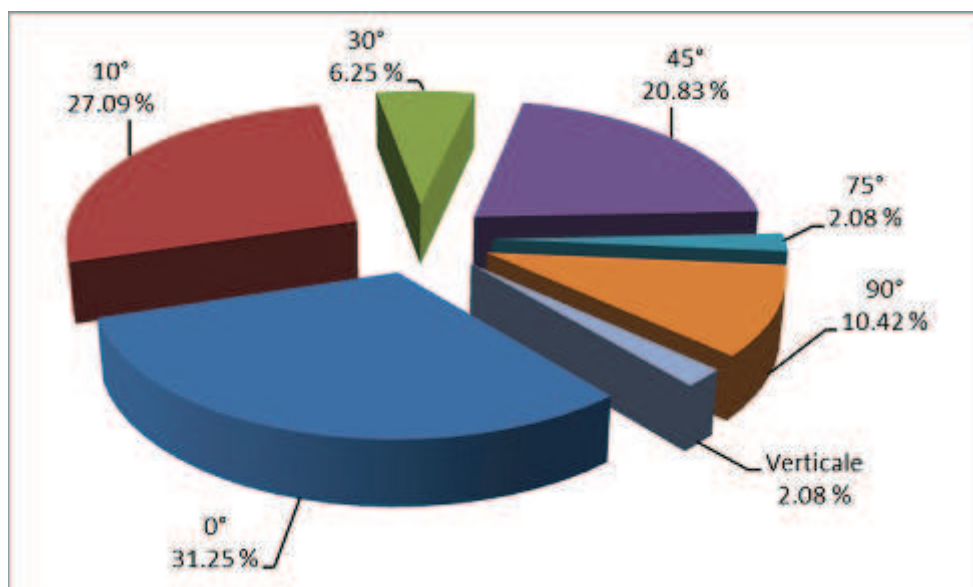


Figura 5.11 – Rappresentazione grafica dell'orientamento del LW campionato Percentuale riferita al numero

In figura 5.11 viene riportata la distribuzione degli elementi legnosi in relazione all'orientamento che hanno assunto nell'alveo al momento dell'istallazione dei trasmettitori RFID. Dall'analisi dei dati è apparso che 15 elementi legnosi pari al 31.25 % del totale sono disposti parallelamente al corso d'acqua, 13 LW che corrispondono al 27.09 % si trovano inclinati di 10°, 3 elementi sono inclinati di 30° e interessano il 6.25 % del totale, 10 elementi sono disposti a 45° e costituiscono il 20.83 % del totale, si ha un solo campione che risulta inclinato a 75° e rappresenta il 2.08 % come pure è stato campionato un solo elemento posto verticalmente rispetto alla corrente. Infine il 10.42 % del totale è costituito da 5 elementi disposti trasversalmente al corso d'acqua.

Dal campione osservato risulta quindi una tendenza del LW a disporsi parallelo al corso d'acqua, fatta eccezione per la significativa percentuale che tende a porsi obliquamente rispetto alla corrente.

In questo paragrafo appare interessante osservare anche l'orientamento che assumono le ceppaie all'interno dell'alveo, quindi se si dispongono rivolte a monte o rivolte verso valle.

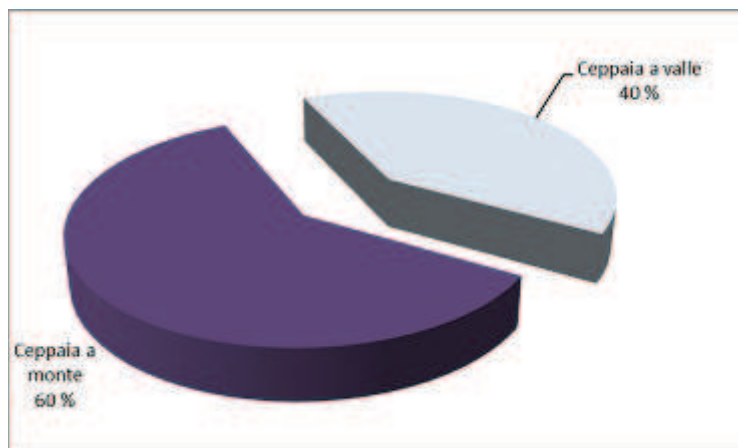


Figura 5.12 – Rappresentazione grafica dell’orientamento delle ceppaie all’interno del torrente Cordevole. Analisi fatta su 15 campioni che presentavano le radici. Percentuali riferite al numero.

La figura 5.12 si basa su 15 elementi legnosi che sono stati campionati e che possedevano anche la ceppaia. Si nota un maggior numero di ceppaie rivolte verso monte, infatti su 15 elementi di LW solo 6 presentano a ceppaia rivolta verso valle.

5.2.6 Stato di aggregazione

Come già accennato durante la prima fase di lavoro sono stati scelti anche degli accumuli su quali individuare del LW su cui inserire i trasmettitori RFID; il numero, le caratteristiche e la localizzazione degli accumuli scelti hanno lo scopo di rappresentare l’inteno campione presente nel tratto di studio.

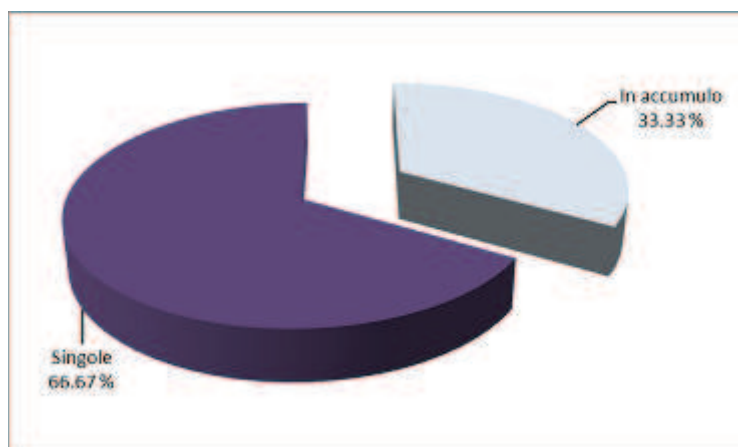


Figura 5.13 – Rappresentazione grafica dello stato di aggregazione del LW

In figura 5.13 è rappresentato in percentuale il numero di elementi legnosi campionati che al momento dell'installazione dei tag RFID erano disposti in accumulo e quelli che si trovavano singolarmente lungo in corso d'acqua. Considerando che gli elementi legnosi esaminati sono un campione rappresentativo dell'intero legname posto all'interno del Torrente Cordevole si nota che un terzo del LW presente tende a formare accumulo. Su 48 elementi campionati è risultato che 32 erano disposti singolarmente lungo il canale mentre 16 facevano parte di 7 accumuli.

5.2.7 Lunghezze degli elementi campionati

Anche nell'ambito delle lunghezze degli elementi osservati è stata fatta attenzione a scegliere un campione che fosse rappresentativo dell'intero legname presente nel Torrente Cordevole. A conferma di ciò si nota che è sono stati scelti anche elementi che non raggiungevano la dimensione minima per essere definiti LW.

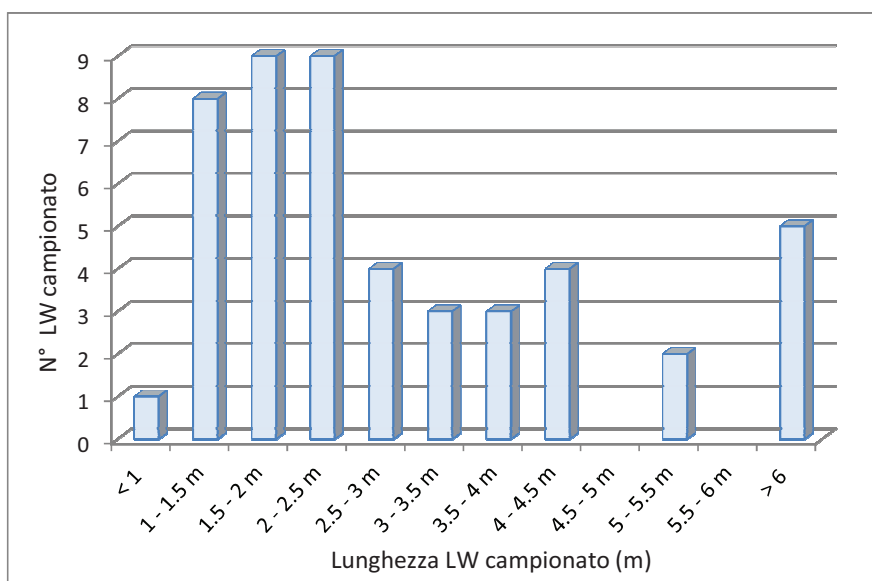


Figura 5.14 – Rappresentazione grafica della distribuzione delle lunghezze degli elementi legnosi al momento del campionamento

La figura 5.14 mostra la distribuzione delle lunghezze degli elementi campionati; 26 elementi osservati hanno lunghezze che variano da 1 metro a 2.5 metri e sono distribuiti abbastanza omogeneamente all'interno di questo range. È stato campionato un elemento che presenta lunghezza inferiore ad un metro, 4 LW lunghi tra 2.50 e 3 metri, 3 elementi tra 3 e 3.50 metri

e altrettanti tra 3.5 e 4 metri, 4 tronchi campionati presentano lunghezze tra 4 e 5 m, 2 tra 5 e 6 metri ed infine 5 hanno riportato lunghezze maggiori a 6 metri.

5.2.8 Diametri degli elementi campionati

Risulta interessante confrontare anche la distribuzione dei diametri dell'intero campione. Il diametro che si tiene in considerazione è quello misurato a metà lunghezza del LW, è stato rilevato un solo diametro nel caso in cui la sezione del tronco appariva abbastanza circolare, mentre nel caso in cui essa non apparisse regolare sono stati presi due diametri perpendicolari tra loro ed è stata fatta la media.

