



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

Sede Amministrativa: Università degli Studi di Padova

Dipartimento: Territorio e Sistemi Agro - Forestali

SCUOLA DI DOTTORATO DI RICERCA IN:
“TERRITORIO, AMBIENTE, RISORSE E SALUTE”

INDIRIZZO:
“IDRONOMIA AMBIENTALE”

CICLO XXI

**IL LEGNAME IN ALVEO NEI TORRENTI ALPINI:
ANALISI QUANTITATIVA E MODELLAZIONE GIS**

Direttore della Scuola: Ch.mo Prof. VASCO BOATTO

Supervisore: Ch.mo Prof. MARIO ARISTIDE LENZI

Co-supervisore: Dott. FRANCESCO COMITI

Dottorando: **EMANUEL RIGON**

ABSTRACT

The present work analyzes the wood presences in Dolomites streams. The processes that contribute to the formation, input, and transfer of such material in network channel have been investigated. Main task is to assess for guidance planning risk management in mountain areas.

The study sites are represented by 13 mountain basins (drainage area ranging from 1 to 70 Km²), located in the upper part of Cordevole watershed basin (Province of Belluno). More than 9,000 wood elements were counted during the field survey. Wood storage is highly variable (8-106 m³ per hectare of streambed area), but a significant inverse relationship with drainage area is evident, as well as with occurrence of hillslope instabilities. Median log diameters do not vary considerably among the study basins (0.08 – 0.13 m), whereas large differences exist with regard to log length (0.79 – 3,75 m). The ratio between log length and the average channel width remains close to 1 for channels < 3rd order ($A < 10 \text{ km}^2$), and drops for higher-order basins (down to 0.2-0.3). Therefore, a much higher mobility of wood elements might be envisaged for such channels, and this could be a reason for their lower wood load per unit of bed area. However, these larger basins present also higher degrees of human impact (roads, towns, control works) which are presumed to contribute to diminish the presence of in-channel wood.

The second part of the research has been directed to develop a forecast tool able to assess the in-channel wood (LW). A GIS based model was chosen to create a spatial analyst in order to reproducing three main processes: 1) recruiting LW 2) slope transfer, 3) in-channel wood translation. For the first processes the areas of likely LW have been identified, through the intersection of the forest map and the hydrogeological instability susceptibility map (obtained by the means of the method of Weight of Evidence). The simulation of input and transfer along streams was obtained by applying the functions of LW propagation and decay, related to the soil morphology, the flow distance from network channel and stream power function. The model results are satisfactory: the simulated volume of LW are on the same order of magnitude as observed in the field surveys (Relative error = 0,04-4,9; average relative error = 1.2). Finally, different maps are presented to show the stream reach who are at highest risk of LW storage.

RIASSUNTO

Il presente lavoro analizza la presenza del materiale legnoso in corsi d'acqua delle Dolomiti. Sono stati studiati i processi che concorrono alla formazione, all'immissione e alla traslazione di tale materiale nelle reti idrografiche. Lo scopo finale è quello di dare delle indicazioni nella pianificazione della gestione del rischio idraulico in territorio montano.

La ricerca ha riguardato 13 bacini montani di diversa grandezza (da circa 1 a 70 Km²) all'interno dell'Alto Cordevole (Provincia di Belluno). Lungo i collettori analizzati sono stati rinvenuti più di 9000 elementi legnosi. La quantità di legname presente nei collettori è risultata molto variabile (8-106 m³ per ettaro di superficie d'alveo), ma con una significativa correlazione inversa tra volume legnoso ed area drenata, ed una chiara associazione alla presenza di versanti instabili. Le dimensioni mediane dei tronchi rilevati presentano diametri abbastanza simili fra i diversi bacini (0,08-0,13 m), mentre la lunghezza risulta più differenziata (varia da 0,79 a 3,75 m). E' stato calcolato che il rapporto tra la lunghezza dei tronchi e larghezza del canale è maggiore per i bacini con area drenata inferiore ai 30-40 km², con valori prossimi all'unità nei bacini fino al 3° ordine, e coefficienti pari a 0,2 0,3 in quelli di 4° e 5° ordine. Si può quindi affermare che nei torrenti di ordine maggiore c'è una maggiore mobilitazione del legname. Questo aspetto, può essere una delle cause possibili della relazione inversa che sussiste tra volume areale di legname ed area drenata del bacino; tuttavia, la forte riduzione dei volumi legnosi nei corsi d'acqua più grandi è sicuramente ascrivibile al loro elevato grado di antropizzazione, (abitati, strade) che comporta frequenti interventi di sistemazione idraulico-forestale e di rimozione della vegetazione e del "detrito" vegetale in alveo.

La seconda parte dell'attività di ricerca è stata indirizzata alla messa a punto di uno strumento previsionale per la quantificazione del legname in alveo (*LW*). Si è scelto di creare un modello di analisi spaziale su base GIS che simula distintamente i tre principali processi: 1) *reclutamento di LW*; 2) *trasferimento lungo i versanti*; 3) *movimentazione del legname lungo la rete idrografica*. Per il primo punto sono state individuate le aree sorgenti di legname potenzialmente reclutabile attraverso l'intersezione della carta dei particellari forestali e la carta della suscettibilità ai dissesti (ottenuta attraverso il metodo del *Weight of Evidence*). La simulazione dell'immissione in alveo e della successiva traslazione è stata ottenuta applicando delle funzioni di propagazione e decadimento legate alla morfologia del territorio, alla *flow distance* dalla rete idrografica ed alla *stream power*. Il modello ha restituito dei risultati soddisfacenti, simulando un volume di *LW* entro lo stesso ordine di grandezza di quello rilevato in campo. (errore relativo = 0,04-4,9; errore relativo medio = 1,2). Infine sono state redatte delle mappe in cui si evidenziano i tratti di torrente maggiormente a rischio di deposito eccessivo di legname.

INDICE

<i>Indice delle tabelle</i>	III
<i>Indice delle figure</i>	IV
1. Introduzione	1
2. Il legname in alveo	5
2.1 Lo studio del legname in alveo	5
2.2 Nomenclatura del legname in alveo	6
2.3 Proprietà fisico-meccaniche del legno	7
2.4 Origine del legname in alveo	8
2.5 Il legname in alveo e la gestione del territorio	10
2.6 <i>LW</i> : moto incipiente, trasporto e deposizione	12
2.7 Morfologia degli accumuli di legname	15
2.8 Effetti del legname in alveo	20
2.8.1 Effetti idraulici	20
2.8.2 Effetti erosivi-sedimentologici	23
2.8.3 Effetti morfologici	24
2.8.4 Effetti ecologici	24
2.9 Rischio idraulico connesso ai <i>Large Wood</i>	25
2.10 Stima dei volumi di legname movimentabile	27
2.11 Modelli previsionali di produzione del legname in alveo	31
2.12 Studi condotti in Italia	33
3. Metodologie, materiali e metodi	35
3.1 Analisi e misura della morfologia dei torrenti	36
3.2 Rilievo del legname in alveo	39
3.3 Elaborazioni GIS	42
3.4 Caratterizzazione della gestione territoriale	45
3.5 Monitoraggio della mobilità del legname in alveo	46
4. Descrizione delle aree di studio	47
4.1 Il Bacino del T. Cordevole chiuso al lago di Alleghe	47
4.1.1 Parametri morfometrici ed idrografia	48
4.1.2 Cenni storici	53
4.1.3 Aspetti climatici e vegetazionali	55
4.1.4 Geomorfologia e dissesti	56
4.2 Sottobacini	57
4.2.1 Alto Cordevole	57
4.2.2 Fiorentina	59
4.2.3 Pettorina	60
4.2.4 Andraz	62
4.2.5 Codalunga	63
4.2.6 Davedino	65
4.2.7 Cordon	67
4.2.8 Ornella	68

4.2.9	Valbona	70
4.2.10	Molini	71
4.2.11	Code	72
4.2.12	Miniere	73
4.2.13	Bianco	74
5.	Analisi dei dati di campo	75
5.1	Varabili morfologiche dei bacini idrografici e dei torrenti	76
5.2	Legname in alveo: caratteristiche	82
5.2.1	Classe vegetale	82
5.2.2	Orientamento	83
5.2.3	Ubicazione	84
5.2.4	Stato di degradazione	85
5.2.5	Origine	85
5.2.6	Stato di aggregazione	88
5.3	Legname in alveo: quantità, dimensioni e dinamica	92
5.3.1	Mobilità del legname	94
5.3.2	Volume di legname e caratteri morfometrici	97
5.3.3	Legname e dissesti	103
5.3.4	Confronti con bacini situati in altre regioni del Mondo	106
6.	Modello previsionale su base GIS	107
6.1	Impostazione del modello	107
6.2	Determinazione delle sorgenti di legname potenzialmente in alveo	111
6.2.1	Fattori predisponenti ai dissesti	113
6.2.3	Calcolo della suscettibilità ai dissesti	115
6.2.4	Aree sorgente di legname	122
6.3	Probabilità d'immissione del legname in alveo	125
6.4	Simulazione della traslazione del legname in alveo	128
6.4.1	Variazioni longitudinali dei volumi di legname	131
7.	Conclusioni	135
8.	Allegati	139
Allegato 1	Parametri morfometrici dei torrenti	139
Allegato 2	Caratteri qualitativi del legname in alveo	145
Allegato 3	Quantità e dimensioni del legname in alveo	151
Allegato 4	Mappe delle aree sorgenti di legname	157
Allegato 5	Mappa dello <i>slope decay</i>	161
Allegato 6	Mappe del trasferimento del legname nei versanti	163
Allegato 7	Mappe del trasferimento del legname in alveo	167
9.	Bibliografia	171

Indice delle tabelle

Tabella 4.1 – Principali parametri morfometrici del Bacino del Cordevole chiuso al Lago di Alleghe	48
Tabella 4.2 – Principali parametri morfometrici del reticolo idrografico	52
Tabella 4.3 – Principali parametri morfometrici del Bacino dell'Alto Cordevole	57
Tabella 4.4 – Principali parametri morfometrici del'Alto Cordevole	58
Tabella 4.5 – Principali parametri morfometrici del Bacino del Fiorentina	59
Tabella 4.6 – Principali parametri morfometrici del t. Fiorentina	60
Tabella 4.7 – Principali parametri morfometrici del Bacino del Pettorina	61
Tabella 4.8 – Principali parametri morfometrici del t. Pettorina	61
Tabella 4.9 – Principali parametri morfometrici del Bacino dell'Andraz	62
Tabella 4.10 – Principali parametri morfometrici del t. Andraz	62
Tabella 4.11 – Principali parametri morfometrici del Bacino del Codalonga	64
Tabella 4.12 – Principali parametri morfometrici del t. Codalonga	64
Tabella 4.13 – Principali parametri morfometrici del Bacino del Davedino	65
Tabella 4.14 – Principali parametri morfometrici del t. Davedino	65
Tabella 4.15 – Principali parametri morfometrici del Bacino del Cordon	67
Tabella 4.16 – Principali parametri morfometrici del t. Cordon	67
Tabella 4.17 – Principali parametri morfometrici del Bacino dell'Ornella	69
Tabella 4.18 – Principali parametri morfometrici del t. Ornella	69
Tabella 4.19 – Principali parametri morfometrici del Bacino del t. Valbona	70
Tabella 4.20 – Principali parametri morfometrici del t. Valbona	70
Tabella 4.21 – Principali parametri morfometrici del Bacino del Molini	71
Tabella 4.22 – Principali parametri morfometrici del t. Molini	71
Tabella 4.23 – Principali parametri morfometrici del Bacino del Code	72
Tabella 4.24 – Principali parametri morfometrici del t. Code	72
Tabella 4.25 – Principali parametri morfometrici del Bacino della Miniera	73
Tabella 4.26 – Principali parametri morfometrici del Rio della Miniera	73
Tabella 4.27 – Parametri del bacino del Rio Bianco	74
Tabella 4.28 – Principali parametri morfometrici del Rio Bianco	74
Tabella 5.1 – Principali caratteristiche dei bacini studiati	76
Tabella 5.2 - Matrice di correlazione tra i principali caratteri morfometrici dei torrenti; A= area drenata; Lpr= larghezza piene rive; T= tirante; P= pendenza. Le correlazioni significative sono state evidenziate. (p-level < 0,05; N = 336)	79
Tabella 5.3 - Matrice di correlazione tra i caratteri morfometrici dei torrenti; A= area drenata; Lpr= larghezza piene rive; Lpa= larghezza piana alluvionale; T= tirante; P= pendenza; M= massi su m ² . Le correlazioni significative sono state evidenziate. (p-level < 0,05; N = 140)	81
Tabella 5.4 - Parametri principali del materiale legnoso rilevato	93
Tabella 5.5 - Matrice di correlazione tra area drenata-pendenza e "grado di congestione" del legname (rapporto tra le dimensioni dei tronchi e le dimensioni dell'alveo; D ₅₀ = diametro mediano; D ₈₄ = diametro 84esimo percentile; dav = profondità media tirante di piene rive; L ₅₀ = lunghezza mediana; L ₈₄ = lunghezza 84esimo percentile; Wav = profondità tirante di piene rive; p-level < 0,05; N = 336)	94
Tabella 5.6 - Matrice di correlazione tra le quantità di legname e alcune caratteristiche morfometriche dei tratti: A= area drenata, Lpr= larghezza alveo di piene rive, T= tirante, P= pendenza. (sono evidenziate le correlazioni significative p-level < 0,5; N = 334;)	97
Tabella 5.7 - Test della covarianza (univariato) per la significatività della quantità areale di legname in alveo (m ³ /ha) (A= area drenata; Lpr= larghezza alveo di piene rive; T= tirante; P= pendenza; USPI= stream power unitaria; SS = somma dei quadrati; MS = media dei quadrati; F = F di Fischer; sono evidenziati i risultati significativi con p-level < 0,05).	99
Tabella 58 - Test della covarianza (uni variato) per la significatività della quantità areale di legname in alveo (m ³ /ha) utilizzando il "grado di congestione" del legname (A= area drenata; P= pendenza; USPI = stream power unitaria; SS = somma dei quadrati; MS = media dei quadrati; F = F di Fischer; D ₈₄ = diametro 84esimo percentile, Dav = tirante medio di piene rive; L ₈₄ = lunghezza 84esimo percentile; Wav = larghezza media alveo di piene rive; sono evidenziate i risultati significativi con p-level < 0,5).	100
Tabella 6.1 - Simulazione delle aree sorgente di legname potenzialmente reclutabile in alveo: estensione delle superfici forestali in dissesto (ha) e volume di legname corrispondente (m ³).	124
Tabella 6.2 - Simulazione del materiale legnoso in alveo: confronto tra i volumi calcolati per i tre scenari e il volume reale rapportate alla totale lunghezza della rete idrografica. Valori in m ³ .	129

Indice delle figure

Figura 2.1 – Modello concettuale dello sviluppo della foresta ripariale montana, (da Fetherston et al., 1995)	11
Figura 2.2 – Log step presente lungo il torrente Davedino	16
Figura 2.3 – Rappresentazione di un bench jam (da Abbe e Montgomery, 2003)	18
Figura 2.4 – Rappresentazione di un bar-apex jam (da Abbe e Montgomery, 2003).	18
Figura 2.5 – A sinistra, planimetria schematizzata di un valley jam; a destra planimetria (a) e vista trasversale (b) di un flow-deflection jams (da Abbe e Montgomery, 2003).	19
Figura 2.6 – Grafico riassuntivo dei tipi di accumulo dei legname in alveo e localizzazione nella rete idrica. (da Abbe e Montgomery, 2002)	19
Figura 2.7 – Centro di Caprile (BI) in seguito all'alluvione del Novembre 1966	26
Figura 2.7 – Relazione tra il numero di tronchi prodotti e l'area drenata, (da Ishikawa, 1990).	27
Figura 2.8 – Relazione tra il numero di tronchi e il volume di sedimento, (da Ishikawa, 1990).	27
Figura 2.9 – Relazione tra il volume di legname trasportato e l'area drenata, (da Ishikawa, 1990).	28
Figura 2.10 – Relazione tra il volume di legname e il trasporto solido, (da Ishikawa, 1990).	28
Figura 2.11 – Relazioni tra il volume di legname e alcuni parametri morfometrici del bacino, (da Rickenmann, 1997)	30
Figura 3.1 – Strumenti di misura utilizzati per il rilievo della morfologia d'alveo e degli elementi legnosi; Da sinistra: picchetti segnalatori, corde metriche, clisimetro, cavalletto forestale, asta telescopica.	37
Figura 3.2 – Rilievo del profilo longitudinale di un tratto del Rù Davedin mediante distanziometro Impulse 200 Standard® e riflettometro.	38
Figura 3.4 – Dimensione degli accumuli	39
Figura 3.5 – Misura del cuneo di sedimento	39
Figura 3.6 – Scheda di rilievo del materiale legnoso. Un esempio degli elementi rilevati nel tratto n° 22 del T. Cordevole; la lunghezza e la pendenza del tratto sono ricavate dal profilo.	41
Figura 3.7 – Bacino del Cordevole chiuso al Lago di Alleghe. In rosso sono evidenziati tutti i sottobacini individuati con tecniche GIS, mentre il reticolo idrografico sintetico è rappresentato con linee blu di diverso spessore in base all'ordine del collettore.	44
Figura 3.8 – Presa di derivazione per la centralina idroelettrica sul Ru Davedin.	46
Figura 3.9 – Ceppaia etichettata con piastrina di alluminio numerata.	46
Figura 4.1 – Inquadramento geografico dell'area di studio. In rosso è evidenziato il bacino idrografico dell'Alto Cordevole. (IGDA).	47
Figura 4.2 – DEM del bacino del Cordevole chiuso al lago di Alleghe.	48
Figura 4.3 – Curva ipsografica delle quote.	49
Figura 4.4 – Curva ipsometrica adimensionale.	49
Figura 4.5 – Istogramma delle pendenze.	50
Figura 4.5 – Istogramma delle pendenze.	50
Figura 4.7 – Grafico a radar delle esposizioni.	51
Figura 4.8 – Carta delle esposizioni.	51
Figura 4.9 – Centro dell'abitato di Caprile in seguito all'alluvione del 4 novembre 1966.	54
Figura 4.10 – Distribuzione dei distretti forestali e delle principali associazioni presenti nel bacino. (Fonte: Carta Forestale Regionale)	55
Figura 4.11 – Inquadramento dell'Alto Cordevole	57
Figura 4.12 – Valle dell'Alto Cordevole. Foto scattata dalla cima del Col di Lana. Sullo sfondo si può osservare il Passo Pordoi, il gruppo del Sella, e più dietro il Catinaccio	58
Figura 4.13 – Inquadramento del bacino del Fiorentina	59
Figura 4.14 – Valle del Fiorentina; sullo sfondo il monte Pelmo.	59
Figura 4.15 – Inquadramento del bacino del Pettorina	60
Figura 4.16 – Valle del Pettorina.	61
Figura 4.17 – Cataste di legname lungo il Pettorina.	61
Figura 4.18 – Inquadramento del bacino dell'Andraz	62
Figura 4.19 – Il castello di Andraz. Le catene montuose appartengono al gruppo delle Tofane.	63
Figura 4.21 – Tratto del t. Codalonga prima e dopo le "pulizie d'alveo".	64
Figura 4.21 – Inquadramento del bacino del Davedino	65
Figura 4.22 – Bacino idrografico del Davedino. Nella parte in alto si osserva il ghiacciaio della Marmolada	66
Figura 4.23 – Inquadramento del bacino del Cordon	67
Figura 4.24 – Tratto di torrente lungo il Rio Cordon	68
Figura 4.25 – Inquadramento del bacino dell'Ornella	68
Figura 4.26 – Bacino dell'Ornella; nella parte alta si può notare il monte Padon. Foto scattata dal Col di Lana.	69
Figura 4.27 – Cascata in roccia sul t. Ornella	69

Figura 4.28 – Inquadramento del bacino del Valbona	70
Figura 4.29 – Tratto in roccia lungo il t. Valbona	70
Figura 4.30 – Inquadramento del bacino del Molini	71
Figura 4.31 – Cascata sul Molini	71
Figura 4.32 – Inquadramento del bacino del Code	72
Figura 4.33 – Vegetazione del bacino del Code	72
Figura 4.34 – Inquadramento del bacino delle Miniere	73
Figura 4.35 – Tratto di torrente campionato lungo il Rio della Miniera	73
Figura 4.36 – Inquadramento del bacino del rio Bianco	74
Figura 4.37 – Tratto intermedio del rio Bianco	74
Figura 5.1 – Bacini indagati. La numerazione fa riferimento alla tabella riportata in seguito.	75
Figura 5.2 – Masso ciclopico in alveo lungo il corso del rio Bianco	76
Figura 5.3 – Deposito di una colata detritica rinvenuta nel t. Code	76
Figura 5.4 – Tratto del t. Fiorentina con evidenti sistemazioni di sponda.	77
Figura 5.5 – Box-plot della pendenza rilevata nei collettori analizzati.	78
Figura 5.6 – Box-plot della larghezza dell'alveo di piene rive rilevato nei collettori analizzati.	78
Figura 5.7 – Box-plot del tirante di piene rive rilevato nei tratti dei torrenti analizzati.	79
Figura 5.8 – Relazione tra la pendenza del collettore e l'area drenata.	80
Figura 5.9 – Relazione tra la larghezza dell'alveo a piene rive e l'area drenata.	80
Figura 5.10 – Relazione tra il numero di massi areali e la larghezza dell'alveo a piene rive.	81
Figura 5.11 – Classe vegetale degli elementi legnosi rilevati nei diversi collettori (% in numero).	82
Figura 5.12 – Percentuale di tronchi e ceppaie rilevati nei torrenti analizzati.	82
Figura 5.13 – Orientamento degli elementi legnosi rilevati nei diversi collettori (% in numero).	83
Figura 5.14 – Alcuni tronchi sospesi sopra il torrente.	83
Figura 5.15 – Alcune ceppaie rinvenute lungo il rio Davedino.	83
Figura 5.16 – Ubicazione degli elementi legnosi rilevati nei diversi collettori (% in numero).	84
Figura 5.17 – Log-step di notevoli dimensioni rinvenuto durante i rilievi in campo.	84
Figura 5.18 – Stato di degradazione degli elementi legnosi rilevati nei diversi collettori (% in numero).	85
Figura 5.19 – Origine degli elementi legnosi rilevati nei torrenti indagati (% in numero)	86
Figura 5.20 – Origine degli elementi legnosi rilevati nei torrenti indagati (% in volume).	86
Figura 5.21 – Materiale legnoso originato per frana di versante.	87
Figura 5.22 – Alcune piante pervenute in alveo in seguito ad erosione di sponda	87
Figura 5.23 – Elementi legnosi trasportati da una colata detritica.	87
Figura 5.24 – Stato di aggregazione degli elementi legnosi rilevati nei torrenti indagati. Le coppie di barre rappresentano il volume (barra a sinistra) ed il numero (barra a destra).	88
Figura 5.25 – Accumulo di legname di notevoli dimensioni rinvenuto nel Rio Davedino	88
Figura 5.26 – Alcuni accumuli di legname presenti lungo i collettori monitorati. a: bench jam; b: log-step c: materiale derivato da un debris-flow, ma in parte rimosso da piene successive.	89
Figura 5.27 – Log-step nel t. Andraz: si può notare il sedimento bloccato a monte del salto, e la pozza che si è formata a valle.	90
Figura 5.28 – Effetti idro-morfologici degli accumuli di legname del Ru Davedin.	90
Figura 5.29 – Volume di sedimento trattenuto dagli accumuli di legname e volume degli accumuli. BA= bar apex; BC= bench jam; BI= bank input; BT= bar-top; DD= debris-dam; FD= flow deflection; LD= landslide jam; LS= log-step.	91
Figura 5.31 – Mappa dei volumi areali di materiale legnoso (metri cubi su ettaro di superficie d'alveo) rilevati durante le misure in campo.	92
Figura 5.32 – Box-plot riferito al diametro del legname rinvenuto in alveo (n= 9090)	93
Figura 5.33 – Box-plot riferito alla lunghezza del legname rinvenuto in alveo (n= 9090)	93
Figura 5.34 – Rapporto dimensionale tronchi-alveo confrontata con l'area drenata (D_{50} = diametro mediano; D_{84} = diametro 84 ^{esimo} percentile; d_{av} = profondità media tirante di piene rive; L_{50} = lunghezza mediana; L_{84} = lunghezza 84 ^{esimo} percentile; W_{av} = profondità tirante di piene rive.)	95
Figura 5.35 – Rapporto dimensionale tronchi-alveo confrontata con la pendenza (D_{50} = diametro mediano; D_{84} = diametro 84 ^{esimo} percentile; d_{av} = profondità media tirante di piene rive; L_{50} = lunghezza mediana; L_{84} = lunghezza 84 ^{esimo} percentile; W_{av} = profondità tirante di piene rive.)	95
Figura 5.36 – Relazione tra il volume di materiale legnoso fluitato rinvenuto nei singoli tratti (espresso come contributo areale del bacino m ³ /km ²) e la potenza della corrente unitaria (USPI)	96
Figura 5.37 – Relazione tra volume di materiale legnoso e larghezza media dell'alveo di piene rive.	97
Figura 5.38 – Relazione tra il volume di materiale legnoso e l'area drenata.	98
Figura 5.39 – Relazione tra il volume di materiale legnoso e la pendenza media.	98
Figura 5.40 – Analisi della covarianza: rappresentazione grafica delle medie calcolate; le barre verticali denotano il 95% dell'intervallo di confidenza.	99

Figura 5.41 – Analisi della covarianza utilizzando le dimensioni relative del legname: rappresentazione grafica delle medie calcolate; le barre verticali denotano il 95% dell'intervallo di confidenza.	101
Figura 5.42 – Relazione tra le dimensioni relative di legname e la quantità areale di legname in alveo (D_{84} = diametro 84 ^{esimo} percentile; d_{av} = profondità media tirante di piene rive; L_{84} = lunghezza 84 ^{esimo} percentile; W_{av} = profondità tirante di piene rive.)	101
Figura 5.43 – Relazione tra volume areale di materiale legnoso e dimensione dei bacini.	102
Figura 5.44 – Frana di versante lungo il corso del Ru de Davedin.	103
Figura 5.45 – Ingente quantità di legname immesso nel t. Andraz a causa di una frana	104
Figura 5.46 – Dimensioni dei singoli elementi legnosi rinvenuti in alveo lungo il corso del rio Davedino e del t. Andraz.	105
Figura 5.47 – Rappresentazione dell'indice di dissesto: 1 collettore stabile; 2 mediamente dissestato; 3 forte instabilità litologica	105
Figura 5.48 – Box plot del volume di legname areale presente nei vari tratti in rapporto a: a) "indice di dissesto": 1= basso 2= medio 3= molto b) propensione dei canali alle colate.	105
Figura 5.49 – Analisi della varianza. I box verticali indicano intervalli di confidenza al 0,95%. a) Volume di legname in rapporto all'indice di dissesto: 1= basso 2= medio 3= molto. b) Volume di legname in relazione alla propensione dei canali alle colate.	106
Figura 5.50 – Confronto in termini di volume areale medio di legname tra i bacini delle Dolomiti ed altri bacini di regioni temperate ma in condizione di "quasi-naturalità" (fonte: Richmond and Fausch, 1995; Hering et al., 2000; Gurnell et al., 2002; Meleason et al., 2005; Comiti et al., 2007). TdF: Terra del Fuoco; NZ: Nuova Zelanda.	106
Figura 6.1 – Ritaglio della tabella dei parametri dendrometrici. Fonte: Piano di Assestamento Economico – Forestale del comune di Alleghe.	108
Figura 6.2 – Carta dei particellari forestali (digitalizzata a partire dai piani economici-forestali).	108
Figura 6.3 – Tabella degli attributi della carta dei particellari forestali.	108
Figura 6.4 – Schema del modello previsionale di produzione e traslazione di legname in alveo. I blocchi tratteggiati indicano i tre sottomodelli, mentre le funzioni di trasformazione sono evidenziate in corsivetto.	110
Figura 6.5 – Censimento dei dissesti presenti nell'Alta val Cordevole (Fonte debris flow e frane: Progetto CARG). Le aree delle erosioni spondali sono enfatizzate per renderle visibili.	112
Figura 6.6 – Carta geolitologica (digitalizzata dalla Carta Geologica d'Italia e riclassificata).	114
Figura 6.7 – Carta di Uso del Suolo (digitalizzata da ortofoto aeree).	115
Figura 6.8 – Istogrammi di assegnazione dei pesi per i diversi intervalli di quota nel determinare a) debris-flow b) frane.	116
Figura 6.9 – Grafici di assegnazione dei pesi per i diversi intervalli di esposizione nel determinare a) debris-flow b) frane.	116
Figura 6.10 – Grafico di assegnazione dei pesi per i diversi intervalli di pendenza nel determinare a) debris-flow b) frane.	117
Figura 6.11 – Grafico di assegnazione dei pesi per i diversi intervalli di concavità nel determinare a) debris-flow b) frane.	117
Figura 6.12 – Istogrammi di assegnazione dei pesi per la diversa geolitologia nel determinare a) debris-flow b) frane.	118
Figura 6.13 – Grafici di assegnazione dei pesi per gli usi del suolo nel determinare a) debris-flow b) frane.	118
Figura 6.14 – Carta della suscettibilità al dissesto per debris-flow.	119
Figura 6.15 – Carta della suscettibilità al dissesto per frane da scivolamento	120
Figura 6.16 – Carta della suscettibilità al dissesto per erosione di sponda. Nel riquadro sottostante si riporta un'ingrandimento dell'area del Rio Molini.	121
Figura 6.17 – Particolare della carta della superficie forestale in dissesto: scenario 3. L'area riportata è localizzata ad est del bacino (val Fiorentina). In allegato 4 è riportata la mappa per intero.	123
Figura 6.18 – Ingrandimento della carta dello slope decay utilizzata per modellare il trasferimento del legname dalle aree sorgente alla rete idrografica.	126
Figura 6.19 – Modellazione del trasferimento di legname lungo i versanti: ingrandimento dello scenario 1 localizzato in un piccolo tributario del Rio Davedino. In azzurro sono evidenziate le aree sorgente. Quantità di legname espresse in volumi areali ($m^3 ha^{-1}$)	127
Figura 6.20 – Confronto tra i volumi di legname in alveo predetti dal modello (tre scenari), rispetto a quelli realmente presenti.	129
Figura 6.21 – Legname simulato rapportato a quello reale in funzione all'area drenata (scenario 1).	130
Figura 6.22 – Modellazione della propagazione del legname in alveo: probabilità di accumulo a confronto con la quantità di legname misurato in campo. L'area ingrandita si riferisce al bacino del torrente Davedino e parte dell'Alto Cordevole. Le barre orizzontali marroni indicano il volume di legname rilevato nei diversi tratti di torrente.	132
Figura 6.23 – Modellazione della propagazione del legname in alveo: zone a rischio di accumulo di legname.	133

1 – INTRODUZIONE

Il legname presente all'interno dei corsi d'acqua riveste un ruolo di fondamentale importanza nella dinamica fluviale (Harmon et al., 1986; Gurnell et al., 2002). Esso presenta diverse influenze di tipo morfologico, idraulico, ambientale ed inoltre prende parte ai processi di produzione e trasporto del sedimento. Tuttavia, l'accumulazione di legname nelle reti idriche accresce il rischio idraulico essendo in grado di aumentare la portata liquida e solida ordinaria, che possono essere causa di danni alle infrastrutture ed edifici.

La presenza di legname in alveo (*Large Woody* in terminologia anglosassone) può essere causa di problemi idraulici, in quanto crea delle ostruzioni, determina erosioni localizzate e aumenta la scabrezza, accrescendo il picco di portata massima (Abbe e Montgomery, 1996). L'accumulo di *LW* all'interno dei corpi idrici può provocare danni a causa della perdita di efficienza delle opere idroelettriche e di derivazione dei canali. Il legname movimentato può inoltre intasare le luci dei ponti, aumentando notevolmente la spinta idrostatica sulle pile, fino a causare il cedimento della struttura. Nei collettori alpini il materiale fluitato può ridurre la funzionalità idraulica delle opere di trattenuta, in particolare delle briglie selettive: gli elementi legnosi (tronchi, ramaglie, ecc.) tendono ad accumularsi disordinatamente a ridosso dei filtri favorendo il deposito dei sedimenti più fini, innescando una compattazione del deposito a monte e quindi rallentandone (o bloccando) l'"autopulizia" durante le piene ordinarie (Mazzalai et al., 2006). Per ridurre o eliminare questi aspetti negativi, soprattutto in ambito montano le autorità competenti effettuano delle pulizie degli alvei con lo scopo di ridurre la pericolosità legata al materiale legnoso durante gli eventi di piena.

La quantità e il tipo di legname presente in alveo (*Large Wood: LW*) dipende dalle caratteristiche del bacino e del torrente, nonché dai processi che lo immettono nella rete idrografica. Questi ultimi possono venir ricondotti principalmente alla mortalità naturale di popolamenti forestali (compresi schianti ed incendi), a fenomeni franosi e di erosione spondale, ed ad azioni antropiche (Benda et al., 2002). In generale, la gestione del territorio ha influssi rilevanti nel bilancio del detrito legnoso presente in alveo, sia direttamente (disboscamenti, tagli selvicolturali, pulizie degli alvei), che indirettamente per gli effetti che determina sulla stabilità del suolo (frane ed erosioni spondali).

Bacini idrografici prossimi a condizioni di quasi-naturalità evidenziano come il legname sia capace di determinare la morfologia (Abbe e Montgomery, 2003; Andreoli et al., 2007; Comiti et al. 2007; Mao et al., 2007) dei collettori, aumentando di molto la complessità del sistema fisico e di conseguenza la biodiversità ambientale. Al contrario, i corsi d'acqua di regioni antropizzate presentano una struttura morfologica molto impoverita derivante dalla riduzione del materiale

legnoso in alveo (Comiti et al., 2006; Rigon et al., 2006), sia a scala temporale breve (asportazione diretta degli accumuli presenti) che di lungo termine (taglio piante in zona riparia, pratiche selvicolturali che mantengono il bosco “giovane”). La pulizia degli alvei dal legname vivo o morto, eseguita con lo scopo di ridurre la pericolosità di eventi di piena (p.e., riduzione della scabrezza complessiva e di possibili ostruzioni a luci di ponti), è pertanto una pratica con un altissimo impatto ambientale (Sansoni, 2006).

Su scala globale le operazioni selvicolturali, le sistemazioni idraulico-forestali, e gli insediamenti urbani tendono a contenere i processi di approvvigionamento dei *LW*, con la conseguente perdita della funzionalità ecologica; tuttavia in molte regioni europee il recente abbandono delle attività pascolive e selvicolturali ha portato ad un aumento del materiale legnoso all'interno dei collettori a causa di un'incremento delle superfici boscate, specie nei territori montani, che implica maggiore pericolosità idraulica. Questi aspetti contrastanti determinano uno stato di “incertezza” da parte degli enti territoriali, in particolare quelli europei, che abbisognano di indicazioni scientifiche precise per attuare una corretta gestione della fascia riparia e del legname convogliato ai collettori, in maniera da integrare la sicurezza idraulica con la funzionalità ecologica.

Attualmente, la maggior parte delle informazioni relative all'influenza esercitata dal legname sulla dinamica fluviale e ai processi che ne controllano l'approvvigionamento, il trasporto ed il deposito riguardano i corsi d'acqua del Nord America, sebbene recentemente si stia assistendo ad un incremento della ricerca anche in ambito europeo. In Italia, le ricerche finora condotte sulla rete idrografica nazionale, sono veramente esigue, e orientate prevalentemente ai fini della sicurezza idraulica, piuttosto che verso l'aspetto ecologico. Tuttavia l'interesse da parte di enti pubblici, diretto alla gestione delle zone di pertinenza dei corsi d'acqua, è in notevole aumento.

Il presente lavoro si prefigge di caratterizzare la presenza attuale del legname in alveo in bacini montani delle Dolomiti venete, e di determinare i processi che concorrono all'immissione di questo materiale in alveo. Saranno presentati i risultati di diverse campagne di misurazione svolte su tredici sottobacini di ordine diverso (area drenata da 1,2 a 70 km²) appartenenti al bacino idrografico del Cordevole con sezione di chiusura al lago di Alleghe (nord di Belluno). Saranno condotte delle analisi statistiche per evidenziare le relazioni che sussistono tra la presenza di legname in alveo ed i caratteri morfometrici a scala di torrente e bacino. Particolare attenzione sarà rivolta nella determinazione dei fenomeni che causano il reclutamento di legname e quali sono i processi di inizio fluitazione, trasporto, e deposizione in alveo, studiando nel dettaglio le diverse forme di accumulo e gli effetti (idraulici, morfologici, e sedimentologici del collettore) ad essi legati. La quantità di materiale legnoso dei torrenti dolomitici verrà poi confrontata con dati di

letteratura riguardanti bacini montani a clima temperato in condizioni di quasi-naturalità, allo scopo di valutarne il probabile stato di alterazione derivante da secoli di gestione e manutenzione.

I dati derivati dalle campagne di misurazione e le successive analisi sono stati utilizzati nell'implementazione di un modello su base GIS in grado di determinare le zone di origine ed immissione del legname, nonché di riprodurre in maniera semplificata il suo successivo trasporto in alveo. Questo modello riproduce successivamente e separatamente tre principali processi: reclutamento *LW* da soprasuolo; trasferimento lungo i versanti; trasferimento nella rete idrica. Sono stati simulati tre diversi scenari possibili in relazione ad altrettanti eventi di piena, ottenendo il volume di materiale legnoso ipoteticamente pervenibile nei diversi bacini analizzati. I volumi di legname ottenuti con le simulazioni sono stati confrontati con quelli ottenuti dai rilievi in campo.

Il modello proposto si prefigge di essere un valido strumento per la pianificazione e gestione del territorio, attraverso l'individuazione dei sottobacini caratterizzati da un'elevata pericolosità idraulica connessa al materiale legnoso, ed evidenziando le aree sorgenti ed i tratti maggiormente a rischio di deposito eccessivo di legname.

2 - IL LEGNAME IN ALVEO

2.1 Lo studio del legname in alveo

Il legname perviene all'interno dei corsi d'acqua da più di 400 milioni di anni e da sempre ha rivestito un ruolo di fondamentale importanza nella dinamica fluviale (Montgomery et al. 2003). Nella maggior parte delle nazioni industrializzate la naturalità dei corsi d'acqua è stata modificata fin dalle epoche più remote.

Nell'ultimo secolo la superficie forestale mondiale si è ridotta di circa il 30%. Le specifiche cause della deforestazione variano da regione a regione, ma il motivo principale è semplice: aumentando il numero degli abitanti aumenta di conseguenza la richiesta di legno e prodotti derivati. Dopo la metà del secolo XIX, l'azione antropica sulle foreste italiane produsse un generale dissesto idrogeologico, con forti alterazioni del regime idrico, che si traduceva in ruscellamenti, erosioni, smottamenti e frane dei pendii più ripidi (Giordano, 1997). In epoca più recente la scoperta e l'utilizzo di nuove fonti energetiche, unitamente all'impiego di nuovi materiali per la costruzione, hanno determinato una diminuzione dell'uso del legno, interrompendo l'attività di gestione e cura dei boschi. Il forte spopolamento del territorio montano ha inoltre ridimensionato sia l'attività pascoliva, sia la povera agricoltura di montagna. Tutto ciò si traduce in un progressivo ma inesorabile abbandono di tutte quelle azioni che contribuivano al mantenimento dell'"efficienza" del soprasuolo. In Italia, ma anche nel resto dell'Europa si sta assistendo ad un aumento delle superfici boscate localizzate in quelle aree che un tempo erano adibite a prato o a pascolo, e pertanto aumenta la probabilità che il legname possa pervenire fino ai collettori. Questi elementi concorrono ad incrementare il rischio idraulico, e per questo il legislatore e gli organi competenti hanno sempre attuato interventi diretti alla "pulizia" dell'alveo tagliando ed asportando la vegetazione ripariale.

Nel Nord America si è invece assistito ad un fenomeno diverso. La più recente colonizzazione dei territori ha portato alla rimozione sistematica del legname e della vegetazione ripariale di molti fiumi fin dalla fine del diciottesimo secolo (Collins and Montgomery 2002). Queste azioni hanno indotto una modificazione delle reti idriche con conseguenti problematiche legate alla naturalità degli ecosistemi, molto sentite dall'opinione pubblica. Negli ultimi decenni sono stati fatti molti studi in questo ambito, i quali hanno dimostrato che i corsi d'acqua non alterati sono caratterizzati da diversi ed abbondanti habitat indispensabili per vari organismi (Beechie et al. 1994; Reeves et al. 1998), grazie soprattutto alla presenza di accumuli di legname che crea delle pozze (Abbe and Montgomery, 1996; Collins et al. 2002), causa avulsioni, mantiene canali multipli, e regola il flusso idrico. Molti sono gli autori che hanno confermato il ruolo determinante del

legname nella funzionalità ecologica complessiva di un corso d'acqua (Swanson and Lienkaemper, 1978; Hogan, 1986; Bisson et al., 1987; Montgomery et al., 1995, 1996; Bilby and Bisson, 1998). Per questi motivi in Nord America, si assiste sempre più spesso al ripristino della naturalità dei sistemi fluviali attraverso la reintroduzione di legname. In Europa invece, lo sviluppo di progetti simili è ancora molto limitato (Kail 2004), anche se recentemente, gli interventi di riqualificazione fluviale tendono ad usare in misura sempre maggiore materiale legnoso, spesso in strutture miste con massi, in opere quali rampe, soglie e piccole briglie (Lenzi et al., 2000; Lenzi, 2002; Ferro, 2002) imitando strutture ed unità morfologiche naturali in cui il legname è un elemento fondamentale che prende parte ai processi formativi.

Lo studio del legname in alveo e di tutti i suoi molteplici aspetti può essere fatto solo attraverso l'analisi in campo dei dati quantitativi sui volumi reali e potenziali, nonché di quelli qualitativi. La maggior parte di queste informazioni si hanno per il Nord America, ma anche in ambito europeo negli ultimi tempi si sta assistendo ad un aumento della ricerca (Piégay e Gurnell, 1997; Piégay et al., 1999; Gurnell et al., 2000a; Kail, 2003, 2004; Bertrand et Piégay, 2004).

In merito alla rete idrografica italiana, le ricerche finora condotte sono ridotte e orientate prevalentemente ai fini della sicurezza idraulica, piuttosto che verso l'aspetto ecologico. Sono stati condotti studi in fiumi di grandi dimensioni, come il Tagliamento (Gurnell et al., 2000b), e su torrenti montani di diverso ordine, in particolare nell'area del Trentino Orientale (Degetto, 2000) e nell'alto Bellunese (Slongo, 2005; Rigon, 2005; Tonon, 2005; Ebo, 2005; Siffredi Duranti, 2005).

L'interesse da parte di enti pubblici, diretto alla gestione delle zone di pertinenza dei corsi d'acqua, è in notevole aumento. Il Genio Civile, i Servizi Forestali, le Comunità montane, e altre istituzioni, devono ricercare un giusto compromesso nella cura della vegetazione ripariale (e del legname depositato), in maniera da preservare la funzionalità ecologica dei corpi idrici, e congiuntamente garantire la sicurezza idraulica.

2.2 Nomenclatura del legname in alveo

In letteratura s'individua fino a qualche tempo fa con il termine di *Large Woody Debris* tutto il materiale legnoso morto superiore ad una certa dimensione che è presente all'interno dell'alveo di un corso d'acqua, e ne condiziona le caratteristiche morfologiche, idrauliche ed ecologiche. Oggi si tende a non considerarlo come "detrito" pertanto si parla di *Large Wood* (LW), anche se indicano lo stesso tipo di materiale. Nel corso degli anni i diversi studiosi hanno adottato delle differenti dimensioni minime di classificazione. Ad esempio Benda et al (2002) considerano *WD* elementi con diametro e lunghezza minima rispettivamente di 0,08 m e 1,8 m, mentre per Wing and Skaugset (2002) è *LW* se hanno dimensioni di 0,15 m e 3,0 m. Tuttavia la maggior parte degli autori ha

adottato un diametro minimo di 0,1 m ed una lunghezza di 1 m. Nella realtà l'influenza del legname in alveo dipende dalle sue dimensioni relative alle dimensioni del canale (larghezza *bankfull*) in cui si trova (Hassan et al, 2005). Il materiale legnoso più piccolo, che solitamente viene intercettato dagli accumuli legnosi già esistenti, prende il nome di *Fine Wood (FW)*, e di solito (proprio per le dimensioni minori) è meno importante dei *LW* nell'ambito della fluviomorfologia. Infine un'altro appellativo usato per indicare tutto il materiale legnoso morto di dimensioni paragonabili a quelle dell'alveo è *Coarse Wood (CW)*. Per indicare invece una serie di tronchi incastrati tra loro che tendono a formare grandi accumuli legnosi, si usa il termine *log jams*.

2.3 Proprietà fisico-meccaniche del legno

In anatomia vegetale si attribuisce il nome di legno ad un complesso di tessuti delle piante superiori, composti essenzialmente da vasi legnosi destinati al trasporto della linfa grezza più altri elementi, con funzione di riserva o sostegno (Strasburger, 1995). Il legno presenta delle peculiari proprietà fisico-meccaniche e meccaniche che influenzano direttamente il galleggiamento ed il trasporto del legno in acqua. In particolare, vi sono delle caratteristiche che determinano il comportamento del legname:

- ✓ l'**anisotropia** che è dovuta alla diversità nella forma e nell'orientamento delle cellule dei vari tessuti, le quali determinano risposte diverse alle sollecitazioni meccaniche ed alle variazioni di umidità, a seconda della direzione presa in esame.
- ✓ Il **peso specifico**. Il peso specifico del legno è uguale per tutte le specie, e può essere indicato nello stato di secchezza assoluta in circa 1500 Kg/m^3 , ovvero una volta e mezzo il peso di un ugual volume di acqua. Il *peso specifico apparente* invece, varia da specie a specie, e anche all'interno della stessa pianta. Variazioni possono essere poi causate dall'ambiente dove è cresciuto l'albero, dall'umidità contenuta, e dalla presenza di nodi. Il peso specifico apparente del legno, è sempre minore di quello reale dato dalle pareti cellulari, perché vi sono degli spazi vuoti (lumi cellulari). Il più leggero che si conosca è il 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 che può superare i 1000 Kg/m^3 (Giordano, 1997).
- ✓ L'**igroscopicità** è la propensione di taluni materiali ad assorbire umidità dall'atmosfera circostante. Il legno è igroscopico in quanto è costituito da sostanze che sono affini per l'acqua, come i polisaccaridi parietali (principalmente cellulosa) ed alcuni estrattivi. L'acqua è contenuta nel legno in due forme: liquida nei microinterstizi della parete e nei lumi cellulari (*acqua di saturazione*), e aeriforme presente solo nei lumi (*acqua d'imbibizione*). Anche dopo lunghi

periodi di stagionatura, il legno contiene sempre un'aliquota d'acqua, in quanto tra l'umidità dell'aria e l'umidità del legno si stabilisce un equilibrio dinamico (Cavalli e Urso, 1997).

Il legname deposto ai lati dell'alveo subisce una idratazione continua. In questo processo l'acqua viene catturata dai residui ossidrilici (OH) della cellulosa, riuscendo successivamente a scomporre i legami idrogeno che collegano le catene del polisaccaride. Avviene una dilatazione della struttura, che si traduce in un rigonfiamento del legno. Il legname a contatto con l'acqua, dopo un periodo di tempo più o meno lungo, risulterà completamente imbibito, e non sarà più in grado di galleggiare. Quello deposto lateralmente, è invece influenzato dalla variazione di umidità atmosferica, pertanto si susseguiranno fasi di adsorbimento e desorbimento, determinando un continuo movimento della struttura, che tenderà a sfibrarsi, a perdere la corteccia e a formare cretti per lo più periferici. In ogni caso il legname presente nei torrenti, con il passare del tempo, e all'aumentare della sua umidità, diminuisce la resistenza alle sollecitazioni.

Sui tronchi incastrati tra i sedimenti lapidei di un torrente (come i *log step*), agisce una sollecitazione a flessione per azione dell'acqua. Questa provoca una curvatura che comporta una certa freccia. L'aumento di umidità fa diminuire la resistenza a questa spinta, secondo una legge che entro certi limiti può essere considerata rettilinea (Cavalli e Urso 1997). La resistenza può diminuire anche a causa di caratteri specifici, come la deviazione della fibratura, e la presenza di nodi, nonché le alterazioni provocate da funghi e insetti (Giordano 1997). La sollecitazione a flessione è dovuta alla spinta idrodinamica che agisce sui tronchi. Questa spinta è direttamente proporzionale alla velocità media dell'acqua, alla superficie del tronco investita dal flusso, e dipende inoltre da un coefficiente di resistenza. E' stato dimostrato che anche con piccoli eventi di piena, (portate con tempi di ritorno di 10 anni), la spinta idrodinamica che agisce sui tronchi è sufficiente a superare il limite elasto-plastico del legname e, quindi, in grado di rompere il tronco in pezzi più piccoli, finché il momento flettente non diventa sufficientemente contenuto. La rottura del legname, e la sua diminuzione in lunghezza, non è casuale, ma si può pensare che vi sia qualche relazione con la larghezza dell'alveo: il legname continuerà a bloccarsi e a spezzarsi in parti più piccole fino a che non raggiungerà una dimensione che consenta un facile deflusso lungo il collettore (Degetto, 2000).