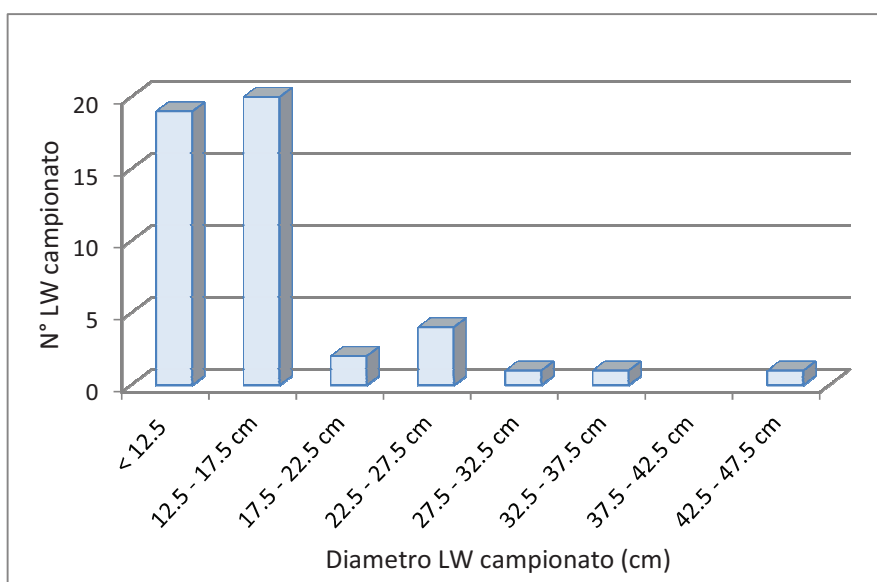


Figura 5.15 – Rappresentazione grafica della distribuzione dei diametri degli elementi legnosi al momento del campionamento

Sono presenti 10 elementi legnosi con diametro inferiore ai 10 cm essi corrispondono al 20.83 % del totale. Le categorie proposte rispettano le classi diametriche tipiche della dendrometria e della selvicoltura; si è partiti con la classe del 15 la quale comprende 20 elementi legnosi che corrispondono al 41.67 % del totale, al di sotto dei 12.5 cm è stata considerata come unica categoria avente 19 elementi che interessano il 39.59 %. La classe del 20 ha due elementi e corrisponde al 4.17 %, per la classe del 25 sono stati campionati 4 LW che rappresentano l'8.33 % del totale ed infine nelle classi del 30, 35 e 45 è stato campionato un singolo elemento per ciascuna. Si nota che non ci sono elementi legnosi che rappresentano la classe del 40.

5.3 Analisi qualitative e quantitative del LW movimentato

I risultati che verranno ottenuti in seguito derivano dalle osservazioni del materiale che è stato movimentato durante gli eventi piovosi avvenuti a maggio. Durante un evento c'è la possibilità che parte del legname presente all'interno del collettore venga movimentato e percorra un tratto più o meno lungo del corso d'acqua. Durante la fase di monitoraggio post piena sono stati rintracciati buona parte dei 48 elementi su cui erano stati inseriti i trasmettitori RFID: risulta che 25 elementi non sono stati movimentati durante l'evento di piena di maggio, 18 LW si sono mossi in corso di evento e sono stati trovati più a valle, mentre 5 elementi non sono stati rintracciati.

In seguito si riporta la tabella riassuntiva dei dati relativi al monitoraggio ed un grafico che mette in relazione il LW rimasto fermo, quello movimentato e ritrovato e quello che non è stato individuato.

Come già accennato per la fase di monitoraggio le nuove coordinate dei singoli punti sono state direttamente registrate sul palmare e non sulla scheda di campo.



Figura 5.16 – LW movimentato e ritrovato a monte della briglia fantasma

Tag	Numero progressivo	RFID	DISTANZA PERCORSATA (Km)	ROTTURE (Mis. Attuale)	MOVIMENTAZIONE ED EVENTUALE LOCALIZZAZIONE	AGGREGAZIONE	ORIENTAMENTO
218	1	183396	Fermo				
219	2	183384	Fermo				
220	3	183373	Fermo				
221	4	183392	6.215	No	A monte Briglia fantasma	/	/
222	5	183367	0.242	No	Marginale	Singolo	45°
223	6	183362	Mosso non ritrovato				
224	7	183383	0.031	No	Dentro	Singolo	45°
225	8	183394	0.622	No	Sponda sinistra	Accumulo	75°
226	9	183399	Fermo				
227	10	183388	Mosso non ritrovato				
228	11	183363	5.606	No	Dento	Singolo	90°
229	12	183400	1.328	No	Sospeso /Dentro	Accumulo	0°
230	13	183376	Fermo				
231	14	183374	Fermo				
232	15	183379	Fermo				
233	16	183380	0.012	No	Dentro	Singolo	90°
234	17	183391	0.579	No	Dentro	Accumulo	90°
235	18	183397	Fermo				
236	19	183369	Fermo				
237	20	183387	Fermo				
238	21	183389	Fermo				
239	22	183385	Fermo				
240	23	183370	1.411	No	Dentro	Accumulo	15°
241	24	183378	Fermo				
242	25	183366	Fermo				
243	26	183361	Fermo				
244	27	183386	Fermo				
245	28	183364	Fermo				
246	29	183375	2.102	Si (6 m)	Sospeso /Dentro	Accumulo	45°
247	30	183381	2.983	No	Dentro	Singolo	15°
248	31	183368	Mosso non ritrovato				
249	32	183398	Fermo				
250	33	183393	5.118	/	Dentro	/	/
251	34	183377	Mosso non ritrovato				
252	35	161232	1.566	Si (3 m)	Dentro	Singolo	15°

Tag	Numero progressivo	RFID	DISTANZA PERCORSA (Km)	ROTTURE (Mis. Attuale)	MOVIMENTAZIONE ED EVENTUALE LOCALIZZAZIONE	AGGREGAZIONE	ORIENTAMENTO
253	36	161233	4.992	/	Dentro	/	/
254	37	161231	Fermo				
255	38	161238	2.526	No	Sponda sinistra	Accumulo	0°
256	39	161240	4.748	/	Dentro	/	/
257	40	161235	Fermo				
258	41	161239	Fermo				
259	42	183365	Fermo				
260	43	183371	Fermo				
261	44	183372	4.200	No	Dentro	Singolo	30°
262	45	183390	Fermo				
263	46	161237	Fermo				
264	47	183395	8.197	No	Dentro	Singolo	15°
265	48	161236	Mosso non ritrovato				

Tabella 5.2 – Tabella riassuntiva dei rilevamenti effettuati durante la fase di monitoraggio

In tabella si nota che per tre elementi non è stato possibile rilevare eventuali rotture, lo stato di aggregazione e l'orientamento, questo perché il segnale dei tre LW è stato captato dall'antenna a monte della briglia fantasma ma essi non sono stati ritrovati probabilmente perché sono localizzati all'interno del deposito con pozza che si è formato a monte di suddetta briglia e difficilmente raggiungibile a piedi (figura 5.17).



Figura 5.17 – Pozza a monte della “briglia fantasma”

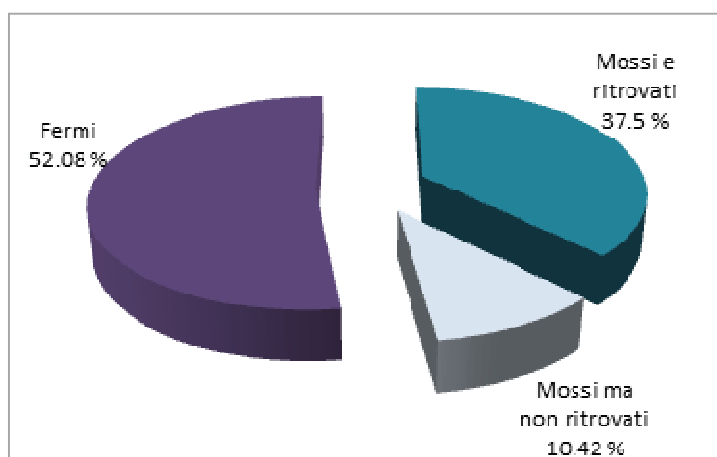


Figura 5.18 – Rappresentazione grafica del monitoraggio del LW

La figura 5.18 mostra che il 52.08 % del LW non è stato movimentato durante l’evento di piena, il 37.5 % è stato trasportato a valle ed è stato ritrovato grazie al monitoraggio effettuato con l’uso dell’antenna per la captazione del segnale e infine il 10.45 % degli elementi legnosi non è stato ritrovato, questo può essere dovuto alla rottura dei trasmettitori RFID, alla loro sommersione oppure al prelievo dell’elemento legnoso da parte dell’uomo.

La fase iniziale dell'elaborazione dati, riguardanti la localizzazione di installazione e la localizzazione di ritrovo in fase di monitoraggio del LW, ha richiesto l'uso del programma *ArcGis 10.1*. Grazie al rilievo delle coordinate tramite l'uso di GPS è stato possibile inserire all'interno della CTR le localizzazioni precise degli elementi al momento dell'installazione dei trasmettitori RFID e le nuove posizioni degli elementi che durante gli eventi piovosi sono stati trasportati più a valle. Successivamente alle localizzazioni dei punti è stato possibile misurare in cartografia la distanza percorsa da ogni singolo elemento. In seguito si riportano gli estratti degli elaborati GIS

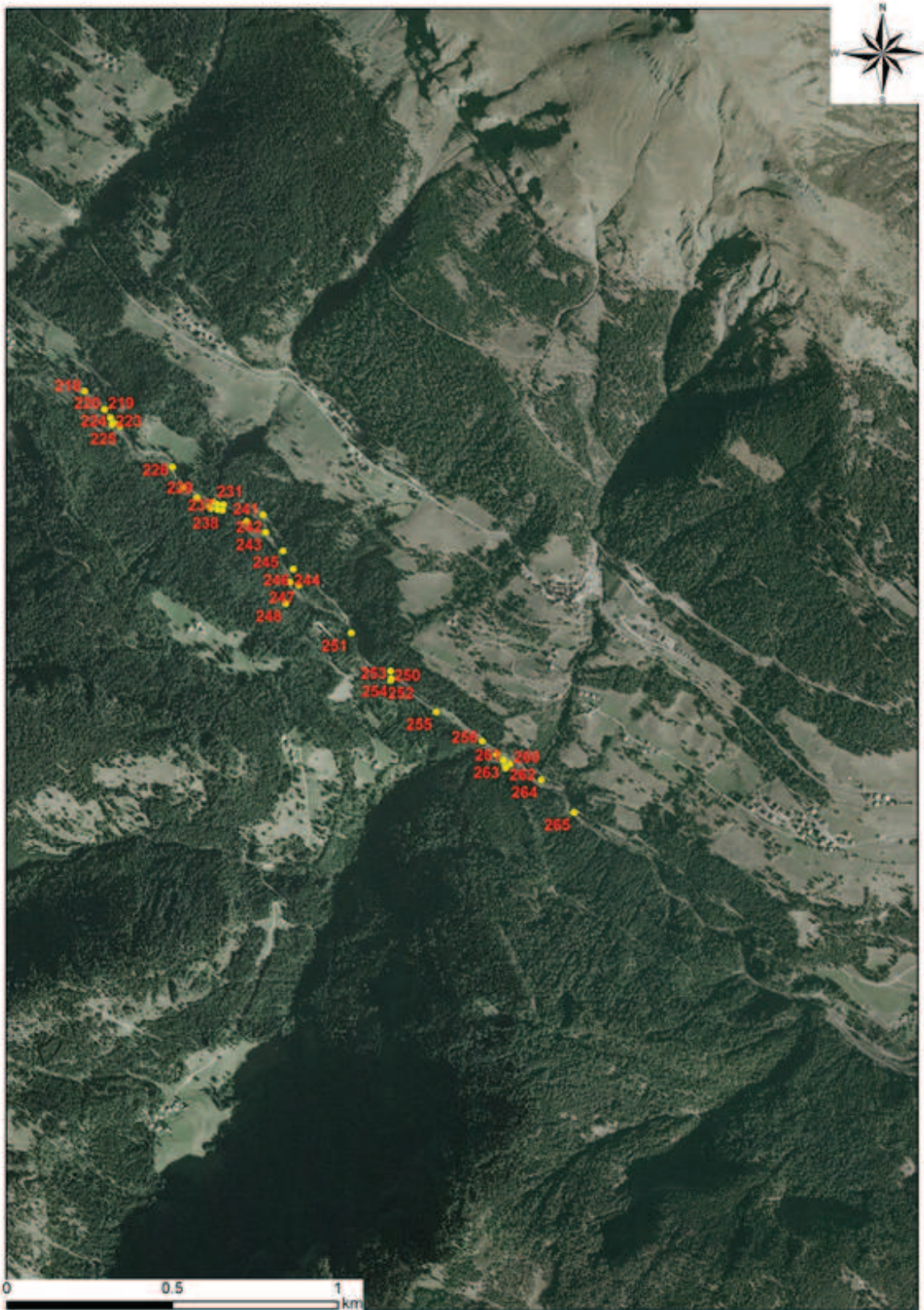


Figura 5.19 –Elaborazione *Gis* raffigurante la distribuzione degli elementi legnosi nel momento dell'installazione dei tag RFID



Figura 5.20 - Elaborazione *Gis* raffigurante la distribuzione degli elementi legnosi movimentati nel momento del monitoraggio post evento

Nelle figure 5.19 e 5.20 sono stati riportati rispettivamente i punti di installazione dei 48 trasmettitori RFID e i punti di ritrovamento del LW nella fase di monitoraggio. Le immagini elaborate con *ArcGis 10.1* permettono di individuare lo spostamento degli elementi legnosi che si è verificato durante l'evento di piena. In figura 5.20 si nota molto bene il tratto del collettore del Cordevole che è stato interessato dallo spostamento del legname ed appare evidente che parte del LW è stato trasportato per un tratto abbastanza lungo; su questa immagine in fondo a destra si vede il lago di Alleghe.

Osservando solo gli elementi che in corso di evento sono stati movimentati e successivamente ritrovati è stato possibile fare delle osservazioni sia quantitative sia qualitative che hanno interessato quindi 18 elementi su 48.

5.3.1 Lunghezza degli elementi movimentati

La lunghezza degli elementi mossi da informazioni importanti su cosa ci si può aspettare che arrivi a valle in seguito ad un evento piovoso di una certa entità. Sono state quindi riviste le lunghezze del LW interessato e poste in un grafico a dispersione per osservare se esiste relazione tra la lunghezza degli elementi e la distanza percorsa dal punto in cui sono stati campionati.

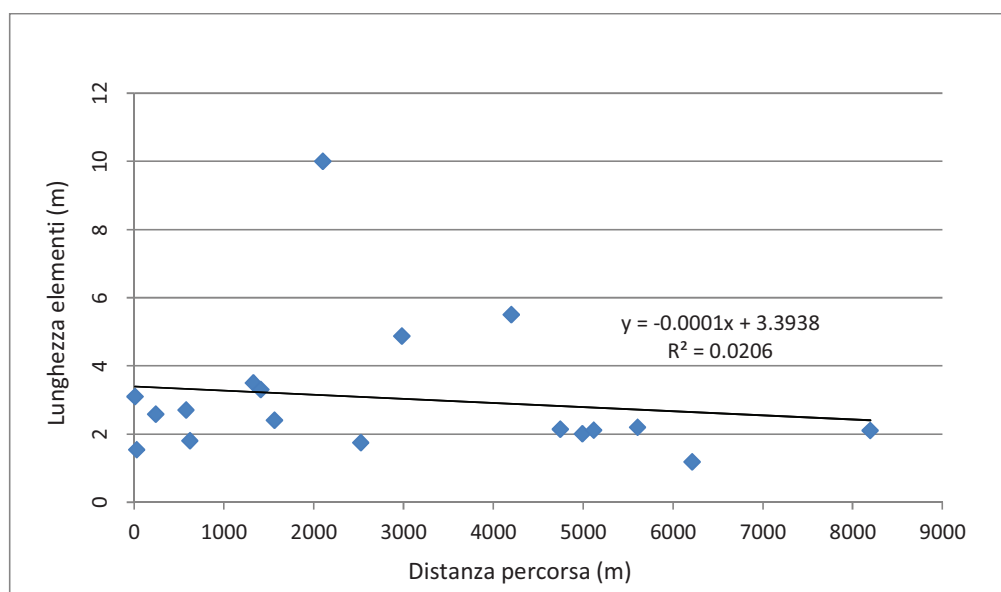


Figura 5.21 – Rapporto lunghezza degli elementi – distanza percorsa

In figura 5.21 sono state messe a confronto le distanze percorse dai singoli elementi fluitati in funzione della loro lunghezza di origine. Osservando i singoli punti non si nota una vera e propria correlazione tra questi due parametri; anche se si nota un aumento della distanza percorsa con il diminuire della lunghezza degli elementi mossi durante l'evento. Sono presenti tre dati che si allontanano di molto dalla linea di tendenza, essi fanno riferimento ad elementi di lunghezza notevole (superiore ai 4 metri), che si discostano di molto dagli altri movimentati. Si nota inoltre un altro elemento che ha percorso una notevole distanza pari a 8.179 km lungo il reticolo idrografico del torrente Cordevole arrivando fino al ponte che porta all'abitato di Santa Maria delle Grazie. I restanti elementi sembrano distinti in due gruppi, nel primo si nota che con una lunghezza degli elementi leggermente maggiore il LW tende a spostarsi verso valle con una distanza minore rispetto al secondo gruppo che avendo lunghezze inferiori percorre maggiore distanza nel momento in cui viene movimentato dall'acqua.

5.3.2 Diametro degli elementi movimentati

In seguito si mette a confronto la distanza percorsa dal LW in relazione al diametro di ogni elemento movimentato.

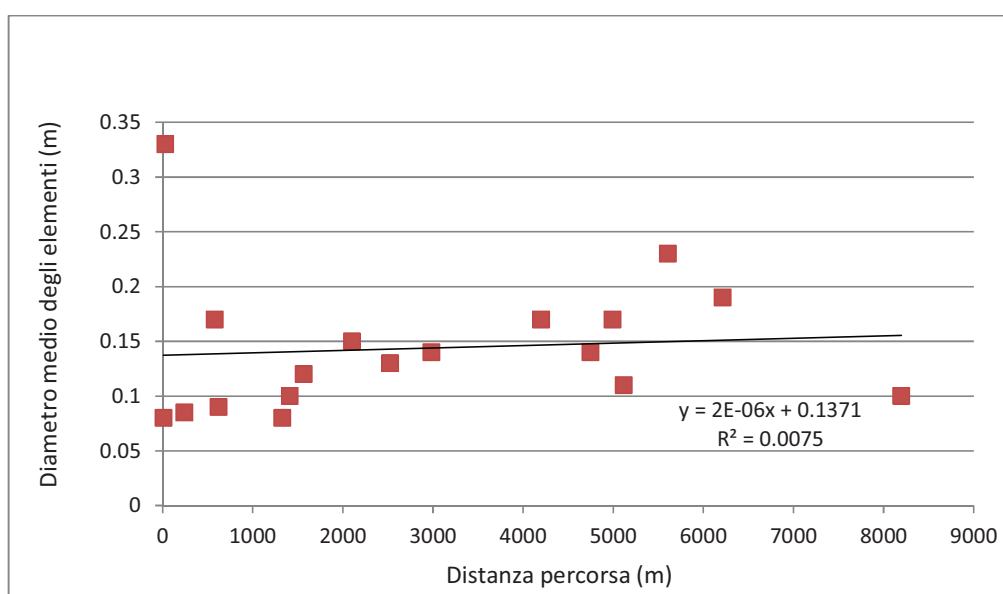


Figura 5.22 – Rapporto diametro degli elementi – distanza percorsa

In figura 5.22 sono stati inseriti i punti dei singoli elementi prendendo in considerazione le variabili diametro medio e distanza percorsa. Osservando la linea di tendenza si nota che all'aumentare del diametro la distanza percorsa dalle elemento aumenta. Dal grafico si osserva che fanno eccezione due elementi legnosi: il primo presenta un diametro di 33 cm e risulta essersi spostato solo di pochi metri rispetto alla posizione registrata durante l'istallazione dei sensori RFID mentre l'altro elemento è lo stesso precedentemente descritto studiando la lunghezza che riporta un diametro di 10 cm e risulta fluitato durante l'evento per più di 8 km. Gli altri punti evidenziano l'andamento leggermente crescente reso visibile anche dalla linea di tendenza.