2.4 Origine del legname in alveo

La quantità e la qualità del legname presente in alveo sono importanti indici di influenza morfologica e idraulica di un collettore. Essi dipendono dalle caratteristiche del bacino e del torrente, e dai processi che immettono il legname all'interno dell'alveo. Le dimensioni dei tronchi sono in stretta correlazione alle caratteristiche del soprassuolo che gli alimenta, in particolare all'età, alla densità e allo stato fitosanitario dei popolamenti (Siffredi Duranti, 2005). I fenomeni

che concorrono alla formazione dei LW variano a seconda del territorio in relazione alla componente spaziale e temporale, ma in generale, includono processi biologici (insetti e malattie fungine), e non biologici, quali frane, erosioni spondali, schianti dovuti da vento o da neve, colate detritiche e l'impatto antropico dell'uomo (Slongo, 2005).

Per quanto riguarda la componente spaziale, i processi d'immissione del legname in alveo sono essenzialmente condizionati dall'ordine del collettore e dalla geomorfologia dell'alveo, che sono strettamente correlati tra loro. Nei torrenti di primo e di secondo ordine, il legname ha un dominante potere di controllo della morfologia dell'alveo stesso (Keller e Swanson, 1979; Nakamura e Swanson, 1993). In questi tipi di torrenti infatti, la percentuale di superficie boscata è quasi sempre maggiore rispetto a quelli di ordine superiore così come assumono valori più rilevanti le dimensioni dei tronchi in relazione alle dimensioni del corso d'acqua (larghezza alla *bankfull* e tirante idrico). Anche la pendenza riveste un'importanza notevole. La maggior parte del sedimento e del legname è prodotto negli alvei con pendenze superiori al 15% (Ishikawa, 1990). Nei territori montani i collettori hanno un'inclinazione media molto elevata (anche 20-30%), e ad essi corrisponde una più alta pendenza dei versanti adiacenti, pertanto è naturale ipotizzare una maggiore quantità di legname che scivola lungo i fianchi. Inoltre, il forte dislivello, causa spesso zone di instabilità, con la formazione di smottamenti, frane e colate detritiche che sono i principali processi d'immissione del legname nelle reti idriche montane. In corpi idrici di ordine superiore, il fenomeno predominante è l'erosione delle sponde che tende a far cadere all'interno del collettore alberi che prima erano stabili (Grant e Swason, 1995). Questo processo si nota soprattutto nei canali meandriformi della fascia pedemontana, dove il ricambio vegetazionale è più lento e l'erosione della parte interna dell'ansa asporta piante di discrete dimensioni. Contrariamente, nei corsi d'acqua a canali intrecciati o in quelli a meandri di pianura l'erosione avviene a scapito della piana alluvionale e quindi il ricambio di specie arboree è più rapido a causa di questi fenomeni di "disturbo" (Citterio, 1996; Gurnell et al., 2002).

Da un punto di vista temporale i diversi processi di immissione possono essere classificati in tre categorie (Pecorari, 2003): *lungo termine* (nell'ordine di 100-200 anni) legati essenzialmente alla mortalità naturale delle piante che, aiutata dall'azione meccanica degli eventi atmosferici provvede alla regolare produzione di materiale; *medio termine* (10-20 anni), costituiti principalmente dall'erosione delle sponde; *breve termine* (nell'ordine di giorni), che comprendono piene ordinarie, colate detritiche, frane e incendi boschivi che generalmente causano l'apporto d'ingente materiale in zone circoscritte.

Considerando nell'insieme le cause ed i diversi fenomeni che concorrono al reclutamento del legname da parte dei collettori, si può intuire come le azioni antropiche volte alla modificazione

del territorio (pratiche selvicolturali, sistemazioni idraulico-forestali, costruzione di infrastrutture, ecc.) abbiano un ruolo cruciale nella determinazione del volume complessivo di *LW* e in tutti i processi che causano l'immissione del materiale legnoso in alveo.

2.5 Il legname in alveo e la gestione del territorio

Il tipo di gestione del territorio ha un'influenza diretta ed indiretta nel determinare il volume di legname presente in alveo. Le influenze dirette sono riconducibili a quelle azioni che implicano una variazione "immediata" della quantità e della distribuzione dei *large wood*, come ad esempio il taglio della vegetazione ripariale, le pratiche selvicolturali sui soprassuoli adiacenti il corso d'acqua e le opere idraulico-forestali che tendono a rimodellare l'alveo. Le influenze indirette riguardano più in generale il territorio e determinano delle variazioni sull'uso e sulla stabilità del suolo (insediamenti urbani e governo del territorio), nonché sullo stato di salute dei popolamenti arborei. Le operazioni selvicolturali sono quelle che hanno gli effetti più evidenti sulla quantità di materiale arboreo che entra nel corso d'acqua: a seguito di un taglio i residui delle lavorazioni che pervengono fino al collettore crescono notevolmente (Lisle e Napolitano, 1998). Inoltre confrontando torrenti che scorrono in regioni in cui viene praticato il taglio a raso con quelli delle foreste vergini, si è constatato che nei primi il deposito di legname è notevolmente maggiore (Swanson et al., 1984; Lisle, 1986). Le stesse attività selvicolturali possono avere anche effetti indiretti: le operazioni di taglio ad esempio, se eseguite razionalmente in coerenza con i parametri della stazione e del popolamento arboreo, migliorano l'efficacia antierosiva e regimante del bosco; al contrario se eseguite su vaste superfici inducono un deterioramento della stabilità del terreno. Anche il pascolo può presentare questa duplice attitudine: se turnato e razionato migliora la conservazione della cuticola erbosa, fondamentale per il suo potere regimante ed antierosivo; se eccessivo può aumentare la fragilità del suolo (Siffredi Duranti, 2005). Questi aspetti sono molto importanti nei bacini dei territori montani, a causa della loro caratteristica morfometria (altitudine, pendenza, ecc.) della variabilità di regime idrico, e dell'esposizione agli agenti atmosferici di forte intensità. La gestione del territorio si riflette anche nello stato di salute dei popolamenti arborei. La mortalità delle piante concorre ad aumentare la presenza in alveo di materiale legnoso, e può essere imputata a cause biologiche (morte naturale e malattie) o fisiche (Keller e Swanson, 1979). Le cause fisiche si manifestano con schianti e crolli provocati da eventi meteorici, e generalmente sono legate ad alcune caratteristiche dei popolamenti come il sistema radicale, l'apparato fogliare, la densità, la snellezza, e altri ancora. Molti di questi parametri possono essere modificati con tecniche selvicolturali: ad esempio effettuando diradamenti selettivi in boschi fitti, si diminuisce la snellezza (rapporto tra altezza e diametro) e quindi aumenta la stabilità meccanica.

Le operazioni selvicolturali riguardano anche le piante che si trovano all'interno dell'area d'influenza dei collettori. La vegetazione ripariale è quella in più stretto contatto con i corsi d'acqua, ed è il collegamento tra l'ecosistema lotico e quello terrestre. Essa presenta diversi vantaggi legati alla stabilizzazione del terreno e al miglioramento biologico-ambientale, in quanto arricchisce il torrente di particelle organiche e di materiale legnoso, fornisce un costante ombreggiamento e dà stabilità alle sponde, regola il movimento e la trasformazione dei nutrienti; inoltre crea un ambiente in cui si può accumulare della materia organica, sedimento e acqua, indispensabili per l'autodepurazione dai contaminanti (Gregory et al., 1991). Da un punto di vista idraulico la presenza di vegetazione all'interno del canale fa diminuire la velocità della corrente, ma nel contempo aumenta il livello idrometrico e quindi il pericolo d'esondazione. La formazione e lo sviluppo di questi gruppi vegetazionali, dipende in larga misura dai processi di disturbo che caratterizzano la rete idrica (Brinson, 1990). Sono considerati in tal senso, tutti quei processi che modificano la struttura della cenosi e del substrato sulla quale si è insediata. In un torrente montano questi eventi si verificano con regolarità, pertanto la vegetazione ripariale risulta fortemente variabile sia nel tempo che nello spazio. Nei tratti di torrente il cui fondo è reso stabile dalla presenza di legname i fenomeni di disturbo sono minori, perciò la distribuzione di *LW* rispecchierà la disposizione delle zone coperte da vegetazione ripariale, come è stato osservato nello studio fatto da Fetherston et al. (1995).

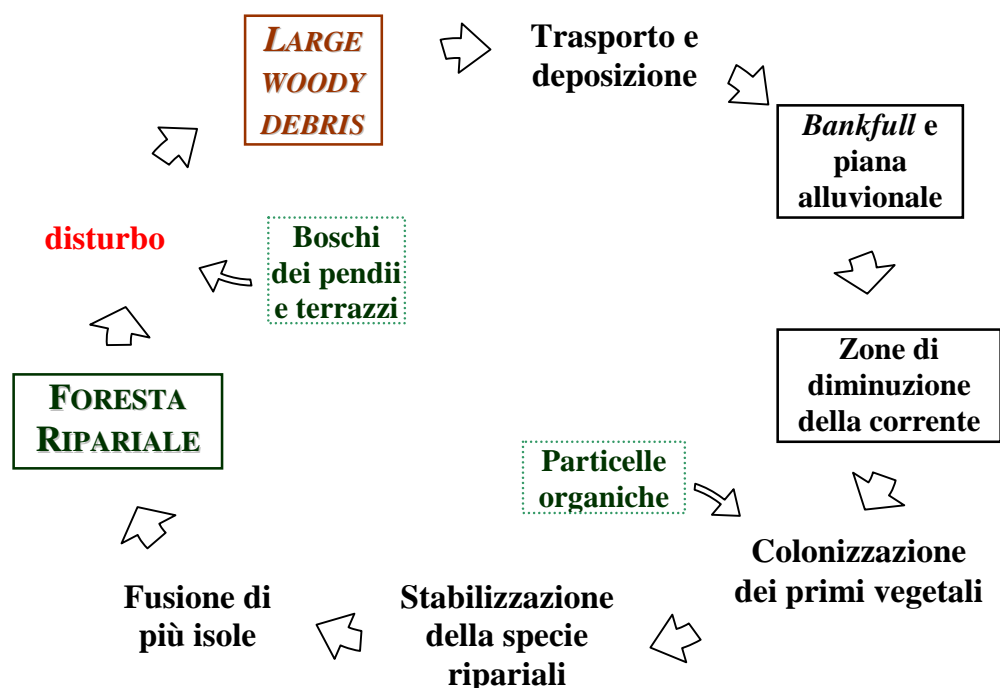


Figura 2.1 – Modello concettuale dello sviluppo della foresta ripariale montana, (da Fetherston et al., 1995).

La vegetazione ripariale si stabilisce all'interno della piana alluvionale in corrispondenza del legname depositato, che fornisce riparo e sostanza organica. Essa continua a svilupparsi (fusione di più isole), e crea ulteriori ambienti adatti per la colonizzazione (anche attraverso il reclutamento di altro legname fluitato) fintanto che non compaiono fenomeni di disturbo (figura 2.1). In questo caso, a seconda della magnitudo dell'evento, parte delle piante in piedi possono essere smosse e trasportate dalla corrente, causando danni anche di considerevole entità (Fetherston et al. 1995). Proprio per questo motivo, gli enti che devono operare per ridurre il rischio idraulico vedono nella vegetazione ripariale un ostacolo al flusso che deve essere eliminato. Se però si considerano anche i molti vantaggi che una copertura vegetale può apportare al corso d'acqua sul quale si instaura, risulta necessario intervenire favorendo una vegetazione in equilibrio con le condizioni locali specifiche, senza però dimenticare che l'obiettivo principale rimane quello della sicurezza idraulica (Della Giacomina 2004).

2.6 LW: moto incipiente, trasporto e deposizione

Per comprendere come il legname interagisce con il corso d'acqua è importante studiare la dinamica del trasporto, come avviene l'inizio del moto e il processo di deposizione. Il moto incipiente del legname in alveo è determinato da più forze agenti sul tronco stesso: *forza idrodinamica*, che è data dalla corrente; *forza di resistenza* del tronco, che ha la stessa direzione ma verso opposto rispetto alla forza idrodinamica; *spinta idrostatica*, che tende a far galleggiare il legno; *forza peso*. Esse dipendono in larga misura dalle caratteristiche del legno (diametro, coefficiente di forma, densità relativa), e sono funzione della morfologia del corso d'acqua, come il tirante idraulico, la velocità, e la pendenza. I parametri che più influiscono il moto incipiente, a parità di forma e peso del tronco, sembrano essere la pendenza del collettore, il tirante, e gli angoli formati dai tronchi con la direzione della corrente (Degetto, 2000). In particolare il regime idraulico della corrente condiziona fortemente la soglia d'inizio del movimento ed il trasporto del materiale. La velocità ed il tirante influiscono anche l'approvvigionamento di legname, perché all'aumentare di queste due cresce l'erosione spondale e l'area che copre la corrente, andando ad interessare anche zone laterali alla *bankfull* dove può reclutare materiale che si è depositato nella piana alluvionale (Siffredi Duranti, 2005).

Le caratteristiche fisico-meccaniche del legno e le proprietà del corso d'acqua influiscono direttamente sul galleggiamento e determinano in che modo il materiale in alveo si muove verso valle. Riassumendo si può dire che il trasporto del legname e del materiale vegetale in genere dipende in larga misura da due rapporti: *densità relativa* e *sommergenza relativa*. La prima è data dalla relazione tra densità del legno e quella del fluido in cui è immerso, mentre la sommergenza

relativa è la risultante del rapporto tra tirante idraulico e diametro del legno. Considerando la densità del fluido, si può affermare che il movimento del legname dipende prima di tutto dal tipo di evento che lo mobilita: trasporto liquido, trasporto di fondo, correnti ipervolumetriche e colate detritiche (*debris flow*). Per i primi due casi, valgono le leggi reologiche. In essi il trasporto del legname può avvenire in tre modi diversi (Degetto, 2000):

- ✓ per **trascinamento** e **rotolamento** sul fondo: il materiale si sposta rotolando o strisciando sul fondo sospinto dalla corrente. Questo si verifica quando vi è bassa sommersa relativa o quando la forza peso e di attrito supera la portanza;
- ✓ in **sospensione** nella corrente: il materiale si muove immerso nell'acqua evitando contatti con il fondo e con il pelo libero. Ciò avviene per un tirante idraulico maggiore del diametro del tronco e una densità del legname prossima a quella dell'acqua;
- ✓ per **fluitazione** e **galleggiamento**: questo si verifica quando il tirante idraulico è prossimo o maggiore del diametro del legno e la densità del legno è inferiore a quella dell'acqua; in tal modo la spinta idrostatica prevale nettamente sulla forza peso.

Diversi studiosi, attraverso osservazioni e prove in laboratorio hanno cercato di capire quali siano i fattori che regolano la cinematica dei tronchi. Braudrick e Grant (2001) hanno costruito in laboratorio un modello semiquantitativo che rispecchiava le caratteristiche geometriche del legname e quelle geomorfologiche del corso d'acqua, con lo scopo di determinare la distanza, il tempo impiegato e il modo in cui si depositano i tronchi trasportati. Essi hanno riscontrato che i tronchi galleggiano parallelamente al flusso fintanto che la parte anteriore non si scontra con il letto del fiume o sulle sponde. In questo caso i tronchi possono ruotare o rotolare, cercando di tornare nella posizione di origine e riprendere il loro moto. Se anche la parte posteriore si incastra, il movimento si arresta e il pezzo di legno si deposita. I siti più predisposti a questo sono le teste delle barre, le zone esterne delle bande e dove il flusso è poco profondo. Le dimensioni dei tronchi sembrano avere un'influenza diversa a seconda dei casi, ma è stato dimostrato che la lunghezza del legname è strettamente correlata alla distanza percorsa nella fase di trasporto. Gli autori individuano tre grandezze caratteristiche del canale (larghezza, sinuosità e tirante idraulico) e due caratteristiche del materiale legnoso trasportato dalla corrente (lunghezza e diametro) capaci di influenzarne la capacità di deposito (*DR*). Questa sarà data dalla seguente somma di rapporti:

$$DR \propto \left(\alpha_1 \frac{L_{log}}{W_{av}} + \alpha_2 \frac{L_{log}}{R_c} + \alpha_3 \frac{d_b}{d_{av}} \right) \quad (1)$$

dove L_{log} è la lunghezza del tronco, W_{av} è la larghezza del canale, R_c è il raggio di curvatura medio del canale, d_b è la profondità di galleggiamento e d_{av} è il tirante medio. I tre coefficienti α_1 , α_2 , e α_3 ,

hanno dei pesi diversi a seconda dei casi studiati. Questa formula si basa su valori medi, mentre spesso accade che le condizioni locali dell'alveo, influiscano molto di più sulla deposizione di materiale rispetto alle condizioni medie dei tratti.

Altri autori hanno confermato che il rapporto tra la larghezza del canale e la lunghezza dei tronchi in esso presenti influenza notevolmente la dinamica del trasporto del legname e la geomorfologia del collettore. Gurnell et al. (2002), osservando come varia questo rapporto hanno suddiviso i corsi d'acqua in tre categorie:

- ✓ ***small rivers***: la larghezza del collettore è minore della lunghezza media dei pezzi di legname. In essi i *LW* sono poco mobili e formano strutture caotiche indipendentemente dalle caratteristiche idrauliche, che controllano il trasporto ed il deposito di sedimenti e di altro materiale vegetale più fine.
- ✓ ***medium rivers***: la lunghezza della maggior parte dei tronchi è di poco inferiore alla *bankfull*. La mobilità del legname dipende dalle sue dimensioni e dal regime idraulico e di trasporto dei sedimenti.
- ✓ ***large rivers***: hanno dimensioni nettamente superiori al materiale fluitato. Il movimento di questi elementi è legato alla geometria del canale e alla distribuzione della velocità della corrente.

Riassumendo, i fattori che influiscono maggiormente il processo di deposizione del materiale legnoso trasportato da un torrente, secondo l'ordine d'importanza sono: caratteristiche dei singoli pezzi di legno (dimensione, forma e densità); dimensione del canale; regime di deflusso e di trasporto dei sedimenti; caratteristiche geomorfologiche del torrente (Gurnell et al., 2002). In particolare, il regime di deflusso influisce la quantità potenziale di materiale trasportabile, mentre le dimensioni e le quantità dei sedimenti possono creare importanti siti di accumulo, soprattutto nei torrenti di ordine inferiore, dove normalmente le dimensioni degli elementi più grandi superano il tirante idrico.

Un'altra classificazione del tipo di trasporto può essere fatta in base al grado di congestione degli elementi fluitati. La probabilità di congestione aumenta al decrescere dell'ordine del collettore. In tal senso vi possono essere tre tipologie di regime di moto (Braudrick et al., 1997):

- ✓ ***trasporto non congestionato***: i tronchi si muovono senza interagire tra di loro, e sono liberi di ruotare o rullare per passare gli ostacoli;
- ✓ ***trasporto congestionato***: i tronchi occupano più del 33% dell'area unitaria del canale, e si muovono tutti assieme, con moto ad impulsi;
- ✓ ***trasporto semi-congestionato***: è caratterizzato da tronchi che si muovono in modo intermedio, alcuni isolati, ed altri assieme come se fossero un unico corpo.

2.7 Morfologia degli accumuli di legname

Il legname in alveo tende ad aggregarsi per costituire accumuli definiti *log jams*, ovvero depositi formati da materiale vegetale morto di diverse dimensioni. Questi accumuli hanno molteplici influenze sia da un punto di vista biologico per la flora e la fauna lotica, sia da un punto di vista idrodinamico e morfologico del collettore. Le caratteristiche del collettore e del bacino sono le principali responsabili della tipologia degli accumuli. Anche la specie arborea influenza il moto del legname e il tipo di accumulo che esso può generare. Infatti le specie decidue sono caratterizzate dall'aver molti rami che rendono più difficoltoso il loro trasporto e facilitano la formazione di *log jams* perché tendono a captare altri residui legnosi più piccoli. Al contrario, le conifere, una volta cadute nel canale, tendono a formare dei pezzi cilindrici, i quali sono facilmente trasportati dalla corrente e quindi creeranno più difficilmente degli accumuli (Montgomery et al., 2003).

I modelli strutturali di aggregazione degli elementi legnosi variano sistematicamente al variare della dimensione del corso d'acqua considerato (Abbe et al., 1993; Nakamura e Swanson 1993) e spesso l'accumulo di legname in collettori di primo e secondo ordine appare caotico o addirittura casuale. In alvei più larghi il legname è più mobile e gli accumuli diventano più organizzati (Abbe e Montgomery, 1996, 2003; D'Agostino, 2004). La classificazione stilata da Abbe e Montgomery (2002) prevede la suddivisione degli accumuli di legname in tre grandi categorie in funzione dello spostamento che hanno avuto i diversi elementi nella formazione dei depositi (figura 2.2):

- ✓ ***in situ debris and jams***: sono formati da legname che non si è mosso dal punto di prima immissione in alveo. Generalmente si tratta di tronchi o altro materiale legnoso con dimensione e massa sufficienti da inibire la forza idrodinamica degli eventi di piena ordinaria. Essi tendono a mantenere le radici e i rami, che si spezzano durante il trasporto. Osservando le aree da cui hanno avuto origine (versanti o sponde) è possibile individuare il luogo esatto del distacco. In base all'orientamento, posizione, e numero di elementi chiave, si possono individuare due tipi di "accumuli autoctoni": *log steps* e *bank input*. I ***log steps*** sono particolari depositi sull'alveo, che si formano facilmente su torrenti con una *bankfull* limitata (circa minore di 15 m), e con una pendenza del canale alquanto elevata. Sono caratterizzati dalla presenza di uno o due elementi disposti più o meno ortogonalmente al flusso della corrente, incastrati alle sponde e al fondo: si forma così una struttura a gradino simile a quella degli *step-pools* anche per quanto concerne l'altezza e la spaziatura degli *steps* (Wohl et al., 1997). A volte i *log steps* possono interessare solo parte della larghezza a piene rive. I ***bank input*** sono formati da tronchi d'albero (spesso con le relative ceppaie) caduti direttamente dal loro luogo di crescita, in seguito a processi di erosione delle sponde, schianto, o movimento franoso dai versanti, tipico dei canali

confinati. Questi tronchi possono rimanere ancorati al loro substrato assumendo le più svariate posizioni, e a volte possono rimanere sospesi al di sopra della *bankfull*. I *bank input* ostruiscono solo parzialmente l'alveo, e pertanto hanno un effetto locale sulla morfologia del canale come la formazione di pozze e barre adiacenti agli accumuli. Con il passare del tempo, le cause che hanno immesso il materiale in alveo possono andare ad interessare porzioni sempre più estese, andando ad incrementare l'ostruzione. Gli accumuli *in situ* hanno delle notevoli influenze sulla morfologia e sull'ecologia del corso d'acqua e prendono parte ai processi di erosione e trasporto dei sedimenti.