5.3.3 Volume degli elementi movimentati

Si mette a confronto il volume degli elementi movimentati con la distanza da essi percorsa. Con questa osservazione si prova a capire se esiste una correlazione tra il volume di ogni elemento e la distanza che ha percorso durante l'evento di piena.

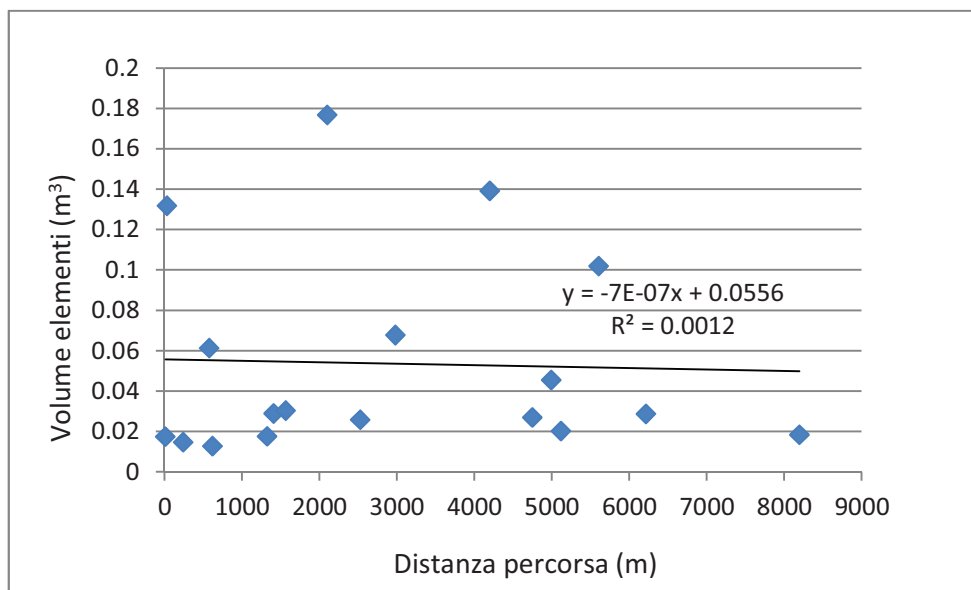


Figura 5.23 – Rapporto distanza percorsa e volume degli elementi

Osservando la linea di tendenza si nota che all'aumentare della distanza percorsa il volume degli elementi tende a diminuire. Son presenti 4 elementi che hanno un volume decisamente importante rispetto agli altri anche se non sembra che esso influenzi troppo la distanza percorsa in corso di evento. Si nota inoltre un elemento che ha percorso molto più tratto rispetto agli altri, si è spostato a valle precisamente di 8.197 km.

5.3.4 Stato di degradazione degli elementi movimentati

Appare interessante osservare anche lo stato di degradazione che hanno gli elementi che sono stati trasportati durante l'evento. In seguito si riporta la tabella dove viene messo a confronto lo stato di degradazione degli elementi con la distanza percorsa durante l'evento. Si sa infatti che a seguito della degradazione dei tessuti legnosi essi tendono a diventare più porosi, le proprietà meccaniche diminuiscono e cala anche il peso dell'elemento legnoso, con questo si presuppone che vengano trasportati con maggior facilità i tronchi più degradati.

Tag	RFID	Distanza (km)	Degradazione
221	183392	<u>6.215</u>	V
222	183367	0.242	V
224	183383	<u>0.031</u>	V
225	183394	0.622	V
228	183363	5.606	V
229	183400	1.328	V
234	183391	0.579	V
240	183370	1.411	V
247	183381	2.983	V
250	183393	5.118	V
252	161232	1.566	V
253	161233	4.992	V
255	161238	2.526	V

Tabella 5.3 – Distanza percorsa dagli elementi con stato di degradazione definito “vecchio”

Tag	RFID	Distanza (km)	Degradazione
233	183380	<u>0.012</u>	M
246	183375	2.102	M
256	161240	4.748	M
261	183372	4.200	M
264	183395	<u>8.197</u>	M

Tabella 5.4 – Distanza percorsa dagli elementi con stato di degradazione definito “medio”

Dalle due tabelle proposte si nota che 13 elementi sui 18 che si sono mossi presentano uno stato di degradazione vecchio, mentre i restanti 5 elementi sono stati classificati a

degradazione media; questo rispecchia quanto detto prima ossia che ha più possibilità di essere movimentato legname molto degradato. Osservando la distanza percorsa nelle due categorie si nota che non è evidente una correlazione tra essa e il tipo di degradazione presente.

5.4 Elementi legnosi non ritrovati

Come già accennato non è stato possibile ritrovare tutti gli elementi legnosi che si sono movimentati durante la piena. Per cinque di essi non si è riusciti a captare il segnale emesso dal trasmettitore. In seguito si riportano le immagini relative agli elementi legnosi non ritrovati.



Figura 5.24- Immagini relative ai LW in fase di installazione RFID, poi non ritrovati

Le immagini appartengono rispettivamente agli elementi legnosi con tag 223, 227, 248, 251 e 256. È interessante osservare le dimensioni dell'elemento legnoso con tag 251, sono evidenti le sue grandi dimensioni ed il suo non ritrovamento ha fatto pensare che sia stato levato dall'alveo ad opera dell'uomo, probabilmente dopo essersi staccato dalla sponda.

6. DISCUSSIONI

Nel precedente capitolo sono stati elaborati i dati raccolti durante le due fasi di campo; l'importanza nell'elaborazione è data dal fatto che permette di individuare dei punti di interesse che danno informazioni utili sullo stato attuale del corso d'acqua. Questo elaborato non ha previsto uno studio dettagliato della morfologia fluviale in quanto essa come già spiegato è già stata trattata in studi precedenti; esso ha voluto porre come obiettivo di lavoro il monitoraggio degli elementi legnosi posti all'interno di un tratto del collettore del Torrente Cordevole. I dati a disposizione riguardano i parametri quantitativi e qualitativi del LW campionato nel tratto di studio; come si apprende nel capitolo precedente essi sono stati messi a confronto fra loro e studiati in relazione alla portata del Torrente Cordevole registrata nella sezione di Saviner.

In fase di monitoraggio, avvenuta nel mese di giugno, si è constatato che parte del LW è stato movimentato; l'instaurarsi di questa mobilità va attribuito ad un evento di piena legato in parte allo scioglimento nivale ed in parte a precipitazioni che si sono verificate nel bacino idrografico sotteso.

Analizzando solo il periodo intercorso tra la fase di installazione e quella di monitoraggio dei trasmettitori RFID, ed osservando l'idrogramma di portata ottenuto dai dati forniti dall'ARPAV si nota che è presente un forte picco di portata che si è verificato il 17 maggio; appare quindi evidente visto l'importante volume d'acqua registrato in tale giornata fare riferimento ed esso per la movimentazione del LW. Il picco del 17 maggio è stato preceduto da altre portate importanti ma che si sono verificate prima dell'installazione dei trasmettitori RFID avvenuta a inizio maggio.

Questo lavoro di tesi è stato preceduto, nella stessa area di studio, da un lavoro eseguito da Zorzi (2007) che ha interessato l'analisi qualitativa e quantitativa del LW in alveo facendo maggior attenzione all'analisi degli accumuli legnosi presenti nello stesso; è stato quindi possibile porre a confronto i risultati ottenuti in questo elaborato con i dati presenti nel lavoro di Zorzi.

Nel capitolo precedente sono stati analizzati vari parametri osservati nella fase di installazione dei trasmettitori RFID ed in un secondo momento è stato trattato l'argomento principale di questa tesi, cioè il monitoraggio della movimentazione del LW nel Torrente Cordevole fino al lago di Alleghe. In questa parte verranno fatte delle considerazioni dei

risultati ottenuti dallo studio, facendo anche riferimento allo studio eseguito in precedenza da Zorzi.

6.1 LW campionato e variazioni qualitative negli ultimi 6 anni

Le variazioni qualitative del LW campionato si possono fare grazie ai dati derivati dalla tesi di Zorzi (2007). Il campionamento effettuato a inizio maggio 2013 ha interessato un maggior numero di conifere rispetto alle latifoglie, riportando un valore delle prime tipologie legnose pari al 93.75 %, valore che si discosta da quanto registrato 6 anni prima da Zorzi in cui le conifere rappresentavano il 77.48 %. Tale differenza potrebbe essere legata al fatto che il campione utilizzato in questo elaborato è stato selezionato e che quindi possono essere stati scartati elementi appartenenti alle latifoglie per le loro piccole dimensioni; osservando i versanti adiacenti al Torrente Cordevole si nota comunque una netta maggioranza di conifere. Dall'osservazione dell'area di studio, l'entrata di materiale legnoso in alveo può essere causata principalmente da tre fattori: erosione spondale, valanga e schianti da vento; nello studio proposto sono state individuate 5 categorie che esprimono l'origine del materiale legnoso in alveo, il dato più impattante riguarda il legname fluitato, esso infatti è pari al 72.91 % del totale campionato. Negli studi eseguiti da Zorzi (2007), nei quali anch'esso ha proposto una suddivisione in 5 categorie, il LW fluitato è pari ai 71.05 %; dai dati emersi nei due studi su può affermare che a distanza di 6 anni non si registrano variazioni percentuali per quanto riguarda il materiale fluitato, si può inoltre dire che anche la numerosità delle altre categorie non ha subito importanti variazioni dal 2007 al 2013. Il confronto indica quindi che nonostante in questo elaborato si tratti di un campionamento, gli elementi scelti rappresentano bene il totale degli elementi legnosi, riportando dati del tutto simili a quelli registrati 6 anni prima.