Figura 2.2 – *Log step* presente lungo il torrente Davedino

- ✓ **Transport jams:** costituiti da materiale che è stato movimentato lungo il collettore. Generalmente il trasporto del materiale legnoso è massimo lungo la linea di *talweg* (linea di massima profondità e velocità del flusso), e quindi la deposizione avviene durante la fase calante delle piene in corrispondenza delle diramazioni di questa linea attorno ad ostacoli, isole e barre, o lateralmente alla *bankfull* (Braudrick et al. 1997). In questa categoria troviamo diversi tipi di accumuli stabili : *debris flow/flood*, *bench*, *bar-apex*, *meander*, e *log rafts*; e altri accumuli meno stabili: *bar-top*, *bank edge*, e *bank revetment*. **Debris flow/flood jams** derivano dalla deposizione di elementi legnosi trasportati da colate detritiche che hanno avuto origine da

frane superficiali (Swanson and Lienkaemper, 1978; Swanston, 1991). In altri casi le colate detritiche possono essere causate dalla rottura di dighe di legname, con la conseguente movimentazione dei detriti e tronchi che la compongono (*dam breaks*). Le *debris flow jams* sono strutture di grandi dimensioni caratterizzate da elementi disposti casualmente in tutte le direzioni. ***Bench jams*** sono formati da uno o più elementi chiave orientati rispetto al flusso in maniera parallela od obliqua, ed incastrati nelle irregolarità ed ostruzioni (massi, affioramenti rocciosi, ecc.) ai margini del canale (figura 2.3). Questi accumuli determinano una deviazione della corrente e tendono a reclutare altro materiale fluitati di dimensioni minori e intercettano molto sedimento fine. I ***Bar-apex jams*** si formano alla testa delle barre. Sono strutture molto stabili che hanno un'architettura caratterizzata da un elemento chiave, che generalmente è rappresentato da un grande tronco con l'apparato radicale disposto verso monte e parallelo alla direzione della corrente (figura 2.4). La presenza di questo elemento riduce la larghezza effettiva dell'alveo e favorisce il "rastrellamento" del materiale vegetale, riducendo ulteriormente la sezione di deflusso e creando le condizioni adatte per l'insediamento di specie pioniere. La formazione di questa struttura introduce un locale controllo del moto idraulico che comporta un fenomeno importante di modificazione della morfologia d'alveo. I ***meander jams*** sono le più stabili e comuni forme di deposito, soprattutto nei torrenti di ordine superiore. Sono formati da "elementi chiave" che si depositano lungo le sponde parallelamente alla direzione del flusso e hanno l'apparato radicale rivolto verso monte che tende a bloccare gli "elementi catturati". Si formano strutture tridimensionali che "armano" la parte concava della sponda interna del meandro e permettono lo stabilirsi di chiazze di vegetazione retrostanti che dipendono dalla dimensione della struttura. ***Log rafts jams***: sono accumuli di grandi dimensioni derivati dal trasporto congestionato d'ingenti quantità di elementi legnosi ("zattere"). Queste strutture erano più frequentemente osservate negli anni passati in grandi fiumi non ancora alterati dall'azione dell'uomo. ***Bar-top jams***: sono strutture casuali di legname con elementi anche verticali che si depositano sulla parte più elevata di una barra (parte mediana) durante la fase calante di una piena. Gli elementi che formano tale struttura sono orientati in tutte le direzioni, ma la maggior parte risulta essere obliqua alla direzione del flusso della corrente. Sono relativamente instabili e tendono ad essere depositate lungo le sponde se vengono mobilitate. I ***bank edge jams*** sono caratterizzati da elementi che si adagiano sul bordo delle sponde prive di elementi lapidei in grado di immobilizzarli. Sono orientati più o meno parallelamente al flusso, e tendono ad essere movimentati anche con piccole piene, e pertanto hanno un piccolo effetto sulla morfologia del collettore. I ***bank revetment jams*** sono accumuli simili ai *meander jams*, soprattutto se osservati da monte. In questi però non ci sono gli elementi chiave che si dispongono parallelamente al

flusso e che “rastrellano” altro materiale, ma troviamo dei tronchi che si dispongono parallelamente sui sedimenti laterali e rivestono le sponde, rallentando temporaneamente l’erosione. A volte questi accumuli vengono sommersi da vegetazione e sedimento, pertanto risulta difficile la loro individuazione. Mancando gli elementi chiave dei *meander* che danno stabilità alla struttura, i *bank revetment jams* possono essere smossi da piene ordinarie.

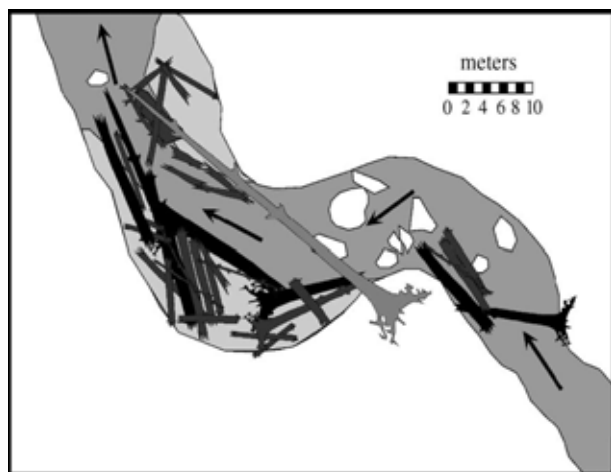


Figura 2.3 – Rappresentazione di un *bench jam* (da Abbe e Montgomery, 2003).

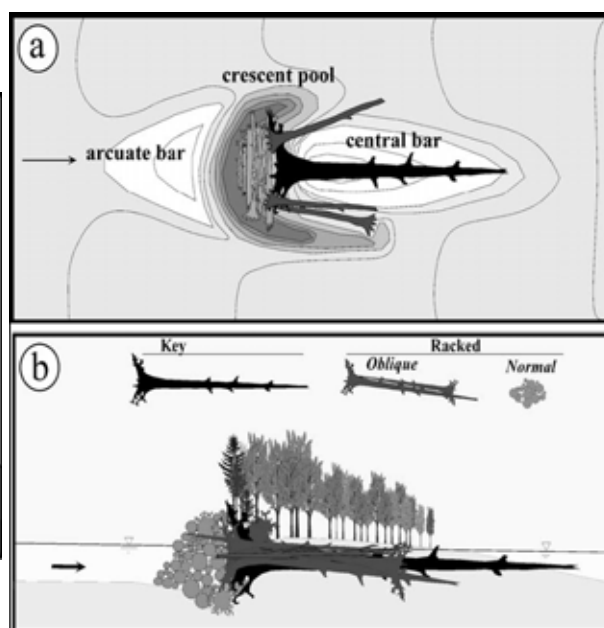


Figura 2.4 – Rappresentazione di un *bar-apex jam* (da Abbe e Montgomery, 2003).

- ✓ **Combinated jams.** Sono accumuli di legname composti in parte da elementi autoctoni e stabili ed altri trasportati dal canale, che si aggiungono in un secondo momento. Troviamo in questa categoria due tipi di accumuli: *valley jams* e *flow-deflection jams*. Le *valley jams* sono formate da grandi piante cadute all’interno del collettore (elementi chiave), che creano un’ostruzione di grande dimensioni (figura 2.5 sinistra). La deviazione di corrente che si crea tende ad erodere le sponde e a reclutare altri elementi presenti lateralmente all’occlusione fino a raggiungere una dimensione che supera la sezione della *bankfull*. Generalmente, nei canali confinati, queste strutture si creano in corrispondenza di frane dei versanti o in aree dove ci siano stati degli schianti dovuti al vento, o altri eventi calamitosi di grande entità. Si formeranno delle vere e proprie dighe (chiamate anche *debris dam*), sviluppate in altezza, la cui stabilità dipende dalle dimensioni degli elementi chiave. **Flow-deflection jams:** formato da alcuni elementi chiave che si trovano nel luogo di prima immissione e da molti altri fluitati (figura 2.5 destra). Generalmente gli elementi chiave ruotano attorno all’estremità rivolta verso la sponda, e tendono ad allinearsi al flusso della corrente.

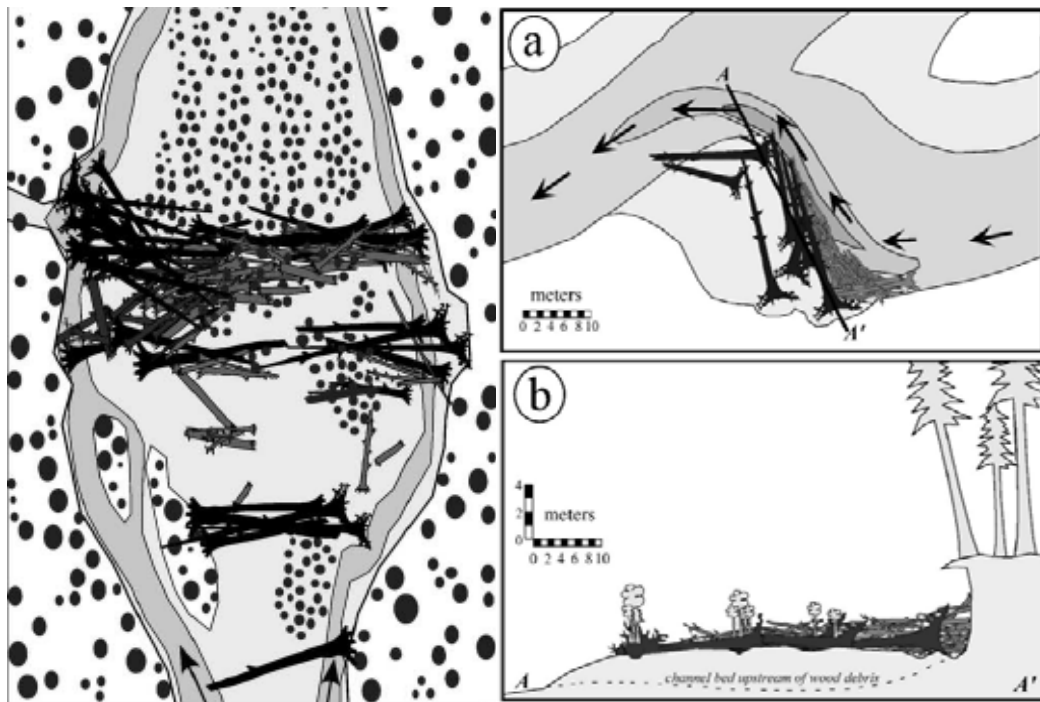


Figura 2.5 – A sinistra, planimetria schematizzata di un valley jam; a destra planimetria (a) e vista trasversale (b) di un *flow-deflection jams* (da Abbe e Montgomery, 2003).

Nel grafico riportato in seguito (figura 2.6) si possono osservare i diversi tipi di accumulo in relazione alla loro localizzazione all'interno della rete idrica (ordine del collettore e pendenza media), al meccanismo prevalente del reclutamento e il grado di alterazione che ha nel canale.

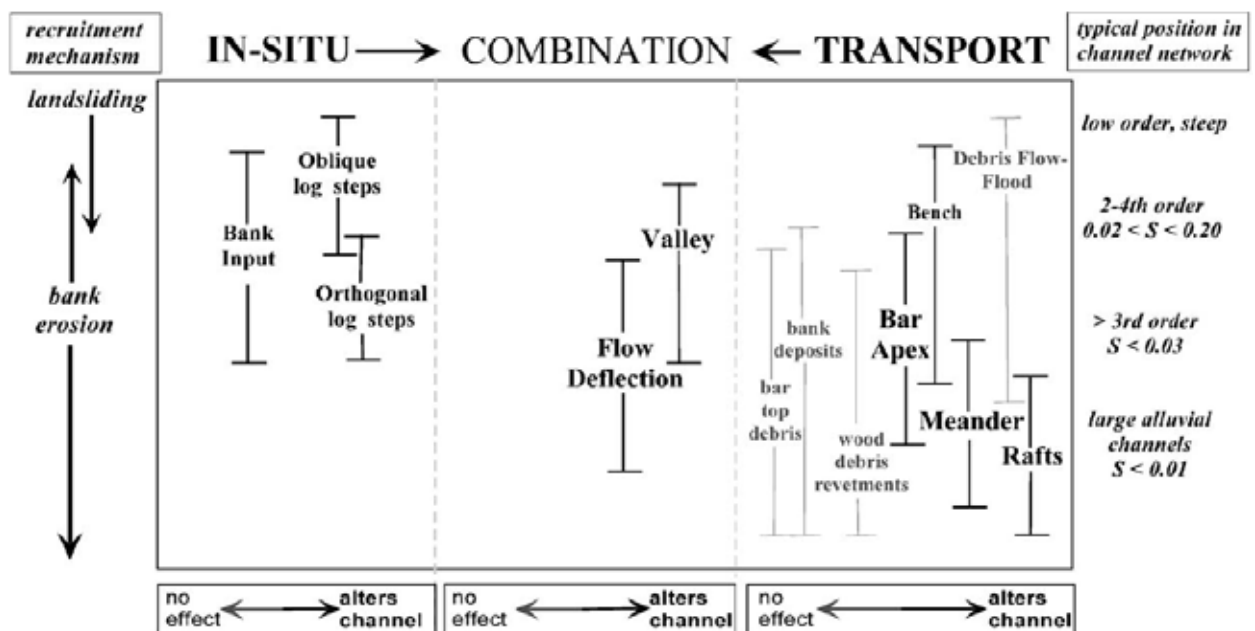


Figura 2.6 – Grafico riassuntivo dei tipi di accumulo dei legname in alveo e localizzazione nella rete idrica. (da Abbe e Montgomery, 2002)

2.8 Effetti del legname in alveo

I *LW* sono quasi tutti distribuiti nella zona attiva del canale, senza distinzione fra le dimensioni o i tipi di accumulo. Preferibilmente sono localizzati in specifiche strutture del fiume come le barre, o le rive, dove la velocità della corrente diminuisce (Piégay et al., 1999). Essi provocano un aumento della scabrosità del torrente e inducono complesse interazioni tra il flusso e i sedimenti (Lisle 1995; Manga and Kirchner 2000). Questi “meccanismi” stanno alla base di tutti i fenomeni fluviali legati al legname in alveo, che aumentano d’importanza all’aumentare della scala (spaziale e temporale) con cui si osservano i fenomeni. Ad esempio un singolo tronco può determinare una morfologia locale imposta, divenendo un elemento chiave per la ritenzione dei sedimenti e della sostanza organica e di conseguenza concorrere a creare dei microhabitat indispensabili per gli organismi acquatici.

Il legname che perviene fino al reticolo idrografico presenta molteplici e spesso sovrapposti effetti, che possono essere raggruppati nelle seguenti tipologie: idraulici, erosivi-sedimentologici, morfologici ed ecologici.

2.8.1 Effetti idraulici

Un tronco immerso in una corrente libera crea inevitabilmente una separazione della corrente e una turbolenza che dipende dal numero di Reynolds:

$$Re = U \cdot D / \nu \quad (2)$$

dove U è la velocità del flusso libero, D è il diametro dell’ostacolo (semplificato di forma cilindrica) e ν è la viscosità cinematica del fluido. Questo parametro definisce il tipo e le dimensioni della zona di turbolenza. Con $Re \approx 10$ si formano dei vortici circolari simmetrici; se assume valori prossimi a 10^2 si osservano dei vortici alternati, mentre con $Re \approx 10^4$ vi è una turbolenza più regolare in regime subcritico. Quanto il numero di Reynolds risulta prossimo a 10^5 si crea un regime critico, e se aumenta ulteriormente si passa al supercritico (Mutz, 2003). Nei corsi d’acqua naturali gli effetti idraulici dei *LW* dipendono soprattutto dalla combinazione tra la sommergenza relativa (rapporto tra tirante idraulico e diametro del tronco) e il numero di Froude. Se il legname è situato in prossimità della superficie libera gli effetti idraulici spariscono entro una distanza massima pari a 10 volte il diametro dell’elemento che ostruisce parzialmente il flusso (Beebe 1997; Mutz 2000).

La posizione che un tronco assume può creare quattro possibili tipi di ostruzioni: verticale, obliqua, orizzontale e a gradino. Le strutture verticali creano vortici e mulinelli turbolenti che erodono il letto del canale e che hanno un comportamento molto simile alle pile dei ponti (Melville,

1992, 1997), creando delle zone di erosione localizzate che hanno delle forme caratteristiche (*scour pools*, *eddy pools* e *diammer pools*, Robison e Beschta, 1990). Le ostruzioni oblique hanno influenze simili a quelle verticali, ma sono rese più complicate dalle accelerazioni della corrente sopra, sotto e attorno all'elemento con conseguente erosione (creano *scour pools* ed *eddy pools*). L'orientamento dei tronchi determina un diverso comportamento idraulico del flusso che interessa l'ostacolo: Gippel et al. (1996) attraverso una sperimentazione fatta su fiumi con bassa scabrezza, hanno dimostrato che il coefficiente di attrito diminuisce notevolmente quando l'angolo di orientamento scende sotto i 65° (90° è perpendicolare, e 0° è parallelo). Al contrario, studi fatti su alvei con letto in ghiaia (Hygelund and Manga, 2002) hanno documentato che l'orientamento del legname non ha efficacia nel coefficiente di attrito, probabilmente perchè la scabrosità dell'alveo influisce sul gradiente di velocità verticale.

Gli sbarramenti orizzontali che non sono appoggiati in alveo deviano la corrente verso il fondo sottraendo sedimenti dalla base d'appoggio del legname e formando fosse denominate *underscour*. Le ostruzioni di tipo a gradino (*log steps*) si generano quando un tronco blocca il flusso della corrente dando origine ad uno scalino all'interno dell'alveo del collettore. I *log step* creano dei getti liberi che formano delle pozze sottostanti (*plunge pools*), la cui profondità dipende da grandezze idrauliche come l'energia del getto, il tirante idraulico e dal grado di turbolenza della corrente (Mason e Arumugan, 1985; Bormann e Julien, 1991). Anche le caratteristiche di tipo morfologico condizionano la profondità di erosione a valle dei *log step*, come la geometria e la pendenza del collettore, la dimensioni dei sedimenti e la scabrezza idraulica (Buffington et al., 2002). In molti torrenti delle zone forestali i *log steps* e gli accumuli legnosi sono i maggiori responsabili delle dissipazioni energetiche (Keller e Swanson, 1979). In uno studio fatto su canali con letto in ghiaia nelle vecchie foreste del sud-est dell'Alaska, Buffington (2001) dimostrò che quasi il 60% dello sforzo di taglio al fondo nella *bankfull* è esaurita dalla resistenza di forma causata dal legname. Corsi d'acqua con abbondanti salti hanno una risposta migliore ad eventi di piena non eccezionali (tempi di ritorno di 5 anni), per via della dissipazione energetica causata proprio dai *log step*. Ma con eventi di maggiore intensità questo effetto viene meno, in quanto l'influenza dei piccoli salti, è molto minore rispetto al tirante (Faustini e Jones, 2003).

Il legname che è a contatto o parzialmente incassato nel fondo di un corso d'acqua, determina delle tensioni tangenziali con la formazione di vortici circolari che si sviluppano davanti e dietro l'ostacolo. Si avrà una diminuzione della velocità idrica, e conseguentemente un aumento di tirante. La tensione totale è data da:

$$\tau_0 = \gamma \cdot R \cdot i \quad (3)$$

dove γ è il peso specifico dell'acqua, R è il raggio idraulico e i è la pendenza della linea piezometrica. Questa tensione crea una dissipazione energetica per attrito che dipende in larga misura dalla scabrezza del contorno bagnato e dal numero di Reynolds (D'Agostino, 2004). Per una corrente in moto uniforme, la tensione totale può essere suddivisa secondo diverse componenti ciascuna delle quali caratterizza un particolare elemento di scabrezza:

$$\tau_0 = \tau_{GS} + \tau_{BF} + \tau_{LW} + \tau_{others} \quad (4)$$

in cui τ_{GS} è la tensione effettiva che si riscontra sul letto, τ_{BF} è la componente dovuta alle forme di fondo, τ_{others} altre cause di resistenza al moto (es. salti) e τ_{LW} è la tensione dovuta al legname (Einstein e Banks, 1950). Manga e Kirchner (2000) effettuando delle misure in laboratorio, hanno stimato l'influenza di quest'ultima componente della tensione tangenziale. Immergendo un oggetto in un flusso uniforme di velocità media U , la forza per unità di area su questo oggetto sarà:

$$\frac{F}{A} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot C_D \cdot U^2 \quad (5)$$

in cui A è l'area della sezione dell'oggetto perpendicolare al flusso, ρ e U sono la densità e la velocità del fluido e C_D il coefficiente di scabrezza. Quest'ultimo varia a seconda delle condizioni. Per avere un termine di raffronto è stato considerato il caso di un cilindro di diametro paragonabile alla profondità del canale, caso già valutato in passato (Batchelor, 1967). Come risultato Manga e Kirchner ottengono un valore che si discosta dal valore atteso, definito valore apparente del coefficiente di *drag* e pari a:

$$C_D^{app} \approx \frac{C_D}{(1-B)^2} \quad (6)$$

in cui B viene detto *blockage* ed esprime il rapporto tra l'area ostruita dal legname e l'area totale della sezione perpendicolare al flusso. Tenuto conto di questo, il valore medio dello sforzo tangenziale τ_{LW} sarà:

$$\tau_{LW} = \rho \cdot C_D^{app} \cdot \frac{H}{2L} \cdot U^2 \quad (7)$$

dove L è la distanza tra i tronchi e H il diametro medio degli stessi. H/L rappresenta la densità di legname. Al crescere di questa la tensione data dai depositi aumenta, e quindi la velocità del flusso diminuisce. Ciononostante τ_{LW} aumenta più rapidamente e quindi c'è una netta diminuzione della forza tangenziale disponibile al fondo in presenza di LW .

Molto più complicati sono gli effetti prodotti dagli accumuli legnosi che si formano in corsi d'acqua naturali, e risulta difficile il confronto con le sperimentazioni fatte in laboratorio (Mutz,

2003), tuttavia è chiaro che la loro influenza sarà più rilevante all'aumentare delle dimensioni degli accumuli, ovvero del conseguente grado di contrazione della corrente.

2.8.2 Effetti erosivi-sedimentologici.

I *Large Wood* sono in stretta relazione con il sedimento trasportato dalla corrente e con quello depositato sul fondo. Le interazioni e gli effetti tra questi due elementi sono determinate dalle caratteristiche del corso d'acqua (dimensioni, pendenza, condizioni al fondo, morfologia ecc.), da quelle del legname e dal modo in cui si dispone. Nei torrenti che si sviluppano in territorio montano, le interazioni tra il legname ed i sedimenti sono accentuate rispetto alle zone di pianura per vari motivi: cospicue sorgenti di legname potenzialmente reclutabile dal torrente; forti pendenze sia del collettore principale che dei versanti; maggiori dimensioni relative del legname; granulometria dei sedimenti nettamente superiore; regime idrico alternato da periodi di magra a piene improvvise e di grande entità. In alcuni casi è stato visto che il legname presente nei torrenti montani può persino generare canali alluvionali dove le caratteristiche idrodinamiche (alti sforzi di taglio alla base e basso tasso di rifornimento di sedimenti) dovrebbero portare alla formazione di corsi d'acqua con letto in roccia (Montgomery et al. 1996). Le grandi dimensioni di sedimenti presenti nei torrenti di ordine inferiore e i tratti confinati possono creare sezioni critiche, dove il materiale legnoso trasportato tende ad incastrarsi. Questi elementi possono a loro volta trattenere altri sedimenti o altro legname di dimensioni sempre più fine (effetto intasamento) concorrendo alla formazione di barre e di complessi accumuli generalmente stabili. La divergenza di corrente che si crea attorno a queste ostruzioni, determina la formazione di vortici che possono dare origine ad ulteriori zone di deposito e tendono ad erodere le sponde o il letto del fiume modificandone la geometria. Queste azioni dipendono principalmente dal diametro del tronco, dall'angolo d'attacco, dalla velocità della corrente, dal tirante idraulico e dalla pendenza del collettore (Beschta, 1983; Cherry e Beschta, 1989). Gli effetti combinati del legname e dei sedimenti determinano una scabrezza che può ridurre significativamente l'energia cinetica del flusso, diminuendo di conseguenza le dimensioni medie della granulometria superficiale (Mac-Donald and Keller 1987; Assani and Petit 1995; Lisle 1995; Buffington and Montgomery 1999; Manga and Kirchner 2000). Alcuni autori dopo aver effettuato studi diversi in diversi corsi d'acqua hanno stimato che il sedimento bloccato dal legname può arrivare anche al 50% del sedimento totale (Keller e Tally, 1979; Megahan, 1982), o in altri termini, che è pari a 10-15 volte la produzione annua di sedimento (Megahan e Nowlin, 1976; Swanson e Lienkaemper, 1978; Megahan, 1982; Swanson e Fredriksen, 1982).