La presenza di ceppaia in quasi un terzo degli elementi campionati fa intuire il modo in cui il legname è pervenuto all'interno del collettore; si può ipotizzare quindi che esso derivi da erosione spondale che risulta essere presente in vari tratti dell'area di studio, prevalentemente in sinistra idrografica, nei tratti dove non sono presenti gabbionate poste come difese spondali (figura 6.1). La presenza di ceppaia si può avere anche in tronchi provenienti da schianti e da valanga, quindi derivati da aree più distanti rispetto alle sponde. Anche Zorzi (2007) durante le sue analisi ha distinto la tipologia di LW intesa come costituita da solo tronco, tronco e ceppaia o solo ceppaia. A questo proposito si nota che durante il

campionamento non sono stati “taggati” elementi formati da sola ceppaia, questo perché la loro presenza all’interno dell’alveo non è risultata essere incisiva; nel lavoro di Zorzi invece, viene fornito un dato relativo alla presenza di ceppaie, si nota infatti che esse costituiscono il 15.33 % del LW in alveo, valore addirittura superiore alla presenza di elementi con tronco e ceppaia. La presenza di questi elementi è sicuramente legata ad opere di “pulizia” degli alvei che tendono a depezzare le piante lasciando in alveo solo le ceppaie. La differenza numerica di presenza di ceppaie riscontrata tra le analisi di Zorzi e quelle effettuate in questo elaborato evidenzia il fatto che nel periodo intercorso tra i due studi la maggior parte delle ceppaie si siano movimentate in seguito ad eventi di piena.



Figura 6.1 – Erosione spondale che ha causato lo sradicamento di una pianta

L’origine degli elementi indica che la maggior parte del LW dopo essere entrato all’interno dell’alveo attivo del torrente Cordevole è stato movimentato tramite fluitazione durante eventi passati. Tali elementi potrebbero essere fluitati fino a sezioni critiche come ponti e causare danni strutturali agli stessi o fenomeni di ondata improvvisa (dam break). Tuttavia è stato dimostrato che la maggior parte del LW movimentato durante gli eventi di piena di maggiore intensità sono reclutati con fenomeni di smottamento dei versanti o delle sponde (frane o erosioni) che s’instaurano durante l’evento stesso (Rigon et al., 2012).

Durante le fasi campo eseguite per questo elaborato è stata notata una discreta presenza di materiale legnoso posto in accumuli proveniente da una valanga, al cui interno sono presenti anche elementi di grandi dimensioni; questi detriti sono posti vicino all’abitato di Ornella a

monte di tre ponti i quali in corso di evento se il legname venisse mobilitato potrebbero innescare seri problemi.



Figura 6.2 – Accumuli di legname in seguito ad una valanga

In corso di campionamento del LW è stata fatta attenzione anche alla sua localizzazione rispetto all'alveo del Torrente Cordevole, essa ha evidenziato che il 56.25 % degli elementi campionati risultano essere presenti all'interno dell'alveo e in minori percentuali sono disposti marginalmente, lungo la linea del *bankfull* e sospesi; dalle osservazioni effettuate da Zorzi (2007) si nota invece che quasi la metà del detrito legnoso, precisamente il 49.04 %, è posto marginalmente rispetto al Cordevole. Questa importante differenza tra le due osservazioni può essere influenzata dal fatto che in questo elaborato è stato analizzato solo un campione scelto tendenzialmente il più vicino possibile al corso d'acqua, oppure si può pensare che nell'arco dei 6 anni sia entrata una maggior porzione di legname all'interno dell'alveo, probabilmente quella che prima era posta marginalmente.

La localizzazione del legname attualmente interessa maggiormente l'interno dell'alveo attivo, questo conferma che il LW potrebbe mobilitarsi anche in seguito a piene non eccezionali portando il materiale a concentrarsi in accumuli più a valle.

Nonostante quanto detto fino ad ora si nota che la maggior parte del legname campionato riporta uno stato di degradazione definito vecchio, questo sta ad indicare che la permanenza del LW nel collettore del Torrente Cordevole supera sicuramente i 2 o 3 anni. Si può quindi

stimare che la mobilità negli ultimi anni sia stata assai bassa; questo viene confermato anche dai risultati ottenuti da Zorzi (2007) dove si nota che la maggior parte del LW è catalogato come vecchio, meno di un quinto presenta uno stato di degradazione medio e solo l'1.42 % è classificato come fresco.

Caratteristica molto importante relativa alla disposizione del legname in alveo è il tipo di accumulo, nel campionamento degli elementi su cui inserire i trasmettitori RFID si è cercato di dare rappresentatività al campione in relazione al totale del LW presente. Sono state quindi costituite due categorie che precisano la disposizione degli elementi legnosi, esse sono la categoria degli accumuli e quella degli elementi presenti singolarmente all'interno dell'alveo. Secondo quanto emerso in questo elaborato, gli elementi campionati sono disposti per il 66.67 % singolarmente ed il restante 33.33 % in 7 accumuli. Gli accumuli sono localizzati maggiormente prima dell'immissione del Torrente Davedino nel Cordevole.

Il tratto in esame è inoltre interessato dalla presenza di una centralina idroelettrica che utilizza l'acqua del Torrente Davedino, essa si trova poco a valle dell'immissione di questo Torrente all'interno del Cordevole; invece, poco a monte del ponte di Digonera, è presente l'immissione di acqua utilizzata da un'altra centralina idroelettrica. La presenza di questi aumenti di apporto d'acqua fa sì che la portata e il tirante all'interno dell'alveo aumentino improvvisamente in alcuni tratti localizzati e che quindi ci sia più movimentazione di detrito legnoso in corrispondenza di tali siti.



Figura 6.3 – Immissione dell'acqua utilizzata dalla centralina di Davedino

In fase di installazione dei trasmettitori RFID sono state rilevate le lunghezze e i diametri di tutti gli elementi legnosi oggetto di campionamento. Questo ha permesso oltre a facilitare il riconoscimento in fase di monitoraggio del LW anche l'effettuare delle considerazioni sulle dimensioni degli elementi legnosi presenti nel collettore. Si nota che le lunghezze dei tronchi campionati riportano nella maggior parte dei casi lunghezze fino a 3 metri, sopra tale lunghezza sono stati campionati 17 elementi; la lunghezza del LW rappresenta una misura importante, in quanto essa è dipendente dalla larghezza al Bankfull del corso d'acqua. All'interno del tratto di studio del Torrente Cordevole si nota infatti che le dimensioni del LW rispecchiano le caratteristiche dell'alveo e che quindi sono presenti elementi con lunghezze relativamente contenute.

Per quanto riguarda il diametro del LW campionato sono presenti maggiormente elementi che presentano valori inferiori a 17.5 cm; per garantire la rappresentatività del campione sono stati individuati anche 9 elementi che non raggiungevano il diametro minimo per essere considerati LW ma che comunque è sembrato importante inserirli all'interno del campione stesso.

6.2 Osservazioni di monitoraggio del LW

L'installazione dei trasmettitori RFID è stata fatta su 48 elementi legnosi campionati tra la confluenza del Torrente Ornella nel Cordevole e il ponte di Digonera, il monitoraggio della movimentazione è stato fatto successivamente all'evento di piena registrato il 17 maggio con una portata di ben 40.35 m³/s, valore che è apparso estremamente elevato per il tratto d'alveo in considerazione. Come già precisato in questo elaborato sono stati osservati i bollettini idrometrici disposti dall'ARPAV per la stazione di Saviner dal 1990 a giugno 2013, da essi è possibile notare che la portata scansionata il 17 maggio 2013 supera i valori registrati nell'ultimo ventennio in quanto sono stati messi a confronto i dati di portata del 2013 con quelli giornalieri registrati dal 1990 al 2012. Nonostante l'avvenimento di questo picco si riferisca ad un periodo in cui spesso sono presenti portate elevate, il valore riportato il 17 maggio appare comunque molto alto.

In fase di monitoraggio non è stato possibile ritrovare tutti gli elementi campionati, riassumendo i dati già precedentemente proposti, si può affermare che il risultato sommario del monitoraggio è quello rappresentato in tabella 6.1.

LW rimasto fermo	25
LW movimentato e ritrovato più a valle	18
LW non ritrovato	5

Tabella 6.1 – Risultato della fase di monitoraggio

In fase di monitoraggio il 52.08 % del LW campionato non ha subito spostamenti nel periodo intercorso tra l'istallazione e il monitoraggio dei trasmettitori RFID, il 37.5 % è stato ritrovato più a valle lungo il collettore mentre il restante 10.42% non è stato ritrovato durante il monitoraggio effettuato.

I parametri analizzati nel capitolo precedente, messi in relazione con la distanza di spostamento degli elementi legnosi riguardano principalmente la lunghezza, il diametro del LW e di conseguenza il suo volume.

6.2.1 Parametri quantitativi e movimentazione del LW campionato

Ora si considerano le lunghezze degli elementi legnosi in relazione al comportamento che hanno assunto nel periodo intercorso tra il campionamento e il monitoraggio.

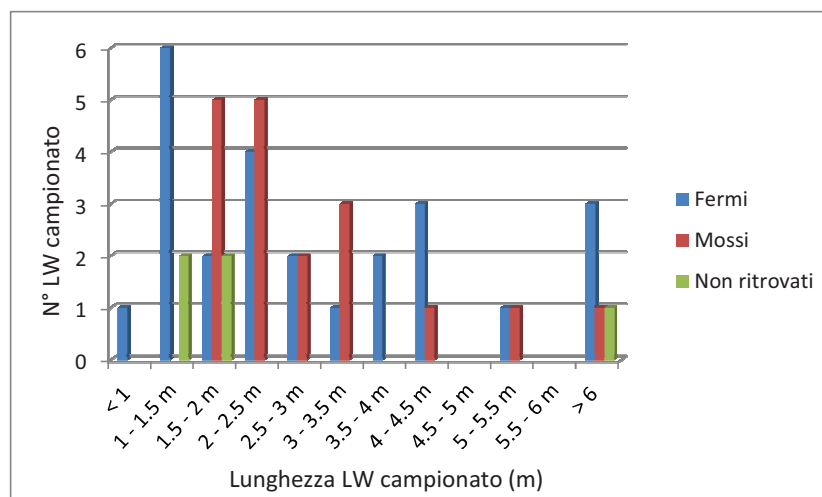


Figura 6.4 – Confronto della lunghezza del LW nelle tre categorie

Il LW campionato, in seguito alla fase di monitoraggio è stato classificato in tre categorie: fermo, mosso e non ritrovato; sono state inoltre riproposte le stesse classi di lunghezza usate precedentemente per permettere un facile catalogazione del legname. Osservando la figura 6.4 si nota che il LW rimasto nella posizione di istallazione ricopre tutte le categorie di lunghezza

proposte. Gli elementi che hanno subito movimentazione nel periodo in esame non ricoprono tutte le classi di lunghezza, si può però osservare che anche se sono assenti nelle classi fino a 1.5 m successivamente tendono a decrescere all'aumentare della lunghezza, ciò significa che sono stati trasportati a valle prevalentemente elementi con dimensioni minori; in altre parole sembra che la lunghezza degli elementi legnosi trasportati sia in relazione alla larghezza al *bankfull* del tratto analizzato. Il LW non ritrovato è rappresentato da 5 elementi legnosi, quattro che hanno lunghezze inferiori a 2 metri, mentre uno risulta essere lungo ben 6.85 m; non aver ritrovato un elemento di così grandi dimensioni fa pensare che esso sia stato tolto dall'alveo del Torrente Cordevole o manomesso da azioni antropiche. Altre cause di non ricezione del segnale di questi elementi potrebbero essere legate all'interrimento degli RFID o al malfunzionamento degli stessi per la non totale tenuta stagna degli involucri rugged. Si può quindi affermare che solo nel caso degli elementi che si sono mossi esiste una correlazione con la loro lunghezza; negli altri due casi non è possibile trovare una relazione.

Dopo aver osservato le lunghezze del LW vanno fatte delle considerazioni sui diametri presenti nelle tre categorie.

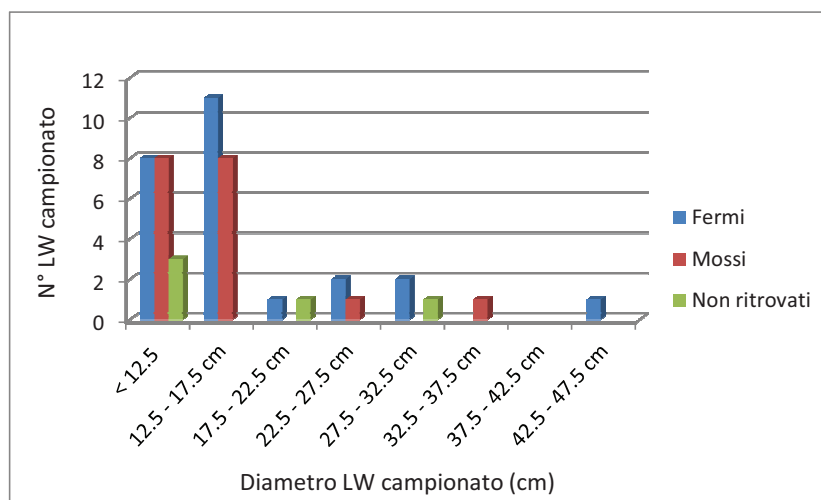


Figura 6.5 - Confronto del diametro LW nelle tre categorie

Gli elementi legnosi che durante il monitoraggio sono stati ritrovati nella posizione di installazione RFID risultano essere maggiormente presenti nella classi fino a 17.5 cm, presentando poi un brusco calo in presenza di diametri maggiori. Anche per quanto riguarda gli elementi ritrovati più a valle durante il monitoraggio e quelli non ritrovati si nota che tendono a seguire l'andamento visto per gli elementi rimasti fermi. Il fatto che le prime due classi di diametro siano maggiormente interessate dagli elementi legnosi è dato anche dal

motivo che in fase di campionamento sono stati taggati maggiormente elementi con dimensioni diametriche minori, questo per rendere rappresentativo del popolamento il campione esaminato. Si nota comunque che nelle classi più alte c'è maggior presenza di elementi rimasti fermi mentre, nella classi minori, tenendo anche conto del numero di LW presente nelle tre categorie è presente un sostanziale numero di elementi mossi in proporzione a quelli rimasti fermi.

Dopo aver analizzato la lunghezza ed il diametro degli elementi legnosi vanno fatte delle considerazioni relative al volume del LW nelle tre categorie di movimento.

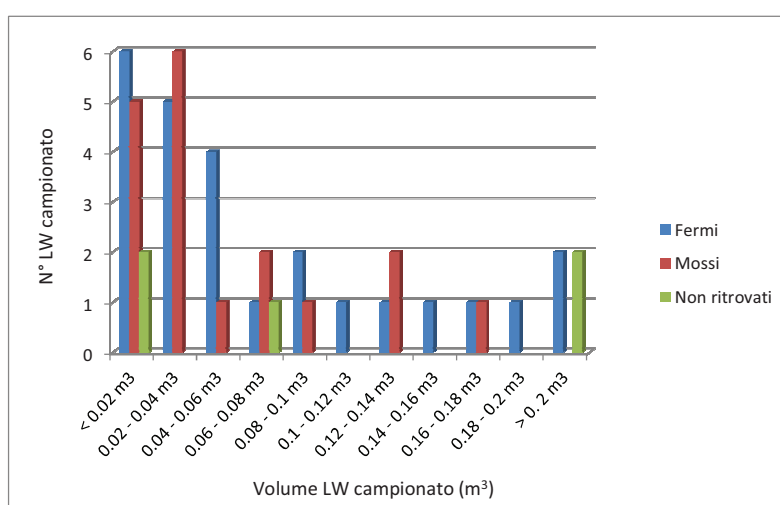


Figura 6.6 - Confronto del volume LW nelle tre categorie

In figura 6.6 si nota che sia per quanto riguarda gli elementi mossi che quelli rimasti fermi essi tendono a decrescere all'aumentare del volume; nel caso del LW non movimentato questo andamento segue una decrescita più regolare eccezione fatta per l'ultima classe dove sono presenti due elementi legnosi con volumi elevati che sono rimasti fermi, essi corrispondono a due botoli derivati da residuo di taglio e posizionati in sponda sinistra. Gli elementi legnosi che non sono stati ritrovati riportano volumi variabili, è interessante notare però che su un totale di 5 LW, 2 posseggono volumi appartenenti alla classe più alta dell'intero campione analizzato, infatti uno di essi corrisponde all'elemento legnoso con lunghezza di 6.85 m. Questo potrebbe avvalorare l'ipotesi di manomissione di tali elementi, perché molto più visibili degli altri.

Nel capitolo precedente ci è soffermati sulle distanze percorse dagli elementi legnosi in relazione al loro diametro e alla loro lunghezza, i grafici che hanno permesso di osservare questo rapporto sono presenti nelle figure 5.21 e 5.22.

Dall'osservazione delle linee di tendenza dei due grafici si nota che essi riportano dei risultati che sono in contrapposizione tra loro, infatti si nota che al diminuire della lunghezza del LW la distanza percorsa aumenta, mentre l'altra linea di tendenza indica che all'aumentare del diametro aumenta la distanza percorsa dagli elementi. La spiegazione che può essere data per l'andamento relativo alla lunghezza deriva dalla larghezza al bankfull del Torrente Cordevole; il tratto di studio interessato dal posizionamento dei trasmettitori RFID presenta una larghezza ed una morfologia d'alveo che non consente il trasporto di LW di notevoli lunghezze, infatti come si può notare in figura 6.7 l'alveo è spesso interessato dalla presenza di massi e barre che favoriscono l'arresto del materiale soprattutto di grandi dimensioni.



Figura 6.7 – LW bloccato all'interno dell'alveo

L'andamento evidenziato nel grafico relativo al diametro del LW può trovare risposta nel fatto che diametri maggiori ai quali corrispondono anche volumi maggiori, una volta movimentati tendono a continuare la loro fluitazione verso valle risentendo meno degli effetti che potrebbero favorirne la sosta all'interno dell'alveo.

Precedentemente si è parlato di LW che in fase di monitoraggio non si è riusciti ad individuare. Ci possono essere vari motivi alla base del non ritrovamento degli elementi legnosi; va precisato che durante il monitoraggio si è fatta estrema attenzione a ripercorrere i luoghi in cui erano stati installati i trasmettitori sul legname, quindi si esclude a priori che il LW non ritrovato sia rimasto fermo nel luogo di origine. Altre ipotesi che spiegano il non ritrovamento degli elementi legnosi vanno attribuite ai trasmettitori RFID, essi infatti durante il trasporto lungo il corso d'acqua potrebbero aver subito dei danni per cui non sono più in grado di emettere segnale, oppure si presuppone che gli elementi legnosi siano attualmente all'interno del lago di Alleghe per cui il segnale che trasmettono è troppo debole per essere captato durante il monitoraggio. Tra gli elementi legnosi non ritrovati uno possiede delle dimensioni notevoli, presenta infatti una lunghezza di 6.85 metri per un diametro di 22 cm; avendo percorso interamente in tratto d'alveo fino al ponte di Digonera e non avendo ritrovato questo LW si può escludere che esso abbia oltrepassato il ponte viste le sue grandi dimensioni, quindi l'ipotesi più plausibile del non ritrovamento è che esso sia stato tolto dall'alveo probabilmente perché fonte di potenziale pericolo in corso di evento.

In questo elaborato si è già analizzata la presenza di ceppaie nel legname campionato all'interno dell'alveo del Torrente Cordevole, esse principalmente favoriscono l'ancoraggio del LW all'interno del collettore e quindi a livello teorico dovrebbero subire meno spostamenti rispetto agli elementi legnosi privi di apparato radicale. È quindi utile osservare il comportamento del LW campionato in relazione alla presenza o meno di radici.