2.8.3 Effetti morfologici

Ogni singolo elemento legnoso che si trova all'interno di un collettore contribuisce al condizionamento delle "forme" del corso d'acqua e in alcuni casi può arrivare a creare delle morfologie imposte (Montgomery e Buffington, 1997). Se questi elementi si aggregano i loro effetti sono particolarmente accentuati. I *log jams* possono far divergere il flusso della corrente creando così canali multipli e trasformare un singolo collettore in una serie complessa di rami di larghezza minore (Harwood e Brown, 1993), come spesso accade nelle aree di fodovalle, dove la pendenza minore favorisce la divergenza. Il legname può quindi far variare la larghezza del canale, anche a causa delle erosioni localizzate che fanno aumentare la sezione del collettore. Questo implica che la larghezza di un corso d'acqua che attraversa territori boscati è fortemente irregolare. La variazione e l'aumento della larghezza del canale infatti, sembrano strettamente legati alla presenza di foreste o di "*log jams*" in alveo, come dimostrato da vari studiosi (Zimmerman et al., 1967; Trimble, 1997; Davies-Colley, 1997). Bisogna però dire che la presenza degli apparati radicali sulle sponde preserva le stesse dall'erosione, e dà stabilità alla morfologia del torrente (Smith, 1976). Gli effetti del legname sulla morfologia del canale variano a seconda della stabilità del legname che crea l'ostruzione. La stabilità sarà più o meno elevata in funzione della dimensione del legno stesso, rispetto alla larghezza e profondità del torrente (Bisson et al., 1987). Si è visto che le ostruzioni che maggiormente influiscono sulla forma del canale sono i *valley jams*, che sono dei grandi accumuli molto stabili che possono far migrare lateralmente il corso (canali non confinati), o creare delle vere e proprie dighe con conseguente formazioni di salti idraulici anche di notevole dislivello. I *log step* possono formare delle sequenze simili a *step-pool*, e il loro contributo in termini di dislivello può rappresentare una buona parte (tra il 6 e l'80%) della differenza di quota totale del tratto considerato (Keller e Swanson, 1979; Heede, 1981; Marston, 1982). La rimozione di *log step* può cambiare la morfologia di un corso trasformandolo da una canale caratterizzato da morfologia a *step-pool* ad un canale con rapide oppure in un letto piano; questo può dipendere dalla pendenza, dalla portata e dal carico di sedimenti dell'alveo. In modo simile il legname può indurre la formazione di una morfologia a *riffe-pool* in un tratto caratterizzato da letto piano oppure in un alveo in roccia (Swanson et al., 1976; Montgomery et al., 1995, 1996).

2.8.4 Effetti ecologici

Da un punto di vista naturalistico-ambientale il materiale legnoso all'interno dei collettori ha riflessi nettamente positivi, in particolare nella biodiversità e nel numero di esseri viventi, sia animali che vegetali. Di fatto i *LW* forniscono rifugio alle correnti veloci per la fauna ittica, dissipano l'energia del flusso (grazie soprattutto ai *log-step*), creano dei nuovi spazi, forniscono

protezione da possibili predatori e da effetti climatici (ombreggiamento ed eventi di piena in particolare) e aumentando la possibilità di spostamento dei pesci e maggiore stabilità dell'alveo. Il sedimento che viene trattenuto dagli accumuli di legname, e il legname stesso rappresentano un ottimo substrato stabile che può essere utilizzato come posatoio per avifauna, anfibi e rettili acquatici. Le *pool* che si creano contribuiscono a regolare il movimento e la trasformazione delle sostanze nutrienti intrappolando i residui ed i detriti organici (Sedell et al. 1988). Da un punto di vista trofico il materiale legnoso aumenta la sostanza organica grazie alla sua decomposizione, fornendo nutrimento per molte specie di microrganismi, interagendo in particolare con la produzione primaria di organismi autotrofi (alghe), che stanno alla base della catena alimentare.

2.9 Rischio idraulico connesso ai *Large Wood*

La presenza di materiale legnoso all'interno dei collettori assume molteplici e contrastanti funzioni. La sua presenza è inoltre causa di problemi idraulici, in quanto crea delle ostruzioni, determina erosioni localizzate e aumenta la scabrezza, accrescendo il picco di portata massima (Abbe e Montgomery, 1996). L'accumulo di *LW* all'interno dei corpi idrici può provocare danni a causa della perdita di efficienza delle opere idroelettriche e di derivazione dei canali, e inoltre può andare a contaminare i bacini delle riserve idriche (Ishikawa, 1990). In secondo luogo, il legname movimentato può andare ad intasare le luci dei ponti aumentando notevolmente la spinta idrostatica sulle pile, fino a causare il cedimento della struttura. Nei collettori montani il materiale fluitato riduce la funzionalità idraulica delle opere di trattenuta, in particolare delle briglie selettive. Gli elementi legnosi (tronchi, ramaglie, ecc.) tendono ad accumularsi disordinatamente a ridosso dei filtri favorendo il deposito dei sedimenti più fini, innescando una compattazione del deposito a monte rallentando (o bloccando) il meccanismo dell'autopulizia delle opere durante le piene ordinarie (Mazzalai et al., 2006). L'efficienza di trattenuta, ossia il rapporto tra i tronchi fermati dal filtro e quelli che passano, dipende sia dalle condizioni idrauliche, quali la profondità dell'acqua, la spaziatura delle maglie filtranti, l'inclinazione dei filtri, che dalle caratteristiche del legname che viene trasportato (Ishikawa, 1990). In passato, i territori montani italiani, erano maggiormente salvaguardati poiché garantivano la sussistenza alle popolazioni locali: si effettuavano le utilizzazioni boschive, eliminando gli alberi instabili; i torrenti, utili per irrigare le coltivazioni agricole, per il funzionamento di mulini e segherie, erano soggetti a regolare manutenzione; venivano falciati i prati e utilizzati i pascoli. Attualmente né la popolazione né gli organismi pubblici preposti gestiscono correttamente questo territorio, ne deriva uno stato di abbandono generalizzato che ne aggrava il già precario equilibrio; infatti i frequenti franamenti dei versanti e l'elevata quantità di materiale legnoso pericolante, per l'acclività dei versanti tende a finire nei

collettori idrici, con gravi conseguenze nel caso di eventi di piena. L'efficienza delle opere di trattenuta è fondamentale, infatti, durante le piene i processi di erosione e trasporto compromettono la stabilità dei versanti, generando una portata solida, che spesso rappresenta il fattore di pericolosità maggiore (Benini, 1990). Anche la morfologia dei torrenti montani naturaliformi influisce in modo negativo sulla sicurezza idraulica, questo poiché per tutta la loro lunghezza, la sezione si restringe e si allarga e le variazioni di pendenza diversificano l'ambiente creando luoghi originali e gradevoli, ma aumentano il rischio idraulico in quanto favoriscono grandi variazioni del regime delle portate liquide e solide.

Ancora oggi, la presenza di *LW* all'interno dei corsi d'acqua, tende ad essere sottovalutata nel computo del rischio idrogeologico complessivo e nella progettazione delle opere di trattenuta; le cause sono dovute al fatto che i fenomeni legati alla presenza del legname sono ancora poco studiati, e limitate sono le documentazioni relative ai precedenti eventi calamitosi. Tra questi, si annovera la devastante alluvione che colpì nel novembre 1966 diverse zone d'Italia, tra cui anche la frazione di Caprile, nel comune di Alleghe, sommersa da un'enorme massa di fango e legname, depositata dal torrente Cordevole e dai suoi affluenti Fiorentina e Pettorina che confluiscono nel collettore principale proprio in corrispondenza dell'abitato di Caprile (figura 2.7).



Figura 2.7 – Centro di Caprile (BI) in seguito all'alluvione del Novembre 1966

2.10 Stima dei volumi di legname movimentabile

Conoscere il volume di legname movimentabile durante un evento di piena è di vitale importanza nella progettazione delle opere di trattenuta. Esso può essere determinato attraverso delle misure dirette o con formule empiriche. Fino ad oggi sono molto pochi gli studiosi che hanno estrapolato delle relazioni multiparametriche, che collegano le caratteristiche del bacino e del collettore con una magnitudo di legname trasportabile.

Ishikawa (1990), studiando alcune aree del Giappone caratterizzate da una grande presenza di LW nei collettori, arriva alla conclusione che la quantità e la qualità del legname varia a seconda dei torrenti, e questo dipende principalmente dall'origine. Molte informazioni sul legname fluitato le ottiene attraverso l'interpretazione di foto aeree, in modo da determinare le zone in frana e con movimento di terreno evidenziando così le aree boscate in via di degradazione.

La relazione tra l'area drenata del bacino e il numero di tronchi trasportati da un evento di piena ha un involucro superiore della distribuzione data dalla seguente relazione:

$$N_{log} = 5000 \cdot A_b \quad (8)$$

con N_{log} il numero di tronchi, $kI = 5000$, e A_b area del bacino idrografico in (km^2) (figura 2.7).

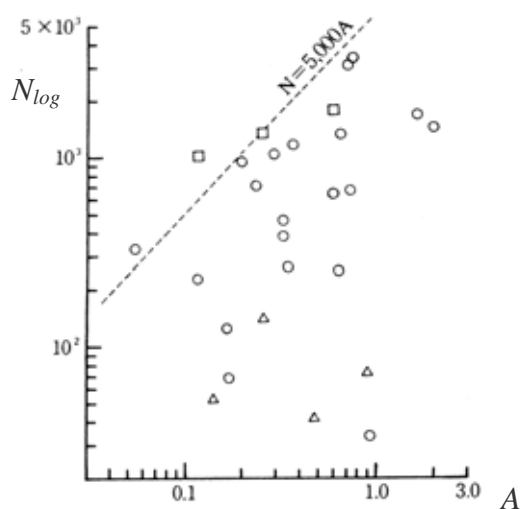


Figura 2.7 – Relazione tra il numero di tronchi prodotti e l'area drenata, (da Ishikawa, 1990).

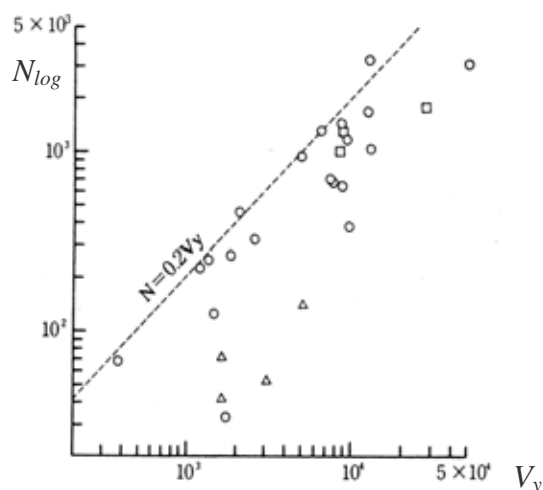


Figura 2.8 – Relazione tra il numero di tronchi e il volume di sedimento, (da Ishikawa, 1990).

Molto simile è la relazione ottenuta tra il numero di tronchi e il volume di sedimento prodotto. Il limite dell'involucro superiore è infatti dato dalla seguente espressione:

$$N_{log} = 0.2 \cdot V_y \quad (9)$$

dove V_y è il volume di sedimento prodotto in m^3 (figura 2.8). Essa indica che vi è una relazione diretta fra il trasporto di sedimento e quello di legname. Ishikawa sostiene che tali relazioni sono

possibili perché i tronchi trasportati e il sedimento prodotto sono (di norma) proporzionali alle aree con movimenti franosi o con erosione spondale. (Degetto, 2000).

Sono state ricavate anche delle formule statistiche che mettono in relazione il volume di legname trasportato V_g (m^3) (formula 10) (figura 2.9) con l'area del bacino idrografico A (Km^2), o con il volume di trasporto solido V_y (m^3) (formula 11) (figura 2.10).

$$V_g = 500 \cdot A \quad (10)$$

$$V_g = 0.02 \cdot V_y \quad (11)$$

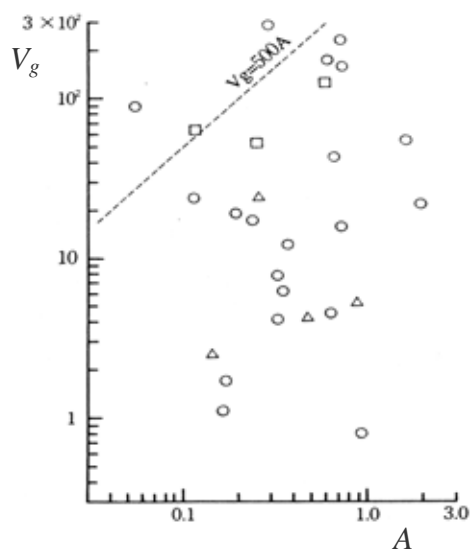


Figura 2.9 – Relazione tra il volume di legname trasportato e l'area drenata, (da Ishikawa, 1990).

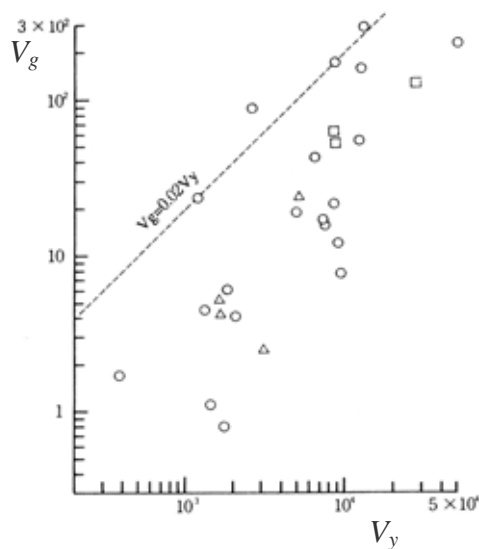


Figura 2.10 – Relazione tra il volume di legname e il trasporto solido, (da Ishikawa, 1990).

Nel 1996, Uchiogi et al., hanno cercato di proporre una metodologia per pianificare gli interventi atti ad impedire il libero deflusso del legname durante un evento di piena. In primo luogo, al fine di definire il volume di sedimento trasportabile (V_y), ritengono necessario stimare le dimensioni di eventuali frane o crolli di versante e la possibilità di formazione di un *debris flow*. Successivamente stimano i volumi, i diametri e le altezze delle piante viventi in piedi o morte sull'alveo che possono essere coinvolte da eventi di *debris flows*. Il volume del materiale vegetale è, quindi, calcolato mediante la formula 11, oppure con la relazione:

$$V_{log} = K_5 \cdot A_w \quad (12)$$

con V_{log} volume di legname (m^3) e A_w area boscata del bacino idrografico (km^2). La costante k_5 ha un valore da 10 a 1000 per le foreste di conifere, da 10 a 100 per le foreste di latifoglie.

Generalmente il parametro k_5 è stimato da valori di eventi precedenti per ogni collettore. Moltiplicando il volume di legname per un rapporto di deflusso si perviene al probabile volume defluibile. Il rapporto di deflusso è calcolato tramite l'analisi di eventi storici oppure, in assenza di dati, viene posto uguale a 0,9 per torrenti con sezione di deflusso "stretta" o 0,8 con sezione "larga". Queste formule, nonostante l'impiego e il largo uso in Giappone, sono da applicarsi con molta cautela, in considerazione dell'arbitrarietà con cui si sceglie il valore del parametro k_5 che modifica i volumi di legname di 3 ordini di grandezza. Inoltre, la libertà con cui si definisce la sezione di un torrente, lascia intendere che forse il metodo deve ancora essere affinato (Degetto, 2000).

Uno dei primi studi sviluppati in Europa e riguardante il trasporto di legname è stato svolto da Rickenmann (1997). Secondo lo studioso il volume di legno flottante V_{log} (m^3) trasportato durante gli eventi di piena è correlato alla superficie del bacino idrografico A_b (km^2) secondo la relazione (13). Lo stesso autore però accerta che la distribuzione dei dati è abbastanza dispersa, (figura 2.11), sia per i grandi che per i piccoli bacini, pertanto la correlazione del legname con il bacino risulta molto bassa.

$$V_{log} \approx 45 \cdot A_b^{2/3} \quad (13)$$

Migliori sono i risultati ottenuti mettendo in relazione il legname fluitato con l'area boscata del bacino A_w , (formula 14) anche se con valori di superficie boscata al di sotto dei 100 Km^2 la dispersione dei dati è notevole, (figura 2.11), e la relazione perde di linearità.

$$V_{log} \approx 90 \cdot A_w \quad (14)$$

Per i dati svizzeri è stata anche studiata la dipendenza della quantità di legno dalla lunghezza degli alvei boscati L_w in km. Per L_w minore di 20 km risulta una dipendenza di tipo quadratico con il volume di legname V_{log} in m^3 :

$$V_{log} \approx 40 \cdot L_w^2 \quad (15)$$

Ulteriori ricerche fatte sugli idrogrammi di piena dei bacini hanno messo in evidenza come i volumi di materiale solido trasportato durante un evento possano essere correlati al massimo volume d'acqua transitato durante l'evento V_w (m^3) anche se tali valori sono spesso calcolati in modo approssimato (figura 2.11):

$$V_{log} \approx 4 \cdot V_w^{2/5} \quad (16)$$

Oltre all'effettivo trasporto di legno durante l'evento di piena viene considerata anche la quantità del legno potenzialmente movimentabile. Il legno flottante, trasportato con i deflussi più elevati, deriva in parte da erosioni spondali e da frane di versante e in parte da legname presente nel

letto del collettore. Può quindi ragionevolmente ipotizzarsi che esista una relazione tra il trasporto solido e il trasporto di legname. Le poche sperimentazioni svolte in aree alpine sembrano, secondo Rickenmann, rispecchiare i bacini idrografici giapponesi caratterizzati da piccole superfici drenate, con un'estensione massima di 2 Km². Le relazioni riportate sono però da considerarsi del tutto indicative, in quanto lo stesso autore riferisce come vi siano delle discordanze nel metodo utilizzato per il rilievo del legname, comprendendo in questa categoria diverse tipologie di materiale.

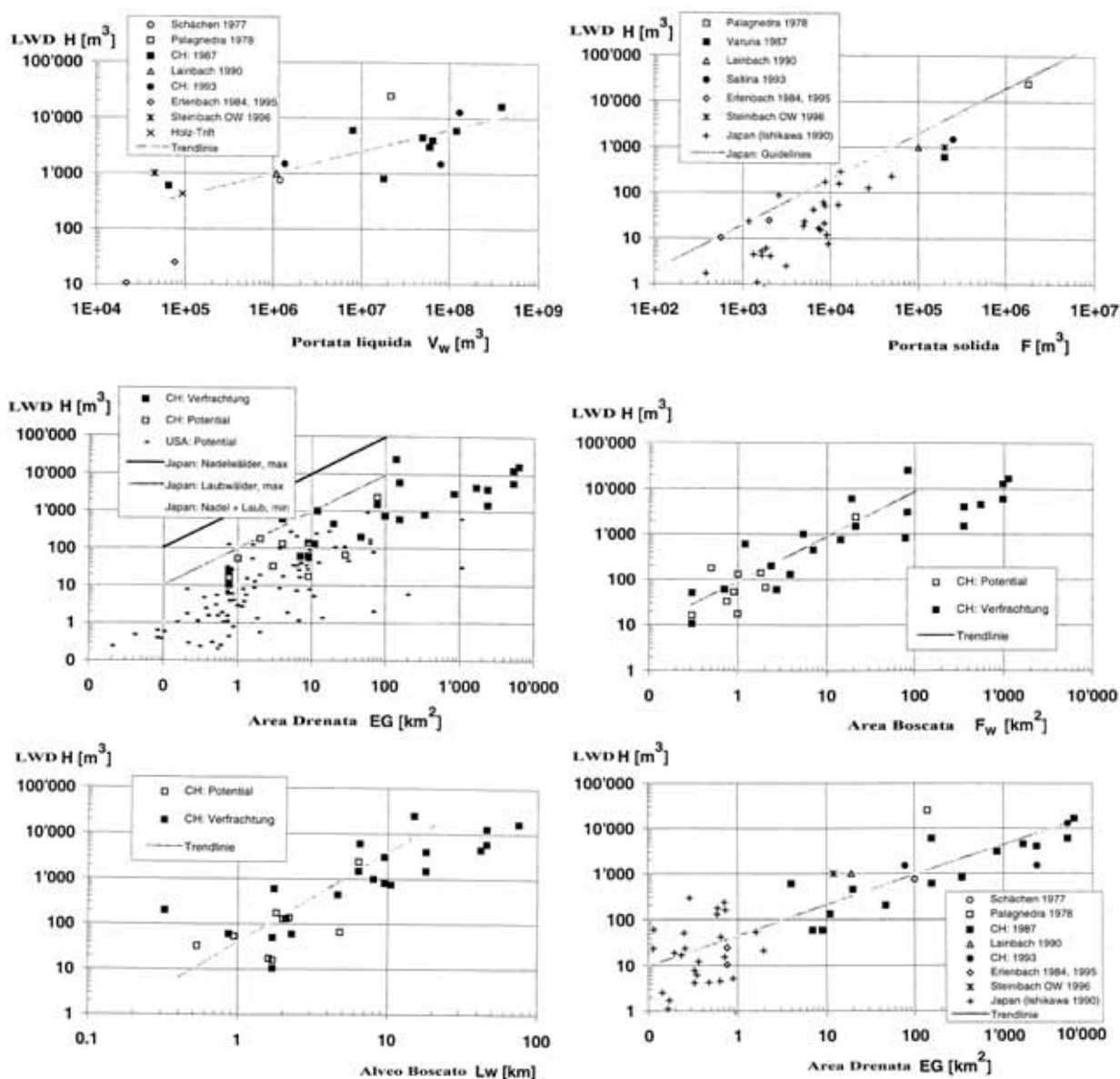


Figura 2.11 – Relazioni tra il volume di legname e alcuni parametri morfometrici del bacino, (da Rickenmann, 1997)

2.11 Modelli previsionali di produzione del legname in alveo

La maggior parte degli studi condotti negli ultimi decenni si sono concentrati sulla quantità e distribuzione del legname in alveo, mentre sono scarsi quelli che hanno cercato di determinare i processi legati a questo materiale come la mortalità delle specie forestali, il reclutamento nella rete idrografica, la rottura, il trasporto ed altri ancora. La dinamica del legname in alveo riflette i complessi processi che mutano a seconda di vari aspetti: regione geoclimatica considerata; intervallo di tempo; regime idrologico; geologia; composizione della superficie forestale; influenza antropica; forma dell'alveo; meccanismi di rottura; ecc. Per "modellare" questi processi e valutare come varia la risposta del sistema al variare dei "fattori di disturbo" e dell'attività umana, si deve ricorrere ad una rappresentazione astratta secondo l'interpretazione che l'osservatore fa della realtà ignorando la struttura interna del sistema. In altre parole l'implementazione di un modello viene fatta schematizzando solo i processi e i fattori che principalmente determinano il processo indagato.

I modelli che meglio si prestano alla rappresentazione della dinamica del legname sono quelli matematici, che possono essere classificati come dinamici e statici, a parametri distribuiti o concentrati, deterministici e stocastici, scalari e multi-variabili, descrittivi o meccanicistici. In generale i modelli sono usati per determinare la quantità di legname lungo la rete idrografica o per predirne la variazione nel tempo in seguito alle diverse gestioni territoriali attuate nel bacino. La quasi totalità dei modelli sono stati sviluppati nel continente Americano, per la maggior parte nell'area occidentale (Costa del Pacifico), mentre in altre zone del globo sono del tutto assenti o si trovano solo alcune applicazioni di questi (Gregory et al. 2003).

I primi modelli ideati simulavano un tasso d'ingresso di legname in alveo costante dalla foresta ripariale adiacente (Rainville et al. 1986; Van Sickle and Gregory 1990; Melanson and Kupfer 1993; Minor 1997), anche in base a misurazioni di massa ed età del soprasuolo (Murpy and Koski, 1989). I più recenti, invece, integrano gli input di legname con modelli di crescita delle superfici forestali su più larga scala spaziale e temporale (Bragg 2000; Kennard et al. 1999; Beechie et al. 2000; Downs and Simon 2001; Meleason et al. 2002; Welty et al. 2002; Benda and Sias, 2003). La maggior parte di essi sono modelli deterministici, anche se i modelli di crescita delle piante sono prettamente stocastici, perché possono agire su diversi scenari. I processi di reclutamento del legname in alveo sono rappresentati principalmente da morte naturale, schianti da vento e taglio della vegetazione riparia. Solo due modelli (Malanson and Kupfer, 1993; Downs and Simon, 2001) simulano altri tipi di processi di reclutamento, come avulsione dei canali od erosione spondale, mentre le frane e i movimenti di massa sono considerati solo da Benda e Sias (2003). I fenomeni di rottura, decomposizione e trasporto lungo la rete idrografica sono rappresentati esplicitamente dal *Streamwood* (Meleason et al. 2002): è un modello di tipo stocastico che si

suddivide in un *Forest model* ed un *Wood model*. Nel primo è possibile indicare la percentuale di superficie sottoposta a gestione forestale e le pratiche selvicolturali per ogni tipo di vegetazione (modella fino a 100 m di distanza dalle sponde). Nel modello del legname, l'entrata in alveo è funzione della distanza di caduta delle piante morte, mentre il trasporto lungo il collettore dipende dai deflussi (è possibile inserire anche un idrogramma) e dalle dimensioni relative del legname.