	N° totale	Tronco	Tronco + Ceppaia
Mossi	18	14	4
Fermi	25	16	9
Non ritrovati	5	3	2
Totale	48	33	15

Tabella 6.2 - Classificazione degli elementi con ceppaia

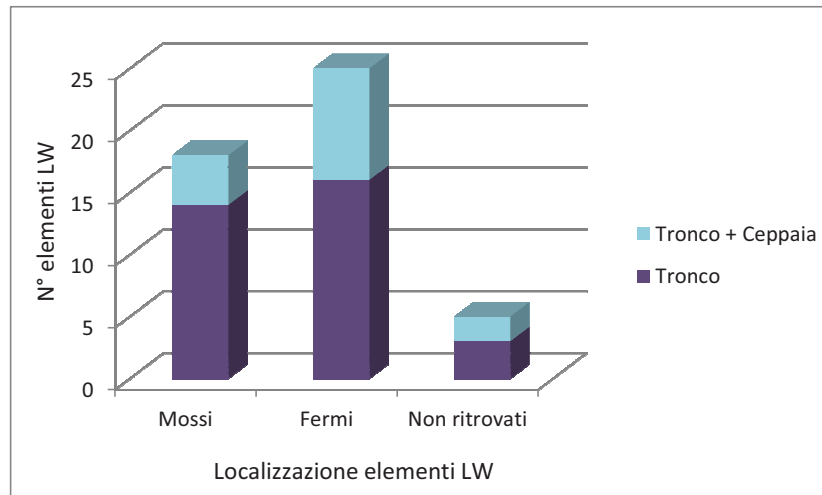


Figura 6.8 – Rappresentazione grafica del LW con e senza ceppaia

In figura 6.8 si osserva che la presenza di elementi con ceppaia è maggiore nella categoria del LW che non ha subito spostamenti, la quantità è pari al 36 % del totale degli elementi rimasti fermi; è presente comunque anche un discreto numero di elementi mossi aventi l'apparato radicale, essi rappresentano il 22.22 % del totale degli elementi fluitati a valle. Per quanto riguarda il LW non ritrovato non si possono fare osservazioni in quanto sono solamente state formulate delle ipotesi sulla motivazione di non ritrovamento di tali elementi che non sono assolutamente correlate alla presenza o meno della ceppaia. Osservando esclusivamente gli elementi provvisti di ceppaia si nota che il 60% di essi non si mobilita in corso di evento, il 26.67 % viene fluitato a valle mentre il 13.33 % nel caso in esame non è stato ritrovato. Si può quindi affermare che gli elementi legnosi provvisti di ceppaia sono più difficilmente movimentati durante gli eventi di piena.

Ulteriori considerazioni sulla movimentazione potranno essere fatte quando si avranno a disposizione maggiori dati di fluitazioni in concomitanza con altri eventi di piena.

7. CONCLUSIONI

L'obiettivo di questo lavoro è stato quello di monitorare la movimentazione del *Large Wood (LW)* presente in un tratto del Torrente Cordevole; l'area oggetto di studio è localizzata in Comune di Livinallongo del Col di Lana, più precisamente tra il ponte di Digonera e l'immissione del Torrente Ornella. Le analisi effettuate nell'ambito di questo elaborato fanno parte di un programma di ricerca proposto dalla comunità europea denominato SedAlp ("Sediment management in Alpine basins: integrating sediment continuum, risk mitigation and hydropower"), questo progetto rientra nel programma di ricerca del Dipartimento Territorio e Sistemi Agro-Forestali dell'Università degli Studi di Padova.

In una prima fase sono stati selezionati ed analizzati da un punto di vista qualitativo e quantitativo gli elementi su cui successivamente sono stati inseriti dei segnalatori di posizione radio attivi (RFID). Questi dati sono stati successivamente elaborati per osservare le caratteristiche relative al campione di LW scelto per effettuare l'analisi di movimentazione.

La fase di monitoraggio è stata fatta con strumentazione specifica in seguito ad un evento di piena. Dallo studio dei bollettini climatici e idrologici forniti dall'ARPAV è stato possibile ipotizzare che l'evento che ha causato lo spostamento del LW risale al 17 maggio, giorno in cui la portata del Torrente Cordevole misurata presso la sezione di Saviner ha registrato 40.35 m³/s. È apparso comunque evidente che il periodo intercorso tra l'installazione dei trasmettitori e il successivo monitoraggio è stato interessato da portate rilevanti, causate sia dallo scioglimento nivale che dalla presenza di frequenti eventi piovosi.

Sono stati accuratamente scelti 48 elementi legnosi distribuiti nel tratto del Torrente Cordevole precedentemente individuato, la scelta è ricaduta su tronchi che fossero rappresentativi dell'interno materiale presente in alveo e che quindi presentassero caratteristiche e dimensioni tra loro differenti.

Dallo studio dei dati registrati è emerso che si ha una maggior presenza di legname di conifera all'interno del collettore, infatti su un totale di 48 LW esaminati solo 3 sono di latifolia. Gli elementi legnosi campionati presentano origini diverse, sono stati classificati così in 5 categorie e la maggiore, in termini di presenza di legname, è quella che riguarda gli elementi pervenuti nell'area di localizzazione tramite fluitazione, essi infatti corrispondono al 72.91 % del totale. Questo dato fa pensare che comunque la maggior parte del LW presente tende ad essere movimentato nel tempo. È stato importante analizzare anche la localizzazione

degli elementi che risultano per il 56.25 % all'interno dell'alveo attivo del torrente, più soggetto ad essere interessata e coinvolta dal corso d'acqua durante gli eventi di piena anche di carattere ordinario. Durante l'analisi qualitativa del legname è stato osservato anche lo stato di degradazione del legno e ne è uscito che il 63.25 % del totale corrisponde ad uno stadio definito vecchio, indica cioè che il LW è presente nel collettore da un periodo sicuramente maggiore ai 2 anni, la restante porzione presenta uno stadio di degradazione definito medio e non sono presenti elementi legnosi freschi. Dei 48 elementi legnosi campionati 16 sono stati individuati all'interno di 7 accumuli, mentre i restanti 32 erano disposti singolarmente lungo il collettore; il grado di aggregamento degli elementi è influenzato sia dall'origine del legname, nel caso specifico l'ingresso di una valanga all'interno del collettore ha permesso l'accumulo di parte del materiale di risulta, ma in gran parte anche dalla morfologia dell'alveo. Per quanto riguarda i parametri quantitativi sono state misurate le dimensioni del LW che in un secondo momento sono state messe in relazione con la distanza percorsa dagli elementi movimentati; è emerso che la distanza percorsa dal LW è debolmente influenzata dalle loro dimensioni, è apparso infatti che i risultati ottenuti dalla lunghezza e dal diametro messi a confronto con la distanza percorsa esprimono concetti discordanti tra loro in quanto i grafici evidenziano che al diminuire della lunghezza aumenta la distanza percorsa, mentre la distanza percorsa aumenta con elementi legnosi che hanno diametri più elevati.

Dai risultati ottenuti si può affermare che hanno maggiore mobilità gli elementi legnosi che presentano lunghezze ridotte, questo deriva dal fatto che il Torrente Cordevole non presenta ampie sezioni e che al suo interno sono presenti grossi massi e qualche barra centrale che impediscono la fluitazione di elementi di grandi dimensioni. Il risultato ottenuto dal monitoraggio effettuato a giugno 2013 ha fatto notare che su 48 elementi in cui sono stati inseriti gli RFID 25 non sono stati movimentati durante l'evento del 17 maggio, 18 si sono movimentati, mentre i restanti 5 non sono stati ritrovati e come già precisato è stato escluso che siano rimasti nella posizione originaria. Le distanze percorse dai 18 LW sono estremamente variabili e si distribuiscono in un range compreso tra 12 metri e 8.197 chilometri.

Dalle analisi qualitative degli elementi movimentati è emerso che tendenzialmente gli elementi con ceppaia tendono a rimanere fermi, anche se non è possibile dire se la presenza di radici costituisce fattore discriminante per la mobilità del legname in quanto sono stati traspostati a valle anche elementi provvisti di apparato radicale.

I dati ottenuti in questo elaborato sono stati inoltre confrontati con quanto analizzato da Zorzi (2007) nella stessa area di studio. Emerge che la tipologia e le dimensioni degli elementi all'interno dell'alveo sono sempre le stesse, anche se in passato erano presenti molte più ceppaie singole, molto probabilmente a causa di operazioni di (pulizia dell'alveo) effettuate nel periodo antecedente ai rilievi. Zorzi (2007) aveva rilevato anche molto più materiale in uno stato di degradazione fresco, che è legato ai processi di reclutamento più recenti.

Questo studio ha quindi permesso di rendere evidente oltre alla presenza del legname all'interno del corso d'acqua dell'Alto Cordevole anche l'effettiva possibilità che questo materiale legnoso si muova in corrispondenza di eventi di piena ordinari. Si è notato infatti che nel tratto del torrente preso in considerazione esiste l'effettiva possibilità che il legname presente venga movimentato in corso di evento; è stato però registrato che la mobilità interessa maggiormente gli elementi di minori dimensioni, anche se non è emersa una relazione statisticamente valida tra dimensione elementi e distanza percorsa.

Il problema della presenza del legname in alveo è una conseguenza del progressivo abbandono delle attività che fin da tempi antichi hanno accompagnato la vita dell'uomo nelle zone di montagna; l'abbandono delle attività agro-silvo-pastorali ha portato ad un progressivo invecchiamento del bosco e ad una colonizzazione da parte della foresta a discapito delle aree prative, questo ha permesso al bosco di avvicinarsi progressivamente ai corsi d'acqua fornendo materiale legnoso ai collettori.