In generale, i diversi modelli sono legati allo scopo finale della modellazione stessa e alle caratteristiche ambientali, morfologiche e forestali del territorio da rappresentare. E' evidente che i modelli sviluppati per determinare l'influenza del taglio a raso su boschi adiacenti corsi d'acqua di ordine superiore, difficilmente possono essere utili per localizzare il legname in alveo nei torrenti montani. Tuttavia vi sono alcuni aspetti comuni derivati dai diversi studi, interessanti anche per la ricerca affrontata, di seguito specificati:

- ✓ Il tasso massimo d'ingresso o di immagazzinamento di materiale in alveo si ha dopo 150 – 200 anni dopo che si è instaurata una nuova vegetazione, in seguito a pratiche selvicolturali o fenomeni di disturbo naturale (incendi, schianti, ecc.).
- ✓ L'antropizzazione del territorio e le pratiche ad essa legate riducono il numero ed il volume di legname in alveo.
- ✓ La maggior parte delle piante (90%) sono reclutate da una distanza di 20 m dalle sponde.

Nella presente ricerca l'obiettivo finale è quello di determinare la presenza e fare delle previsioni future sulla quantità di materiale legnoso in alveo in porzioni del Territorio Dolomitico. I modelli precedentemente descritti sono difficilmente impiegabili in territori montani così vasti, soprattutto per la scarsa reperibilità dei dati di input. Inoltre, nella prospettiva di un utilizzo del modello previsionale da parte di tecnici ed enti preposti alla gestione del territorio, è indispensabile utilizzare delle tecniche e delle metodologie semplici e ripetibili, ma nel contempo sufficientemente affidabili nella modellazione a scala di bacino. I dati di input derivano da rilievi fatti in campo e dalle successive analisi; in Italia questo tipo di studi sono relativamente pochi, come si vedrà in seguito.

2.12 Studi condotti in Italia

Gli studi svolti in Italia, e diretti alla caratterizzazione ed alla quantificazione del legname in alveo sono ancora esigui. Le aree interessate riguardano il Fiume Cecina, in Toscana (Rinaldi et al., 2006), alcuni torrenti in Trentino Orientale (Degetto, 2005), e altri nell'Alto Bellunese.

Le operazioni di campagna svolte da Degetto (2005) hanno riguardato tratti d'alveo di diversi collettori montani che presentavano una rilevante quantità di materiale legnoso. Per i torrenti Caserine, Fumola, Ceggio, Vael, Udai e Dona è stato possibile determinare il volume di materiale

potenzialmente trasportabile con eventi di piena ordinari attraverso le misurazioni (diametro medio e lunghezza) del legname presente all'interno della *bankfull*. I *LW* sono stati caratterizzati anche qualitativamente in base a vari aspetti. Il volume del legname presente nell'alveo attivo definito come "volume di base", sembra dipendere dalla "lunghezza boscata" del collettore (estensione totale dei tratti che presentano vegetazione lungo le sponde) e dalla sua pendenza media. Dalle osservazioni del materiale legnoso è inoltre emersa una relazione che lega in maniera direttamente proporzionale la lunghezza dei tronchi trasportati durante eventi di piena e la larghezza della *bankfull*. Il "volume potenziale" è stato definito come il volume massimo di legname movimentabile ed è rappresentato da una certa aliquota del volume di base alla quale si somma il legname prodotto dalle zone di adiacenza dell'alveo, interessate dalla corrente. Lo stesso studio dopo una sperimentazione fatta in laboratorio ha evidenziato che le briglie aperte hanno un'efficienza di trattenuta del legname che migliora se a monte si trova un risalto idraulico e se il filtro ha una doppia inclinazione. Il risalto idraulico tende a disaggregare gli ammassi di legname e a diluire i tronchi su una superficie liquida maggiore, con un importante effetto di laminazione sulla portata di legname.

Gli studi condotti nell'area dell'Alto Bellunese riguardano tredici sottobacini del Torrente Cordevole. La maggior parte di questi sono stati monitorati ed analizzati durante i tre anni di attività del Dottorato di Ricerca, mentre per alcuni di essi i dati rilevati in campo derivano da lavori precedenti (Slongo, 2005; Rigon, 2005; Tonon, 2005; Ebo, 2005). Per i diversi sottobacini è stato analizzato e misurato il collettore principale e sono stati rilevati i caratteri qualitativi e quantitativi del legname in esso presente. La descrizione dettagliata delle metodologie e dei materiali utilizzati è descritta nel capitolo successivo.

3 - METODOLOGIE, MATERIALI E METODI.

Lo studio del legname in alveo, dell'origine, della dinamica, delle influenze, e di tutti gli aspetti positivi o negativi ad esso legati può essere affrontato solo attraverso un'indagine su diverse scale spaziali e temporali, in modo da cogliere i vari aspetti che hanno determinato e che definiscono questo "fattore". La quantità ed il tipo di materiale legnoso presente in un determinato tratto di torrente dipende da molteplici e complessi elementi che sono condizionati dalle caratteristiche del corso d'acqua stesso (morfologia, vegetazione ripariale ecc.), da quelle del bacino idrografico corrispondente (dissesti, superficie forestale, ecc.), e dall'azione dell'uomo che modifica direttamente ed indirettamente sia il sistema fiume sia il territorio circostante.

Con questo lavoro si è cercato di determinare come variano le caratteristiche del legname in alveo in diversi corsi d'acqua montani, considerando sia la componente spaziale che quella temporale. Per individuare e caratterizzare i diversi elementi che concorrono alla definizione del materiale analizzato, le indagini sono state condotte su più fronti, prima attraverso una fase di campagna su tredici sottobacini del torrente Cordevole, e quindi con delle analisi di laboratorio. Si riporta uno schema delle principali fasi operative affrontate:

- ✓ analisi e misura della morfologia dei torrenti;
- ✓ rilievi in campo dei caratteri qualitativi e quantitativi del legname in alveo;
- ✓ elaborazione tramite tecniche GIS e foto interpretazione dei caratteri morfometrici, geologici e di uso del suolo a scala di bacino;
- ✓ analisi statistico-probabilistica delle relazioni "legname - caratteri morfologici alveo", e "legname - caratteri a scala di bacino";
- ✓ caratterizzazione della gestione territoriale passata e presente dei bacini indagati (assestamento forestale, sistemazioni e manutenzione d'alveo);
- ✓ analisi dendrocronologica del legname in alveo;
- ✓ monitoraggio della mobilità del legname (TAG);

I dati ottenuti, sono stati quindi utilizzati per produrre un modello su base GIS che sia in grado di quantificare e prevedere la quantità e la movimentazione di legname reclutabile dalla rete idrica, nonché localizzare le aree sorgenti di potenziale *LW* e le sezioni "critiche" dove è più probabile la formazione di accumuli in alveo. La trattazione di come è stato provveduto all'implementazione di tale modello e dei risultati ottenuti, saranno riportate nel capitolo 6. Di seguito saranno descritte dettagliatamente le diverse metodologie utilizzate per individuare ed analizzare il legname in alveo, mentre successivamente verrà fatta una descrizione generale dell'area di studio, e si illustreranno dettagliatamente i sottobacini analizzati.

3.1 Analisi e misura della morfologia dei torrenti.

All'interno del bacino idrografico del T. Cordevole "chiuso" al Lago di Alleghe fino ad oggi le campagne di misura hanno riguardato 13 diversi sottobacini ed i corrispondenti collettori principali. Si riporta un elenco dei torrenti studiati e del periodo in cui si sono compiute le misure:

- ✓ **Rio Bianco:** giugno – agosto 2007 (Rosin, 2007);
- ✓ **Della Miniera:** giugno – agosto 2007 (Rosin, 2007);
- ✓ **Code:** agosto – settembre 2003 (Slongo, 2005);
- ✓ **Molini:** luglio – settembre 2004 (Ebo, 2005; Siffredi Duranti, 2006; Geremia, 2007);
- ✓ **Valbona:** giugno – agosto 2007 (Rosin, 2007);
- ✓ **Ornella:** giugno – agosto 2007 (Comel, 2007);
- ✓ **Cordon:** agosto – settembre 2003 (Slongo, 2005);
- ✓ **Davedino:** maggio – settembre 2006 (Calligaro, 2007; Spanevello, 2008);
- ✓ **Codalunga:** luglio – settembre 2004 (Rigon, 2005);
- ✓ **Andraz:** giugno – agosto 2007 (Comel, 2007);
- ✓ **Pettorina:** agosto – settembre 2004 (Tonon, 2005);
- ✓ **Fiorentina:** agosto – settembre 2003 (Slongo, 2005);
- ✓ **Alto Cordevole:** giugno – agosto 2007 (Zorzi, 2007).

Tutti i corsi d'acqua sopra citati sono stati suddivisi durante le campagne di misurazione in tratti di diversa lunghezza, (compresa tra 5 e 10 volte la larghezza a piene rive), in base alla variazione morfologica dell'alveo, ed in particolare osservando i cambiamenti di pendenza e di larghezza. Tali tratti sono stati segnalati con appositi picchetti sistemati lateralmente all'alveo. In generale, i rilievi sono stati eseguiti risalendo i collettori principali dalla sezione di chiusura, quasi sempre posta all'immissione nel corpo idrico a valle, fino al limite della vegetazione ripariale, o fino a quando le condizioni del territorio lo permettevano. Infatti, nei collettori di primo ordine la pendenza dell'alveo risulta talmente sostenuta da rendere alcuni tratti impraticabili, come ad esempio una serie di cascate dell'ordine di 20 m, nel Rio delle Miniere.

Per la maggior parte dei torrenti si sono eseguite delle indagini in continuo lungo l'intero collettore principale, analizzando e misurando i caratteri morfometrici principali di ogni tratto e il legname in esso presente. Durante i rilievi più recenti (estate 2007), e solo per il Rio delle Miniere, Valbona, Ornella, Andraz e Rio Bianco sono state adottate delle metodologie a campionamento sistematico, individuando i settori di torrente da analizzare precedentemente alla fase di campagna. Grazie ad un supporto GIS, sono state sovrapposte le foto aeree dei territori da esplorare al modello digitale del terreno, nelle quali si è proceduto sistematicamente all'individuazione delle aree d'alveo da campionare, così da coprire almeno il 10% della lunghezza totale del corso d'acqua principale.

Gli strumenti di misura utilizzati per il rilievo morfometrico dei torrenti sono rappresentati essenzialmente da cordelle metriche di diversa dimensione, aste graduate telescopiche, clisimetro (figura 3.1). Ogni tratto identificato, sia attraverso il rilievo a campionamento, che con quello integrale, è stato caratterizzato dal punto di vista della morfologia d'alveo e sono stati misurati i seguenti parametri:

- ✓ **Lunghezza** del tratto, misurata con una cordella metrica di 50 metri.
- ✓ **Larghezza alveo a piene rive (bankfull)** media del tratto, rilevata nel punto più rappresentativo;
- ✓ **Larghezza piana alluvionale**. Questo rilievo presupponeva una rapida analisi delle caratteristiche morfologiche delle sponde del torrente e, in caso di dubbio la ricerca di tracce lasciate da eventi di piena con tempi di ritorno di 50 anni.
- ✓ **Pendenza** media del tratto; rilevata con un clisimetro e un'asta graduata telescopica, lunga da 1 a 6 metri. La misura è stata eseguita da due persone: uno posto all'inizio del tratto con il clisimetro, e uno collocato nel punto finale, con l'asta graduata.
- ✓ **Tirante** medio in condizioni di piena ordinaria (piene rive). Rilevato con l'asta graduata;
- ✓ **Frequenza massi** con diametro medio superiore al tirante. Questi blocchi di pietra rivestono un'importanza cruciale nell'ambito della fluviomorfologia e della dinamica fluviale, in quanto sono gli elementi che più di ogni altro sembrano interagire con il legname fluitato. Durante piene ordinarie, questi massi di grandi dimensioni, non sono totalmente sommersi dalla corrente, pertanto riescono a "intercettare" il materiale trasportato, e possono formare degli accumuli caratteristici di vario genere, forma, e dimensione.



Figura 3.1 – Strumenti di misura utilizzati per il rilievo della morfologia d'alveo e degli elementi legnosi; Da sinistra: picchetti segnalatori, cordelle metriche, clisimetro, cavalletto forestale, asta telescopica.

Oltre alla misurazione dei parametri morfometrici, sono state annotate anche le unità morfologie dell'alveo secondo la classificazione di Montgomery and Buffington, (1997) adattata per i torrenti montani da Lenzi, d'Agostino e Sonda, (2000); Inoltre sono state riportate le caratteristiche salienti della piana alluvionale (presenza di vegetazione, massi, manufatti, ecc.) e la presenza di movimenti superficiali del terreno lungo i versanti, come frane o colate detriche; durante le campagne di misurazione più recenti sono state annotate le dimensioni approssimative delle frane di versante e delle erosioni spondali.

In alcuni casi ed in particolare per il Ru Davedin e per il T. Cordevole, si è provveduto al rilievo del profilo longitudinale attraverso un distanziometro laser modello *Impulse 200 Standard*[®]. Questo strumento determina le distanze lineari misurando il tempo che impiegano gli impulsi laser inviati a ritornare indietro dopo aver colpito il bersaglio. Inoltre, misura gli angoli mediante un inclinometro interno. Combinando distanze lineari e angoli, il distanziometro utilizzato può restituire misure di altezza, distanza orizzontale (distanza tra lo strumento e il piano verticale su cui giace il bersaglio), distanza verticale (distanza tra il bersaglio e il piano orizzontale a cui appartiene il distanziometro), distanza lineare (lunghezza del segmento di retta che unisce direttamente il distanziometro al bersaglio) e inclinazione. Lavorando all'interno dell'alveo di un torrente, in cui spesso la vegetazione ripariale rischia di disturbare gli impulsi laser falsando le misure, è molto utile la funzione "*filter*" che riduce la sensibilità del sensore affinché vengano registrati solo gli impulsi rimandati da un target specifico, come un riflettometro a prismi (figura 3.2).



Figura 3.2 – *Rilievo del profilo longitudinale di un tratto del Rù Davedin mediante distanziometro Impulse 200 Standard[®] e riflettometro.*

3.2 Rilievo del legname in alveo.

Le operazioni di rilevamento del materiale legnoso, compiute contemporaneamente alle misurazioni della morfologia dei diversi torrenti, hanno riguardato la valutazione quantitativa ed un'attenta descrizione degli aspetti qualitativi del legname. Sono stati analizzati tutti gli elementi con diametro medio superiore a 5 cm e lunghezza maggiore di 0,5 m presenti all'interno della zona d'influenza del corso d'acqua principale. Le dimensioni (diametro e lunghezza) sono state ottenute con l'utilizzo di cordelle metriche e cavalletto forestale. Particolare attenzione è stata rivolta nel descrivere la disposizione assunta dai vari elementi. Una prima distinzione è stata fatta tra il materiale *singolo* e quello *accumulato*.

Gli "accumuli" sono raggruppamenti di legname di varie dimensioni, che si deposita in diverse zone dell'alveo o della piana alluvionale. In generale, si è provveduto alla misurazione d'ogni singolo elemento e dell'accumulo nel suo complesso (larghezza, altezza, profondità). Per i torrenti Cordevole e Davedino si sono eseguiti degli studi approfonditi su ogni singolo accumulo, rilevando e riportando in apposite schede i seguenti parametri:

- ✓ **Tipo di accumulo** (origine, ubicazione, orientamento degli elementi, ecc.) secondo la classificazione di Abbe e Montgomery (2003) adattata ai Torrenti Dolomitici.
- ✓ **Localizzazione** all'interno dell'alveo: se destra, sinistra o in posizione centrale;
- ✓ **Elementi chiave** che hanno determinato la formazione dell'accumulo stesso. Di essi sono stati riportate le dimensioni e le caratteristiche principali;
- ✓ **Dimensioni**: lunghezza (l), altezza (h) e larghezza (B) da cui calcolare il volume ipotetico del parallelepipedo circoscritto (figura 3.4);
- ✓ **Numero** totale di elementi che formano l'accumulo
- ✓ Presenza di **materiale legnoso più fine**: elementi con dimensioni inferiori ai LW;
- ✓ Dimensioni del **cuneo di sedimento** quasi sempre trattenuto a monte (lunghezza, larghezza massima e minima, altezza: figura 3.5);
- ✓ **Contrazione**: rapporto tra la larghezza ostruita dell'alveo e quella totale;



Figura 3.4 – Dimensione degli accumuli



Figura 3.5 – Misura del cuneo di sedimento

Nel caso di *debris dem* e *log step* sono state misurate anche:

- ✓ l'altezza del salto;
- ✓ il numero dei tronchi che formano il salto;
- ✓ la larghezza della gavetta;
- ✓ le dimensioni della *pool* che si forma a valle (larghezza, lunghezza, profondità);

I detriti legnosi rilevati in alveo, sono stati descritti secondo vari parametri. Si riporta l'elenco delle varie categorie ed una breve descrizione delle caratteristiche considerate:

- ✓ **Classe vegetazionale:** conifere o latifoglie.
- ✓ **Tronchi o ceppaie.**
- ✓ **Ubicazione.** La maggior parte del legname si trova all'interno dell'alveo di piene rive; quando questo accade è considerato dentro. Quello esterno alla *bankfull* ed interno alla piana alluvionale viene definito marginale. Nei casi di transizione è stata introdotta la categoria *bankfull*, e per i tronchi di grandi dimensioni, in parte esterni all'alveo, si riportava la percentuale rispetto alla lunghezza situata all'interno. Sospesi sono considerati i tronchi che si trovano all'interno dell'alveo ma ad un'altezza superiore rispetto al tirante di piene rive. Generalmente sono piante di grandi dimensioni che derivano da sradicamento per erosione delle sponde o in seguito a frane; si appoggiano agli argini del torrente, o rimangono vincolati dalle poche radici ancora in grado di sorreggerli; sono destinati a cadere in breve tempo, ma nelle condizioni attuali non possono essere trasportati da piene ordinarie. Lo stesso tipo di materiale che si trova in parte immerso nella corrente, o che comunque può essere movimentato con eventi caratterizzati da tempi di ritorno brevi (1-2 anni), rientra nella categoria dentro o *step*. Con quest'ultimo termine, s'includono i tronchi, presenti all'interno della *bankfull*, che si dispongono trasversalmente alla corrente, e che formano *log step*. Questi tronchi possono occupare tutto o solo parte dell'alveo, e tendono a formare dei salti di corrente.
- ✓ **Orientamento.** E' dato dalla disposizione del materiale (asse principale) rispetto alla direzione del flusso, ed è suddivisa in tre categorie: parallela, perpendicolare, ed obliqua, (quando non rientra nei due casi precedenti). Per le ceppaie, inoltre, è stata riportata la posizione delle radici: verso monte, verso valle, destra o sinistra.
- ✓ **Stato di degradazione.** Questa suddivisione valuta il tempo di permanenza in alveo dei residui legnosi. A volte l'identificazione del materiale, secondo questo criterio, è stata difficoltosa, in quanto l'aspetto fisico del materiale dipende anche dal tipo di trasporto e dalla specie vegetale. Fresco, è il materiale che ha origine più recente, nell'ordine di un anno, e presenta ancora una corteccia integra, e foglie (non sempre). Medio, quando ha parti di

corteccia mancanti, ed in alcuni punti si nota l'azione del tempo; tuttavia, preserva le caratteristiche meccaniche proprie del legno. Vecchio, è infine tutto il materiale in condizioni di degrado avanzato a causa di processi meccanici (sfregamento con sedimenti), e processi chimici-biologici; il tempo di permanenza stimato supera i cinque anni.

- ✓ **Origine.** Il materiale che cade in alveo in seguito ad azioni di erosione del torrente è classificato come sponda, se invece è stato trasportato dalla corrente si dice che è fluitato; la categoria da frana raggruppa gli elementi immessi in alveo in seguito a movimenti superficiali del terreno lungo le sponde. Infine sono stati annotati i residui di utilizzazione e le piante derivate da morte naturale.

Tutte le caratteristiche qualitative e le dimensioni di ogni elemento sono state riportate in apposite schede dei rilievi di campo, ideate per questo tipo di analisi (figura 3.6). Ogni tratto di torrente è rappresentato da una o più schede (a seconda della quantità di materiale legnoso rinvenuto), ed in esse si riportavano anche i riferimenti alla scheda accumuli, fotografie, il numero degli eventuali segnalatori (TAG) collocati, ed la descrizione dell'influenza morfologica dell'elemento analizzato.

Tratto	22	Torrente	Cordevole	Data	04/07/2007
Morfologia					
Lunghezza		m			
Larghezza -Bf		m	7.8		
Larghezza -Pa		m	47.2		
Pendenza		%			
Tirante (h _{bf})		m	0.57		
N° Massi	35	(diametro medio maggiore del tirante)			
N° step					
Veget riparia	<input type="checkbox"/>				

	SINGOLO							ACCUMULO				Note			
	D	M	T	A	FL	FR	V	DIAMETRO medio se T, minore se C	LUNGHEZZA	ALTEZZA	LUNGHEZZA		LAGRHEZZA	% CONTRAZIONE	pool p. sedimenti fine s
1	C	M	T	A	FL	//	V	0.06		1.40					
2	C	M	T	A	FL	//	V	0.07		3.15					S.A. 22.1 Foto 5201 - 5202 - 5203
3	C	M	T	A	FL	//	V	0.07		3.62					
4	C	M	T	A	N	bl	M	0.11		8.70					
5	C	M	T	A	N	bl	M	0.07		6.30					
6	C	M	T	A	N	bl	V	0.05		3.10					
7	L	Bf	T	A	FL	bl	V	0.07		3.00					S.A. 22.2 Foto 5204 - 5205 -

Figura 3.6 – Scheda di rilievo del materiale legnoso. Un esempio degli elementi rilevati nel tratto n° 22 del T. Cordevole; la lunghezza e la pendenza del tratto sono ricavate dal profilo.

3.3 Elaborazioni GIS.

L'analisi del legname in alveo ed in particolare delle relazioni che ha con il territorio in cui si trova può essere affrontata solo attraverso la rappresentazione delle informazioni geografiche. Gli studi cartografici e le relative applicazioni nei più svariati ambiti scientifici, specialmente in quello idrologico, sono stati potenziati negli ultimi anni dallo sviluppo e dalla diffusione dei Sistemi Informativi Geografici (GIS). Questi sistemi sono in grado di acquisire, memorizzare, estrarre, trasformare e visualizzare dati spaziali del mondo reale associando a ciascun elemento geografico una o più descrizioni alfanumeriche.

Per l'analisi informatica territoriale dei bacini idrografici studiati nel presente lavoro, è stata acquisita la cartografia espressa in forma numerica (vettoriale) fornita dalla Regione Veneto, che con DGR n. 1160 del 18/04/2006 ha stabilito la diffusione libera e non onerosa della Carta Tecnica Regionale (CTR) tramite l'accesso alla sezione Web Gis del sito "<http://www.regione.veneto.it>". La CTR è inquadrata nel reticolo del Sistema Geografico Europeo Unificato e si riferisce ai due fusi del sistema nazionale di riferimento Gauss-Boaga (fuso Ovest o primo fuso, da 6° a 12° a Est di Greenwich; fuso Est o secondo fuso, da 12° a 18° Est di Greenwich). La CTR viene fornita in due serie di elaborati con squadratura geografica (i bordi del campo sono meridiani e paralleli), una con scala 1:5000 (Elementi) per la quasi totalità del territorio regionale, e una con scala 1:10000 (Sezioni) per le zone montane scarsamente urbanizzate. Gli elementi e le sezioni sono distribuite in due formati vettoriali: DXF (*Drawing Exchange File Format*) e SHP (*Shape File*); in esse gli oggetti e le informazioni territoriali contenuti sono rappresentati da punti, linee e poligoni, tutti codificati e memorizzati sulla base delle loro coordinate; questi elementi sono organizzati in diversi Livelli di informazioni, ulteriormente suddivisi in Codici che descrivono le caratteristiche più particolari. Ad esempio all'interno del Livello n. 04, riferito all'idrografia sono compresi 22 Codici che definiscono dettagliatamente gli elementi rappresentati (laghi, canali, linea di costa, depuratore, cascata, condotta forzata, bacino artificiale, ecc.).