Considerare il legname presente lungo l'asta del Cordevole risulta fondamentale, in quanto già in passato ha innescato seri problemi soprattutto durante l'alluvione del 1966. Le opere di sistemazione idraulico-forestale dovrebbero valutare l'effettiva presenza e possibilità di movimentazione del LW individuando dei criteri di analisi che tengano conto delle priorità d'intervento e dell'effettivo rischio idraulico connesso alla presenza di questo materiale in alveo. Questa tesi ha avuto lo scopo di evidenziare la mobilità del LW, e si è giunti alla conclusione che l'attività del legname nel Torrente Cordevole è di tipo attivo e che quindi andrebbe prestata maggior attenzione alla sua presenza all'interno degli alvei montani. Si auspica che i risultati raggiunti possano suscitare l'interesse degli enti competenti e che l'attività di monitoraggio prosegua anche nel prossimo futuro.

8. BIBLIOGRAFIA

- Abbe, T.B., and Montgomery, D.R. 2003. Patterns and process of wood debris accumulation in the Queets River basin, Washington. *Geomorphology* 51:81-107.
- Abbe, T.B., e Montgomery, D.R. 1996. Large woody debris jams, channel hydraulics and habitat formation in large rivers. *Regulated Rivers: research & management* 12: 201-221.
- Benda, L.E., Bigelow, P. and Worsley, T.M. 2002. Recruitment of wood to streams in old-growth and second-growth redwood forests, northern California, U.S.A. *Canadian Journal of Forest Research* 32:1460-1477.
- Bertoldi G., Bettella F., Pozza E., Rigon E., D'Agostino V. 2013. Dinamica del legname nei torrenti montani. AIDI 2013, in stampa sui Quaderni di Idronomia Montana vol. 31
- Bottai L., Montagni A., Maselli F., 2008. Il telerilevamento per il monitoraggio degli effetti degli incendi forestali. *Rivista italiana di Telerilevamento* 40 (1): 75-87.
- Braudrick C.A., Grant G.E., Ishikawa Y, Ikeda H., 1997. Dynamics of wood transport in streams: a flume experiment. *Earth Surface Processes and Landforms*. vol. 22. 669-683.
- Braudrick, C.A., e Grant, G.E. 2001. Transport and deposition of large woody debris in streams: a flume experiment. *Geomorphology* 41: 263-283.
- Collins, B.D., and Montgomery D.R. 2002. Forest development, wood jams, and restoration of floodplain rivers in the Puget Lowland, Washington. *Restoration Ecology* 10: 237-237.
- D'Agostino, V. 2013. Corso di protezione dal rischio idrogeologico. *Appunti di lezione*. Corso di Laurea Magistrale in Scienze Forestali e Ambientali. Università degli studi di Padova.
- Degetto, M. 2000. 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. 226 pp.

- Del Din Dall'Armi, M. 1986. Dissesti idrogeologici ed eventi calamitosi nell'Agordino dal 1000 al 1966. Editore: Istituto bellunese di ricerche sociali e culturali. 285 pp.
- Del Negro, G. A. 1990. Il lago di Alleghe, tragedia e fascino. Editore: Union de i Ladign de Alie. 286 pp.
- Faggian, M. 2011. Il detrito legnoso movimentabile dalle piene torrentizie: analisi quantitativa in un tratto del Rio Cordevole (BL) *Tesi di laurea in Tutela e Riassetto del Territorio*, Università degli Studi di Padova, 78 pp.
- Gaiardo, M. J. 1997. L'Agordino e la sua storia attraverso le carte geografiche. Editore: Istituto bellunese di ricerche sociali e culturali, 187 pp.
- Giordano, G. 1997. Antologia del legno. Volume I, 457 pp.
- Hassan, M.A. , D.L., Hogan, S.A., Bird, C.L., May, T. Gomi e D.Campel. 2005 Spatial and Temporal Dynamics of Wood in Headwater Stream of the Pacific Northwest, *Journal of the American Water Resources Association*, 41 (4).
- Ishikawa, Y. 1990. Studies on disasters caused by debris flow carrying logs down mountain. *SABO Division, Public Works Research Institute, Ministry of Construction.*
l'Ambiente e il Territorio. Università degli Studi di Padova. 80 pp
- Lenzi, M.A. 2012. Corso di fluviomorfologia e riqualificazione fluviale. *Appunti di lezione*. Corso di Laurea Magistrale in Scienze Forestali e Ambientali. Università degli studi di Padova.
- Lenzi, M.A., D'Agostino, V., Sonda, D. 2000. Ricostruzione morfologica e recupero ambientale dei torrenti. *Editoriale Bios*, Cosenza. 208 pp.
- Marchetti M., Lombardi F. 2006. Analisi quali-quantitativa del legno morto in soprassuoli non gestiti: il caso di "Bosco Pennataro", alto Molise.

- Mazzalai P., Cristofori V., Pecorari E., Lenzi M.A., 2006. Briglia a fune sul Fiume Sarca per la trattenuta dei detriti legnosi. In: *D'Agostino V. & Fattorelli S. (Eds.), Le Sistemazioni Idraulico-Forestali per la Difesa del Territorio, Quaderni di Idronomia Montana 26, Bios*, 425-438.
- Pecorari, E. 2003. Analisi del movimento dei tronchi in alvei fluviali. *Tesi di laurea in Ingegneria per l'Ambiente e il Territorio*. Università degli Studi di Padova. Pp. 80.
- Pecorari, E. 2008. Il materiale legnoso in corsi d'acqua a canali intrecciati: volumi, mobilità, degradazione e influenza morfologica. *Tesi di Dottorato di Ricerca in Territorio, Ambiente, Risorse e Salute*, Università degli Studi di Padova. 200 pp.
- Rickenmann D., (1997). Schwemholz und Hochwasser. *Nasser, Energie, Liftea, Energie, Ari*; 115-119.
- Rigon E., Comiti F., Lenzi M.A. 2012. Large wood storage in streams of the Eastern Italian Alps and the relevance of hillslope processes. *Water Resources Research* VOL. 48, W01518, doi:10.1029/2010WR009854
- Rigon, E. 2005. Analisi sperimentale sul ruolo del legname in alveo in un torrente delle Dolomiti Bellunesi. *Tesi di laurea in Scienze Forestali ed Ambientali*, Università degli Studi di Padova. 160 pp.
- Rigon, E. 2009. Il legname in alveo nei torrenti alpini: analisi quantitativa e modellazione GIS. *Tesi di Dottorato di Ricerca in Territorio, Ambiente, Risorse e Salute*, Università degli Studi di Padova. 178 pp.
- Robinson, E.G., e Beschta, R.L. 1990. Coarse woody debris and channel morphology interactions for undisturbed streams in southeast Alaska, USA. *Earth Surface Processes and Landforms* 15:149-156.

- Slongo, M. 2005. Tipologia, dimensione e quantità del legname in alveo presente in tre collettori montani (bacino del T. Fiorentina, Belluno). *Tesi di laurea in Scienze Forestali ed Ambientali*, Università degli Studi di Padova. 130 pp.
- Swanson, F.J., Lienkaemper, G.W. 1978. Physical Consequences of Large Organic Debris in Pacific Northwest Streams. *General Technical Report PNW-69. USDA Forest Service. Pacific Northwest Forest and Range Experimental Station, Portland, OR.* 12 pp.
- Swanston, D.N., 1991. Natural processes. In: Meehan, W.R. (Ed.), *Influences of Forest and Rangeland Management on Salmonid Fishes and Their Habitats. American Fisheries Society Special Publication*, vol. 19, pp. 139– 179. Bethesda, MD.
- Uchiogi, T., Shima, J., Tajima, H., and Ishikawa, Y. 1996. Design methods for wood-debris entrapment. *Proceedings Int. Symp. Interpraevent Garmisch Partenkirchen. 5:279-288.*
- Urso, T. 2013. Corso di xilologia e tecnologia del legno. *Appunti di lezione. Corso di Laurea Magistrale in Scienze Forestali e Ambientali*, Università degli Studi di Padova.
- Wing, M. G. e Skaugset A. 2002. Relationships of channel characteristics, land ownership, and land use patterns to large woody debris in western Oregon streams. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 59: 796-807.
- Young W.J., (1991) Flume study of the hydraulic effects of large woody debris in lowland rivers. *Regulated Rivers: Research and Management*, 6, 203–211.
- Zorzi, S. 2007. Gli accumuli di legname negli alvei montani: analisi sperimentale nell’Alto Cordevole. *Tesi di laurea in Tutela e Riassetto del Territorio*, Università degli Studi di Padova. 150 pp.

Siti consultati:

www.arpa.veneto.it

www.fao.org

www.infodolomiti.it

www.protezionecivile.gov.it

www.protezionecivileveneto.it

Ringraziamenti

Il primo GRAZIE va ai miei genitori, che hanno creduto in me e che mi hanno sempre sostenuta in questi anni, permettendomi di seguire la strada che ho scelto e di prendere le decisioni che ho preso.

Un sincero grazie va al Dott. Emanuel Rigon per la sua costante presenza durante questi mesi di lavoro.

In questi anni universitari ho avuto l'appoggio di molte persone a me care, amici che ho incontrato a Legnaro ed altri a cui ero legata già da prima..

Ringrazio gli amici che ho conosciuto a Legnaro, con i quali abbiamo condiviso giornate di studio, molti esami e serate in compagnia: Valentina, Elisa, Stefano, Bruno e Marta per gli anni trascorsi in triennale e per la grande amicizia che tuttora ci lega.

Ringrazio Arianna e Sonia, mie grandi amiche con le quali ho condiviso gli ultimi due anni di università.

Un grazie di cuore va agli amici "agordini" che mi hanno sempre supportata moralmente in questi anni di studio: ringrazio Frida che ormai considero "parte della famiglia", gli amici dell'associazione in particolare Ettore, Samuel e Moreno che mi hanno sempre dimostrato la loro presenza e sostegno durante gli anni universitari, Michela cara amica con la quale condivido la passione per gli animali e la natura, Elda per i giorni di studio a Montas e l'infinita disponibilità nell'aiutarmi, Manuel per il sostegno che mi ha dato durante la stesura della tesi.

Linda