Le elaborazioni GIS sono state sviluppate a partire dai seguenti elaborati acquisiti in formato DXF (si riporta il numero ed il nome):

- | | | |
|--------------------------|-----------------------------|------------------------------|
| ✓ 028121 Andraz | ✓ 029052 Cinque Torri | ✓ 029131 Pescul |
| ✓ 028122 Sopracordevole | ✓ 029053 Passo Falzarego | ✓ 029132 Monte Coldai |
| ✓ 028123 Davedino | ✓ 029054 Punta Sud di Fanis | ✓ 029133 Alleghe |
| ✓ 028124 Pecosta | ✓ 029062 Zuel | ✓ 029134 Villagrande |
| ✓ 028161 Rocca Pietore | ✓ 029063 Bosco d'Aial | ✓ 045031 Feder |
| ✓ 028162 Bramezza | ✓ 029101 Cadini di Federa | ✓ 045034 M.ga Bosco Bruciato |
| ✓ 028163 Monte Pezza | ✓ 029102 La Rocchetta | ✓ 045041 S. Tommaso Agordino |
| ✓ 028164 Sottoguda | ✓ 029103 Malghe Mondeval | ✓ 045044 Vallada Agordina |
| ✓ 029051 Tofana di Rozes | ✓ 029104 Cima Ambrizzola | ✓ 046024 Mareson |

- | | | |
|---------------------------|--------------------------|-----------------------|
| ✓ 028060 Piz Boè | ✓ 029090 Selva di Cadore | ✓ 028100 Passo Pordoi |
| ✓ 029140 Passo Campolongo | ✓ 029140 Monte Pelmo | ✓ 028110 Arabba |
| ✓ 046010 Settsass | ✓ 046010 Monte Civetta | ✓ 028150 La Marmolada |

Da questi elementi cartografici sono state estratte alcune informazioni riguardanti l'idrografia (Livello n. 04), le isoipse (Livello n. 10) e i punti quotati (Livello n. 11), successivamente unite con software CAD, così da ottenere un unico file per ogni "tematismo" considerato. In questa fase, mediante l'impiego di ArcGis 9.1[®], sono stati validati i dati relativi alla quota (eliminando quelli sbagliati) ed è stato corretto il reticolo idrografico, assegnando alle polilinee che lo rappresentano il giusto verso, secondo la direzione reale del flusso. Con degli strumenti di analisi tridimensionale è stata estratta l'informazione altimetrica dai *layers*, ottenendo così una serie di punti quotati; questi elementi ed il reticolo idrografico sono stati interpolati iterativamente tra di loro (*Topo to Raster*) in modo da generare un Modello Digitale del Terreno (DEM) corretto da un punto di vista idrologico: infatti, questa metodologia permette di avere una buona accuratezza locale, in particolare in prossimità dei corsi d'acqua, mantenendo nel contempo la continuità globale della superficie rappresentata. Infine è stato fatto il "depittaggio", ovvero la correzione automatica di piccole imperfezioni o anomalie della superficie topografica (*Fill DEM*). Il DEM ottenuto è una matrice (*Raster*) di celle quadrate (in questo caso con il lato di 10 m) definite pixel a cui è associata l'informazione relativa alla quota.

Alcuni applicativi idrologici in abito GIS (Arc Hydro Tools[®] e TauDEM[®]), analizzando la matrice del modello digitale del terreno, permettono di determinare la direzione e l'accumulo del deflusso; in questo modo si può agevolmente ricavare un *raster* dove ad ogni cella è associato il numero di pixel che convergono in essa da un punto di vista idrologico. Lavorando su questo *raster* è stato prodotto il retico idrografico sintetico (*blu line*) scegliendo come soglia minima di deflusso 1600 celle drenate; in altre parole nel modello digitale del terreno l'ipotetico deflusso idrico diventa un vero e proprio corso d'acqua nel momento in cui sottende almeno 16 ha di superficie. Successivamente, il raster del *flow accumulation* è stato convertito in un file vettoriale in cui i corsi d'acqua sono rappresentati da polilinee di diverso spessore in base alla classificazione di Horton-Strahler (Strahler, 1964). Infine, è stato delimitato il bacino idrografico del T. Cordevole all'uscita dal lago di Alleghe, e precisamente alla chiusa della località Masarè, e sono stati definiti tutti i sottobacini in esso contenuti: per fare questo è bastato individuare il punto esatto della confluenza del corso d'acqua di cui si vuol determinare l'area drenata, ed evidenziare (in automatico) le celle del DEM che sottendono a quel punto (*Snap Pour Point*); si ottiene così una maschera (prima in formato *raster*, poi convertita in polilinea) che rappresenta il bacino idrografico. Il *plug-in* TauDEM (Tarboton, 1997) si è rivelato molto utile nell'analisi idrografica del DEM, ed in particolare alcune

funzioni speciali come il calcolo della distanza dalla rete idrografica secondo le linee di deflusso (*flow distance to stream*), e la determinazione della traslazione di una determinata massa secondo un decadimento di primo ordine (*decaying accumulation function*); questo tipo di elaborazioni sono state applicate nel modello previsionale di reclutamento e movimentazione del legname in alveo.

Grazie all'interpretazione delle foto aeree sono state evidenziate le superfici forestali (analisi svolta solo su alcuni bacini) con lo scopo di definire esattamente l'estensione del bosco e valutarne l'evoluzione negli ultimi anni, grazie al confronto con la Carta Forestale Regionale (1999). La foto interpretazione è una metodologia adottata anche per osservare e per cercare di definire i movimenti superficiali del terreno, in particolare le frane di versante, anche se la copertura vegetale ha reso difficile questo tipo di esame.

In figura 3.7 si riporta un'immagine in cui si possono osservare i diversi sottobacini ed il reticolo idrografico sintetico ottenuti con le elaborazioni GIS. A partire dal modello digitale del terreno è possibile ottenere diverse informazioni morfometriche a scala di bacino. Per l'intero bacino del Cordevole chiuso ad Alleghe e per ogni sottobacino studiato sono state elaborate delle carte tematiche che rappresentano la quota, la pendenza e l'esposizione.



Figura 3.7 – Bacino del Cordevole chiuso al Lago di Alleghe. In rosso sono evidenziati tutti i sottobacini individuati con tecniche GIS, mentre il reticolo idrografico sintetico è rappresentato con linee blu di diverso spessore in base all'ordine del collettore.

3.4 Caratterizzazione della gestione territoriale

La quantità e il tipo di legname presente in alveo dipende dalle caratteristiche del bacino e del torrente, nonché dai processi che lo immettono nella rete idrografica. Questi ultimi possono venir ricondotti principalmente alla mortalità naturale di popolamenti forestali (compresi schianti ed incendi), a fenomeni franosi e di erosione spondale, ed ad azioni antropiche. In generale, la gestione del territorio ha influssi rilevanti nel bilancio del detrito legnoso presente in alveo, sia direttamente (disboscamenti, tagli selvicolturali, pulizie degli alvei), che indirettamente per gli effetti che determina sulla stabilità del suolo (frane ed erosioni spondali).

Lo studio dell'azione antropica nel territorio in cui si sono svolte le indagini è stato attuato su più fronti. Prima di tutto si è cercato di valutare le azioni dirette sul soprassuolo e sulla vegetazione ripariale; a tale scopo è stata fatta un'indagine storica sulla gestione selvicolturale e sono stati acquisiti i Piani Economici Forestali dei comuni di Livinallongo del Col Di Lana, Rocca Pietore, Alleghe, Selva di Cadore, Colle S. Lucia. E' stata richiesta agli organi competenti anche la documentazione concernente le operazioni di sistemazione e di riqualificazione dei torrenti, rappresentate principalmente da sistemazioni delle sponde e del fondo dell'alveo, correzione della pendenza con briglie, ed eliminazioni di possibili intralci al deflusso con il taglio della vegetazione ripariale. Riguardo le pulizie d'alveo, che ormai nei nostri territori si protraggono da secoli, è stata fatta un'analisi approfondita lungo il T. Codalonga, caratterizzato da una vegetazione ripariale che ha avuto la possibilità di svilupparsi fin dal 1966, anno in cui la famosa alluvione del 4 novembre ha devastato tutto il territorio dell'Alto Bellunese. Lungo questo corso d'acqua, durante i rilievi del materiale legnoso (estate 2004) è stata misurata anche la vegetazione arborea presente all'interno della piana alluvionale, determinando per ogni pianta il diametro "a petto d'uomo" con un cavalletto forestale e stimando l'altezza con una stadia. In questa fase di campagna alle schede di rilievo è stata aggiunta una colonna dove si annotavano le misure di questi elementi; in fase di analisi questi dati sono stati confrontati con quelli relativi al materiale legnoso morto, e si sono dedotte delle importanti informazioni. L'evoluzione del soprassuolo è stata studiata anche grazie alla foto interpretazione di due serie di riprese aeree scattate rispettivamente nel 1999 e nel 2003; sovrapponendo due immagini della stessa area si possono determinare le aree di espansione e quelle in degradazione, e valutare con supporto GIS le dimensioni di queste superfici. L'azione indiretta della gestione territoriale si manifesta principalmente attraverso la perdita di stabilità del suolo; l'esame di queste dinamiche non è semplice, ma si è cercato attraverso la quantificazione delle aree in dissesto, di ricavare delle informazioni utili. A tal fine sono state registrate tutte le frane di versante, le erosioni spondali, e le colate detritiche rinvenute lungo i corsi d'acqua percorsi. I dissesti delle aree circostanti sono stati ricavati da fonti storiche e dal Progetto I.F.F.I. (sezione 6.2).

3.5 Monitoraggio della mobilità del legname in alveo

Per comprendere come il materiale legnoso interagisce con il corso d'acqua è importante studiare la dinamica del trasporto, come avviene l'inizio del moto e il processo di deposizione. Il moto incipiente del legname in alveo è determinato in larga misura dalle caratteristiche del legno (diametro, coefficiente di forma, densità relativa), ed è funzione della morfologia del corso d'acqua, come il tirante idraulico, la velocità, e la pendenza. In particolare il regime idraulico della corrente condiziona fortemente la soglia d'inizio del movimento ed il trasporto del materiale.

La determinazione della portata di inizio del movimento del legname può essere fatta attraverso il monitoraggio degli elementi in un corso d'acqua dove viene misurata in continuo la portata. Questo tipo di studio è stato avviato nel Ru Davedin e nel rio Cordon; nel primo è infatti presente una centralina idroelettrica di recente costruzione con una presa a monte che registra il livello idrometrico tramite un idrometro ad ultrasuoni (figura 3.8), mentre nel rio Cordon è presente una stazione di misura sperimentale che rileva la portata liquida e solida. Per controllare l'eventuale movimentazione del legname sono stati installati quasi 100 segnalatori o TAG (*TAGging*: etichettatura) in diversi tronchi e ceppaie presenti all'interno dell'alveo; per ogni elemento selezionato sono state inchiodate una o più piastrine rotonde (al massimo tre) di alluminio colorate di azzurro e numerate a tre cifre (figura 3.9); è stata annotata l'ubicazione esatta degli elementi misurando con distanziometro laser (vedi sezione 3.1) la distanza dai picchetti segnalatori posti all'inizio e alla fine dei tratti con cui sono stati suddivisi i corsi d'acqua.

Da questa analisi s'intende ricavare quante più informazioni possibili riguardo il moto incipiente e le relazioni tra le caratteristiche fisiche e geometriche dei tronchi considerati e le caratteristiche idrauliche e geomorfologiche del sito in cui si trova; tuttavia durante i tre anni di dottorato non si sono ancora verificati degli eventi di piena in grado di movimentare il legname.



Figura 3.8 – Presa di derivazione per la centralina idroelettrica sul Ru Davedin.



Figura 3.9 – Ceppaia etichettata con piastrina di alluminio numerata.

4 – DESCRIZIONE DELLE AREE DI STUDIO

L'analisi e lo studio del materiale legnoso in alveo, affrontato nel presente lavoro riguarda tredici torrenti di piccolo e medio ordine situati nelle Dolomiti Venete. I corsi d'acqua indagati convergono tutti nel torrente Cordevole a nord del lago di Alleghe. Quest'area è posta all'estremità nord-ovest del Veneto; confina a nord con la provincia di Bolzano e ad ovest con il Trentino; è compreso tra $46^{\circ} 22' 27''$ e $46^{\circ} 31' 59''$ di latitudine e tra $11^{\circ} 48' 41''$ e $12^{\circ} 08' 24''$ di longitudine est; dista circa 60 km da Belluno e può essere raggiunta seguendo la Strada Regionale 203 percorrendo per intero la valle Agordina (Fig. 4.1).

4.1 Il Bacino del T. Cordevole chiuso al lago di Alleghe

Il bacino idrografico del T. Cordevole è stato ottenuto ponendo come sezione di chiusura lo sbarramento di Masarè che delimita a sud il lago di Alleghe (960 m s.l.m.). Da un punto di vista amministrativo ricade nei comuni di Livinallongo del Col di Lana, Rocca Pietore, Colle S. Lucia, Selva di Cadore, Alleghe, una piccola parte di Borca di Cadore e di S. Vito di Cadore.

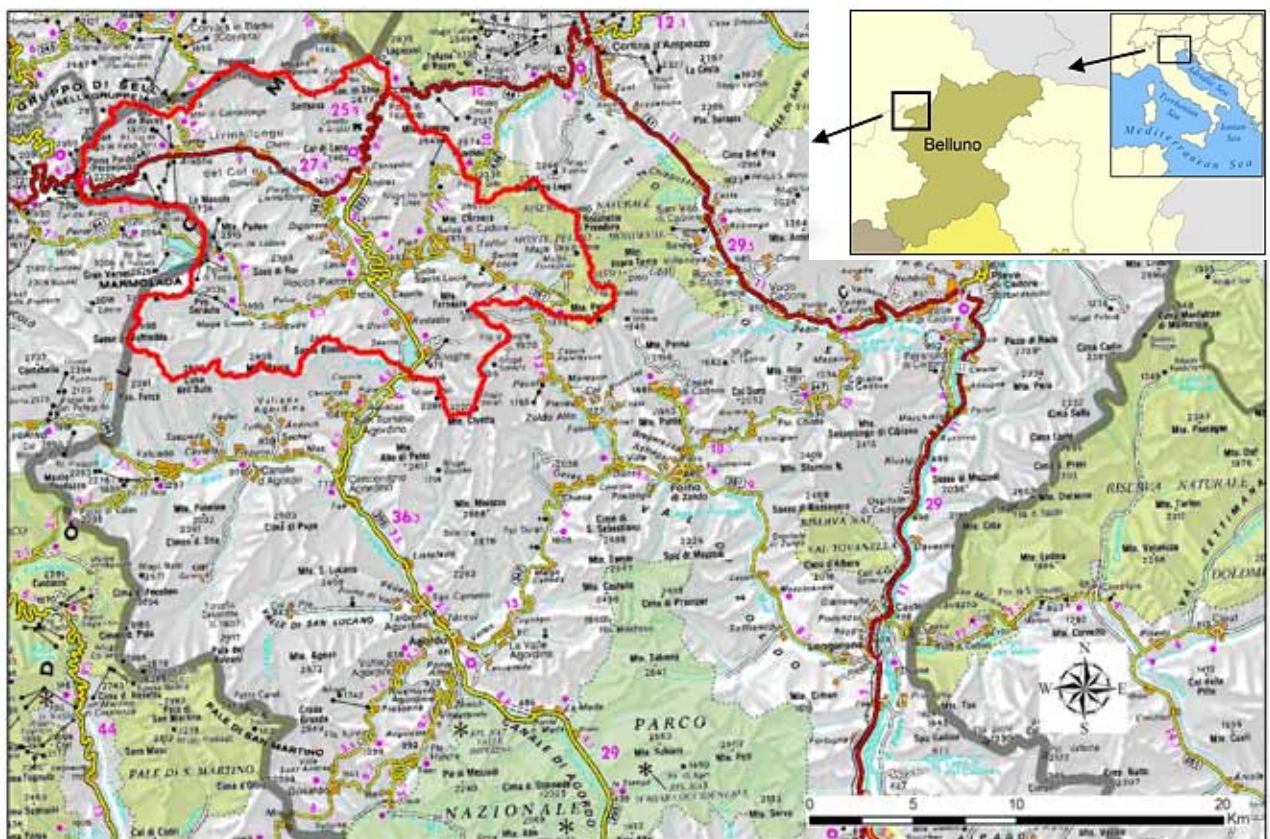


Figura 4.1 – Inquadramento geografico dell'area di studio. In rosso è evidenziato il bacino idrografico dell'Alto Cordevole. (IGDA).

4.1.1 Parametri morfometrici ed idrografia

Il T. Cordevole, nasce dal gruppo del Sella in prossimità del passo Pordoi, da piccole sorgenti a quota 2237 m s.l.m., e dopo un percorso di circa 70 km confluisce nel Fiume Piave (279 m s.l.m.), di cui ne è il principale tributario, infatti drena un'area di circa 866 Km² di superficie. Il bacino del Cordevole a monte del lago di Alleghe copre 246,5 km², ed il torrente alla confluenza con il Fiorentina diviene di 6° ordine. L'analisi morfometrica è stata effettuata con tecniche GIS; In figura 4.2 si può osservare il DEM (10 m x 10 m) dell'area di studio, la rete idrica classificata secondo Horton-Strahler e la localizzazione dei sottobacini indagati. Dai principali parametri morfometrici del bacino riassunti in tabella 4.1 si può notare l'elevata variazione altimetrica così come il considerevole dislivello medio dei versanti dovuto alla presenza di montagne molto ripide.

Superficie	246 km ²
Quota massima	3340 m s.l.m.
Quota minima	960 m s.l.m.
Quota media	1857 m s.l.m.
Pendenza media	28,5°
Indice di Forma (Gravelius)	2,27

Tabella 4.1 – *Principali parametri morfometrici del Bacino del Cordevole chiuso al Lago di Alleghe*

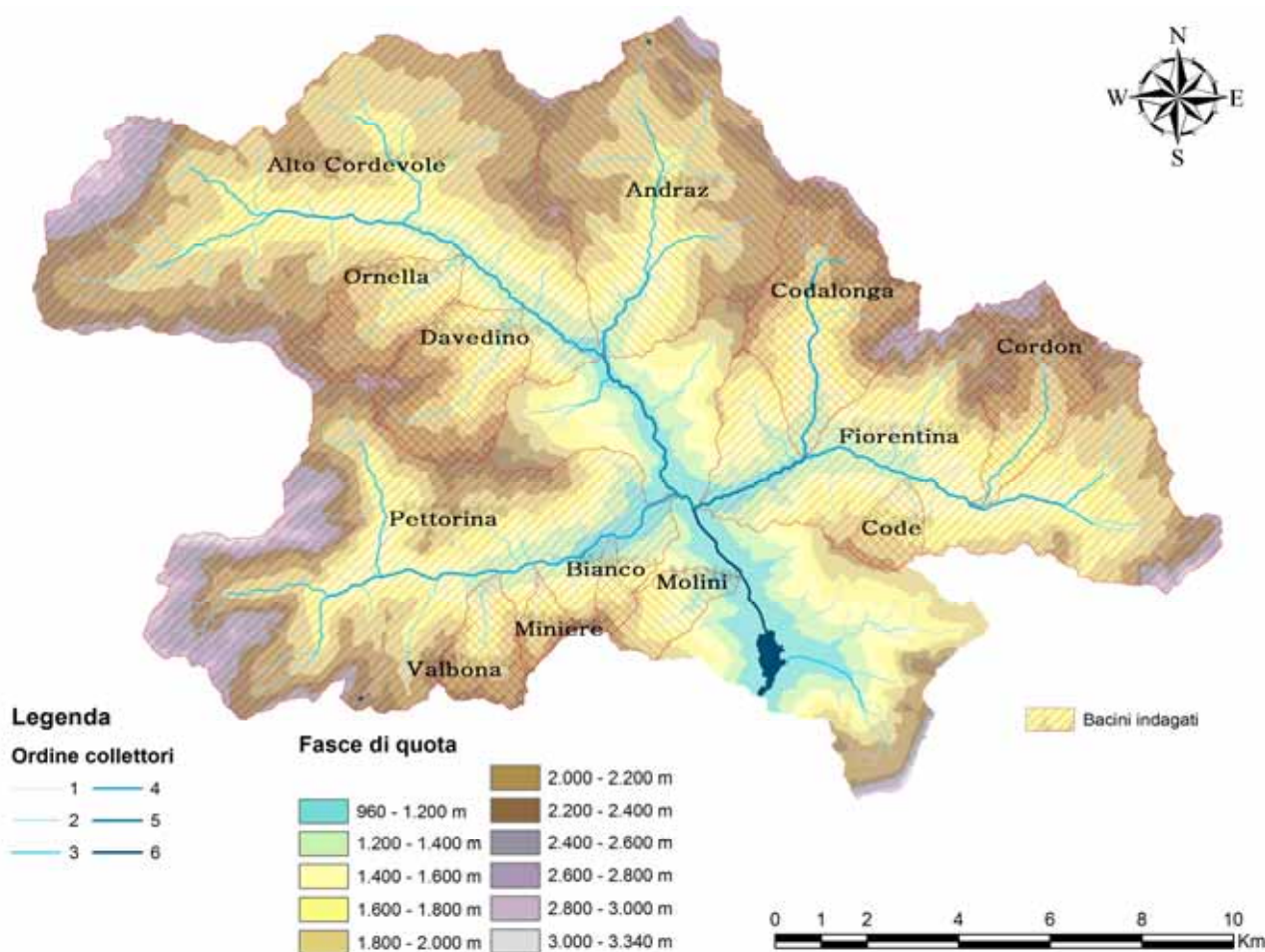


Figura 4.2 – *DEM del bacino del Cordevole chiuso al lago di Alleghe.*

Quote

L'indice di forma secondo Gravelius risulta essere pari a 2,27 e rispecchia la forte irregolarità del contorno, dovuta alla presenza di rilievi anche all'interno del bacino stesso che dividono la rete idrica in molti collettori di ordine inferiore che si allungano in tutte le direzioni. I rilievi che superano i 2500 m s.l.m. sono circa il 5% della superficie totale, come si può ricavare la curva ipsografica del bacino (Fig. 4.3) che rappresenta la ripartizione delle aree topografiche nelle varie fasce altimetriche. Dalla stessa si nota anche che la maggior parte della superficie (80%) è compresa tra i 1400 m ed i 2300 m s.l.m. (quota media 1857 m s.l.m.).

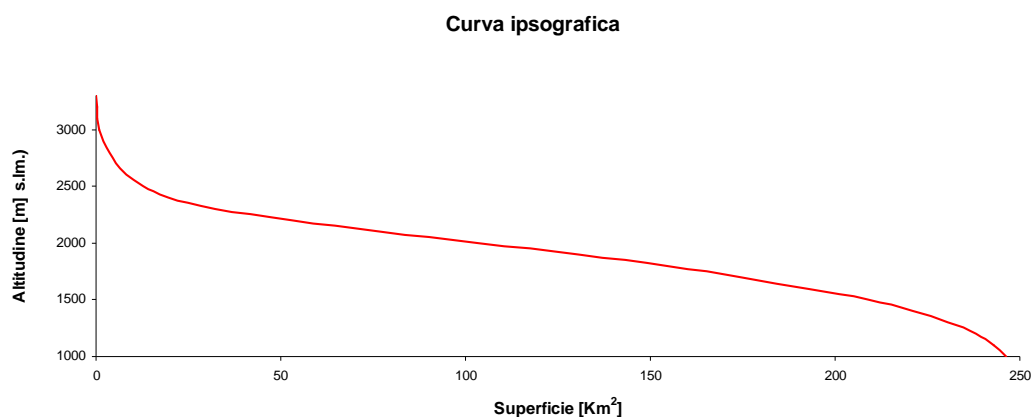


Figura 4.3 – Curva ipsografica delle quote.

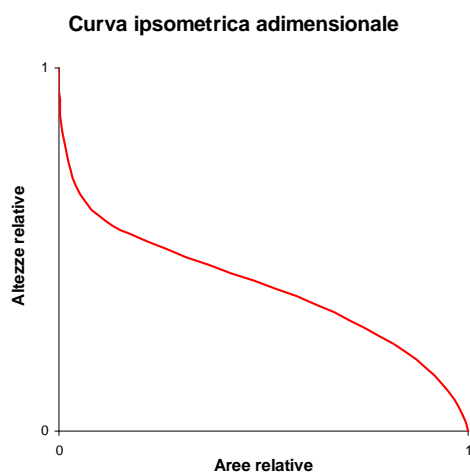


Figura 4.4 – Curva ipsometrica adimensionale.

La curva ipsometrica adimensionale esprime lo stadio evolutivo del bacino e permette di fare confronti tra bacini diversi. Analizzando quella ottenuta dall'elaborazione del DEM del Cordevole chiuso ad Alleghe si può dire che alle quote maggiori il bacino sembra in uno stato di senilità o fase *monadnok* (curva con forma iperbolica concava), mentre in prossimità dei fondovalle il bacino è in fase giovanile o di erosione (curva con forma iperbolica convessa), anche se il trasporto solido è legato alla presenza di sistemazioni dell'alveo.

Pendenza

La distribuzione dei dislivelli si può osservare molto bene nella carta delle pendenze (Fig. 4.6) derivata dal raster delle quote; le aree con inclinazioni inferiori al 30% sono solo il 15% della

superficie totale, e localizzate per lo più a nord del bacino (Cherz, Vizza, Andraz), mentre le pareti subverticali sono distribuite in varie aree: Piz Boè a nord-oves, Settsass e Piccolo Lagazuoi a nord, monte Pelmo ad est, monte Civetta a sud e la Marmolada ad ovest. Il forte dislivello e le formazioni rocciose facilmente erodibili, sono da ritenersi la causa principale dell'istaurarsi di movimenti franosi; inoltre, la pendenza fa aumentare la velocità di ruscellamento, causa una maggiore produzione di sedimento, e facilita lo scivolamento sui versanti di materiale legnoso.

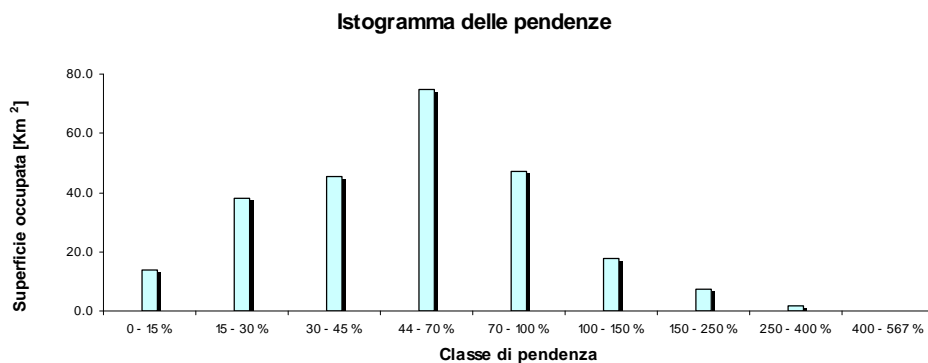


Figura 4.5 – Istogramma delle pendenze.

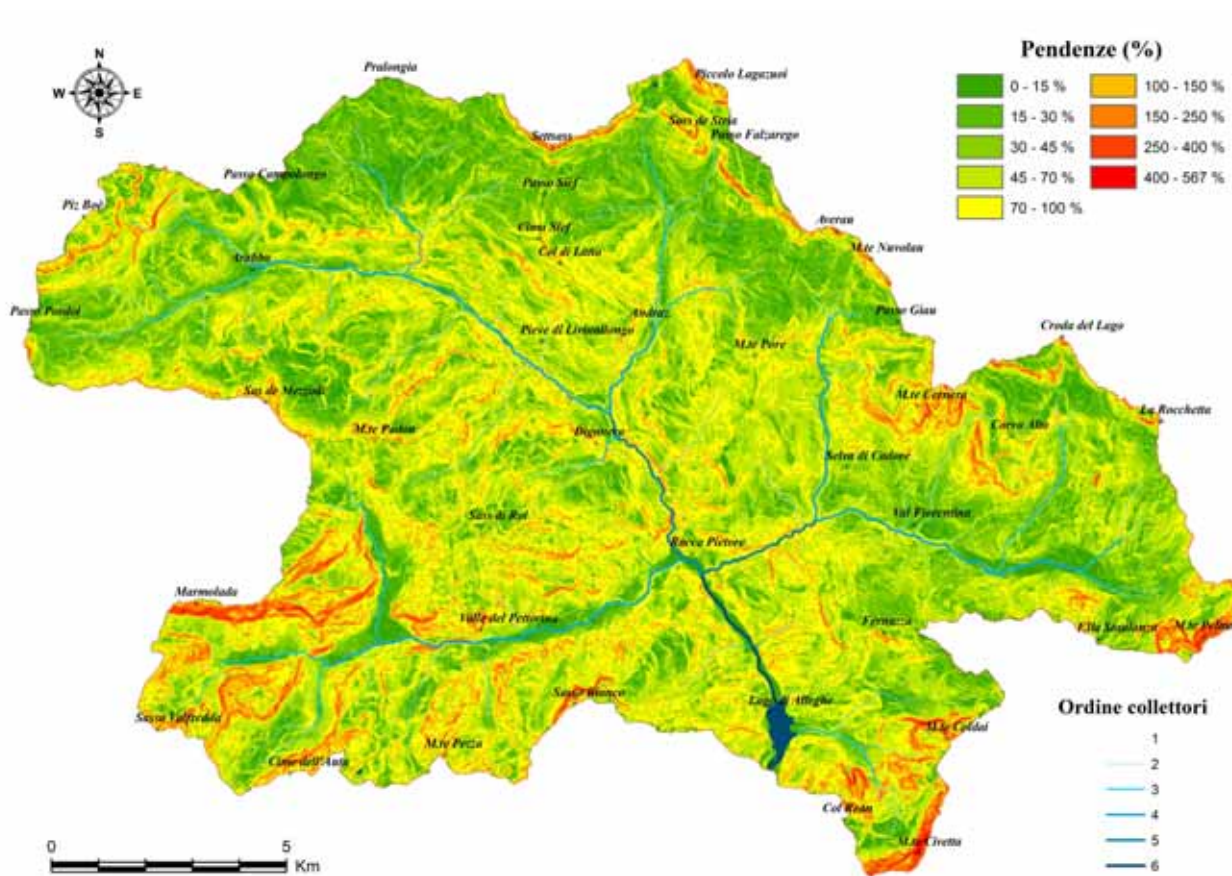


Figura 4.6 – Carta delle pendenze.

Esposizione

Le esposizioni di un bacino sono strettamente correlate all'andamento della rete idrica principale. In bacini di grandi dimensioni l'esposizione tende ad essere distribuita uniformemente lungo le 4 direzioni, come si può osservare nel grafico a radar riportato qui a lato (Fig. 4.7). Dalla distribuzione, invece si possono ottenere informazioni molto importanti sul regime idrologico dei sottobacini, nonché sulle dinamiche erosive dei versanti. Da un punto di vista socio-storico i versanti esposti a sud sono quelli in cui si stabiliscono le principali attività umane. In Fig. 4.8 si riporta la distribuzione delle esposizioni all'interno del bacino del Cordevole.

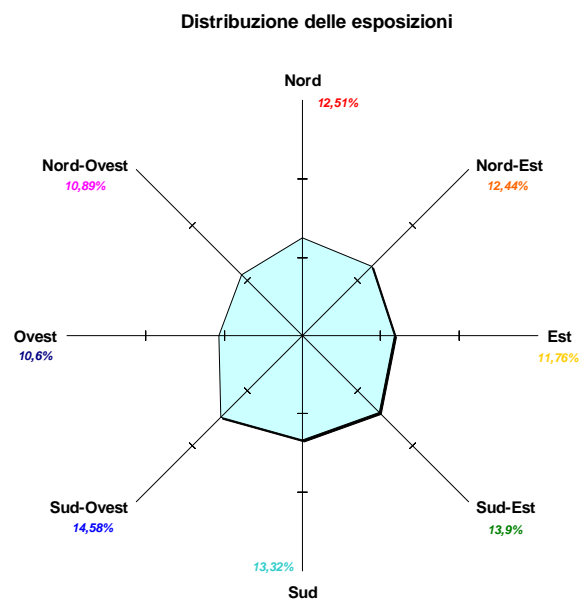


Figura 4.7 – Grafico a radar delle esposizioni.

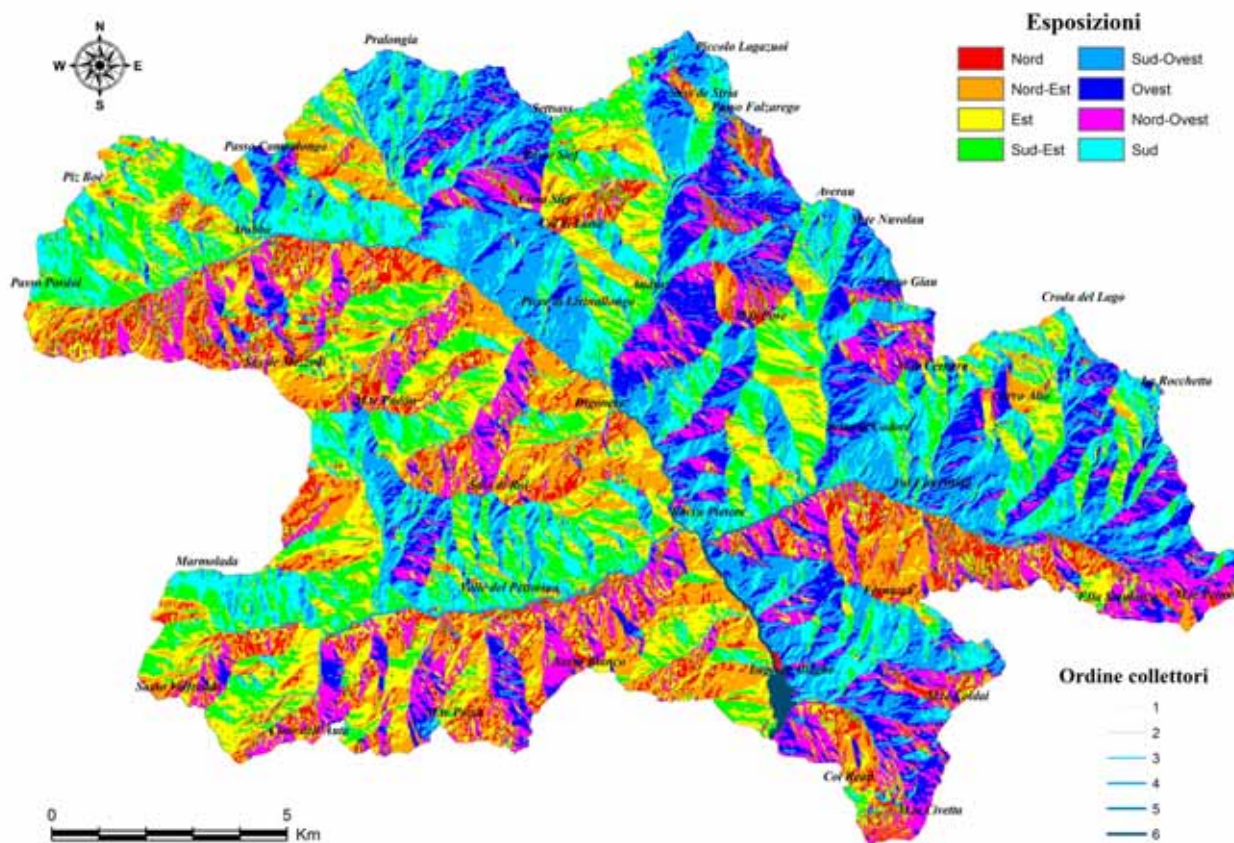


Figura 4.8 – Carta delle esposizioni.

Idrografia

Il T. Cordevole nasce in prossimità del passo Pordoi, da piccole sorgenti a quota 2237 m s.l.m.; già all'altezza di Arabba (1600 m s.l.m.) è di 4° ordine come conseguenza dell'immissione del Boè (3° ordine). Da qui scorre in direzione est fino a Livinallongo del Col di Lana, per poi piegare verso sud-est fino alla confluenza con il T. Andraz divenendo di 5° ordine; segue poi fino a Caprile dove raccoglie le acque che provengono dal Pettorina e poi dal Fiorentina dove acquisisce un altro grado di dimensione. L'ultimo tratto, in direzione nord, nord-est che porta fino al lago di Alleghe (6° ordine) assume caratteri molto più fluviali, ed è soggetto a fenomeni di sovralluvionamento ed interrimento dell'alveo dovuto alla brusca diminuzione di pendenza. Il reticolo idrografico raccoglie quindi le acque che provengono principalmente da tre vallate che convergono presso la località di Caprile. I principali tributari sono:

- ✓ Il T. Pettorina ad ovest, affluente di destra del Cordevole. Nasce dalle cime della Marmolada (3250 m s.l.m.) e si sviluppa per una lunghezza di 12,9 km.
- ✓ Il T. Fiorentina di lunghezza pari a 12 km ed affluente di sinistra; il bacino corrispondente è delimitato a est dal Monte Pelmo (3168 m s.l.m.) e a nord dalla Croda Da Lago (Cima d'Ambrizzola 2715 m s.l.m.) e dall'Averau (2647 m s.l.m.)
- ✓ L'alto Cordevole il cui spartiacque raggiunge il gruppo del Sella (Piz Boè, 3151m), e le vette del Piccolo Lagazuoi (2750 m s.l.m.) nella testata dell'Andraz a sua volta tributario di sinistra del Cordevole. La lunghezza del collettore fino alla confluenza con il Fiorentina è di 17 km.

A questi si deve infine aggiungere i T. Zunaia che convoglia le precipitazioni raccolte dal Monte Civetta (3220) all'interno del lago. L'area drenata di questo tributario è pari a 12,3 km².

Il reticolo idrografico sintetico (Fig. 4.2) è stato calcolato con tecniche GIS impostando una soglia di area drenata pari a 16 ettari. In totale copre una lunghezza pari a 336,8 km, distribuita fra i vari ordini di grandezza dei collettori come riportato in tabella 4.2. La densità di drenaggio calcolata come rapporto fra la lunghezza totale della rete idrica e la superficie del bacino è pari a 1,36 km⁻¹ e ciò riflette il buon grado di copertura vegetale che aumenta il processo di infiltrazione delle acque meteoriche a discapito del deflusso superficiale.

Lunghezza rete idrica ordine:	1°	180,3 km
	2°	79,7 km
	3°	32,8 km
	4°	31,7 km
	5°	7,8 km
	6°	4,5 km
Lunghezza totale rete idrografica		336,8 km
Lunghezza collettore principale		22,5 km
Pendenza media collettore principale		7 %
Densità di drenaggio		1,36 m/m ²

Tabella 4.2 – *Principali parametri morfometrici del reticolo idrografico.*

4.1.2 Cenni storici

La zona dell'Alto Cordevole in età preistorica era caratterizzata da una fitta copertura arborea interrotta solo dagli innumerevoli corsi d'acqua. Era un ambiente che riforniva di selvaggina i cacciatori che qui vi sopraggiungevano per la caccia estiva e vi si stabilivano temporaneamente, come dimostrano i ritrovamenti archeologici, avvenuti per lo più nella parte alta dei pascoli. Fin da prima della dominazione romana, cacciatori e pastori cominciarono a popolare i territori del Passo Giau dove di recente è stata scoperta una sepoltura mesolitica (zona di mondeval); poco distante è stata rinvenuta una stele con iscrizione paleoveneta (monte Pore). La presenza romana è invece testimoniata dalle iscrizioni confinarie, databili al I secolo d.C., rinvenute nella parte settentrionale del gruppo del Civetta.

Questa situazione ebbe una svolta solo in epoca alto-medioevale, quando, accanto a pastori e cacciatori si affiancarono boscaioli e ricercatori di minerali (ferro e piombo). I nuovi arrivati, che provenivano dalla Val del Boite, costituirono consistenti insediamenti, prima stagionali e poi stabili. Il paesaggio cominciò lentamente a mutare: nei luoghi più soleggiati e provvisti d'acqua si cominciò a tagliare il bosco e si costruirono stalle ed abitazioni, e a partire dal XIII secolo si aggiunsero le attività artigianali e industriali estrattive del ferro. Forni fusori e fucine erano presenti in particolare nella frazione di Sot Crepez, e sembra che furono causa di lunghe e violente dispute tra la Repubblica Veneta e il Vescovato di Bressanone.

L'aspetto del territorio fu modificato più dalla natura stessa che dall'uomo: l'11 gennaio 1771 si staccò in destra del Cordevole da una propaggine del monte Forca una frana di immense dimensioni che andò ad ostruire la valle. Tre villaggi furono sepolti dal corpo di frana e altri cinque sommersi dalle acque del lago che si formò, quello che noi oggi conosciamo con il nome di Alleghe. Un'altra frana di assestamento produsse, nel mese di maggio dello stesso anno, un'ondata di sopraelevazione che modificò ulteriormente il paesaggio e produsse altre vittime (Soccol e Tessarolo, 2003).

Dopo l'avvento delle truppe Napoleoniche (1797) che annessero questi territori all'Austria, nel corso dell'800 ebbero inizio le prime attività turistiche legate in particolare ai signorotti inglesi.

Nella seconda metà del XIX secolo i territori furono sconvolti da innumerevoli alluvioni (1868, 1869, 1882, 1885, 1889, e 1890) che causarono morti e danni alle strutture. La popolazione fu duramente provata anche durante la Grande Guerra, divisa dalle prime linee di combattimento che passavano per il Col di Lana e la Marmolada, mentre la seconda guerra mondiale interessò queste aree solo per alcuni episodi legati alle azioni dei partigiani.

L'alluvione del 4 novembre 1966 è l'episodio più recente che ha profondamente mutato l'aspetto del territorio: le eccezionali condizioni meteorologiche, gli abitati posti alla confluenza dei

torrenti, il letto del Cordevole che scorreva in sopraelevazione rispetto alla Statale Agordina, e la mancanza di opere di difesa dei piccoli corsi d'acqua furono gli elementi che causarono questa catastrofe. Tutte le infrastrutture (strade, ponti, acquedotti, linee telefoniche ed elettriche) furono spazzate via in poche ore, 20 case, 5 aziende industriali, vari fienili e altri edifici furono inghiottite dalla violenza dell'acqua e dei detriti trasportati; l'abitato di Caprile posto alla confluenza del Pettorina del Fiorentina e dell'Alto Cordevole "si trova sommerso da circa 3 metri di melma e sassi, e al centro si trova accatastato un groviglio di legname suppellettili delle case di circa 5000 metri cubi..." come riporta il Sindaco di Alleghe, pochi giorni dopo l'alluvione (Fig. 4.9). Questo evento ha messo a nudo la vulnerabilità dei territori, legata essenzialmente alle caratteristiche morfologiche e geologiche che insieme determinano uno stato di stabilità precaria dei versanti.

Dagli anni settanta ad oggi il turismo è divenuto la principale fonte di reddito e di ricchezza delle vallate, ed ha spinto la popolazione ad occupare nuove aree prima destinate all'agricoltura, in particolare lungo le arterie principali che collegano i vari abitati, come la Strada delle Dolomiti che collega Bolzano a Cortina; impianti di risalita, alberghi, ristoranti e molte altre strutture si sono moltiplicati negli ultimi anni. Questo sviluppo ha ulteriormente aumentato la vulnerabilità del territorio, in quanto i beni che potenzialmente possono essere danneggiati in caso di calamità naturali sono molto di più rispetto al passato; questa situazione determina di conseguenza un incremento del rischio idrogeologico complessivo.



Figura 4.9 – Centro dell'abitato di Caprile in seguito all'alluvione del 4 novembre 1966.

4.1.3 Aspetti climatici e vegetazionali

Il clima del bacino del Cordevole chiuso al lago di Alleghe è caratterizzato da una transizione tra il mesalpico e l'endalpico, con temperature molto variabili in ragione delle forti variazioni di quota (medie annuali intorno ai 5 °C), e precipitazioni (1100 mm di media annuale) che hanno picchi in primavera ed autunno, mentre la neve persiste al terreno da dicembre ad aprile. Le piogge estive, tipicamente di breve durata e particolarmente intense, determinano spesso fenomeni di piena improvvisa nei bacini più piccoli (area drenata inferiore ai 2-3 km²) dove si verificano frequentemente colate detritiche. La copertura forestale interessa in media il 43% del territorio, per lo più rappresentata da peccete (8113 ha), che al di sopra dei 1500-1600 m di quota sono sostituite da larici-cembreti (1141 ha) e da formazioni arbustive rappresentate da mughete, ontanete e saliceti (Fig. 4.10). Altre formazioni presenti anche se limitatamente sono i Piceo-Faggeti (123 ha) localizzati in prossimità del lago di Alleghe, pinete di pino silvestre (116 ha) nella parte bassa del Fiorentina, e qualche Faggeta (44 ha) nel sottobacino del Pettorina. La vegetazione della fascia perifluviale è costituita da ontano bianco (*Alnus incana*), vari salici arbustivi (*Salix* spp.) ed altre specie accessorie (frassino, acero montano) nella parte bassa dei collettori, sostituite poi alle quote più elevate da abete rosso e larice. Le piante che crescono all'interno della fascia riparia sono generalmente di piccole dimensioni, con diametri che raramente superano i 20-30 cm.

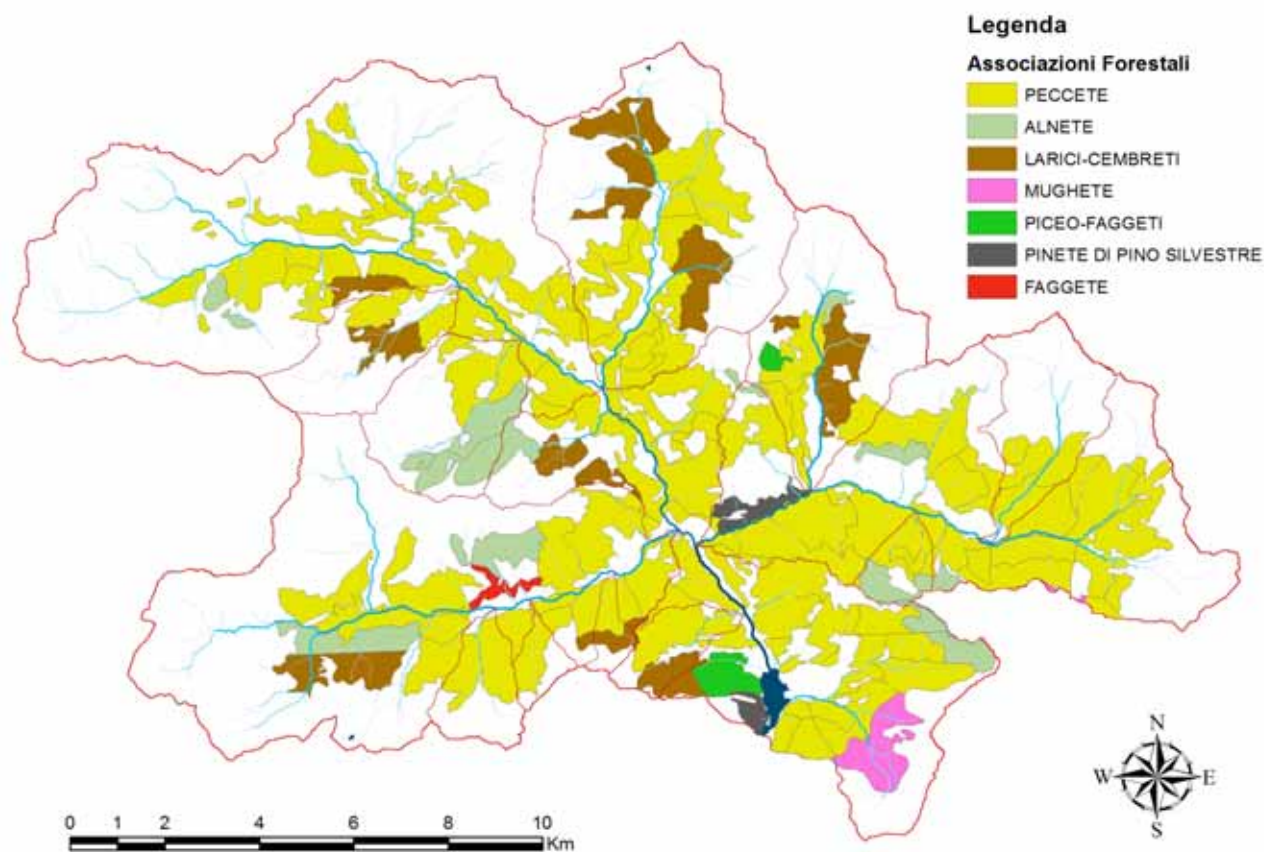


Figura 4.10 – Distribuzione dei distretti forestali e delle principali associazioni presenti nel bacino. (Fonte: Carta Forestale Regionale)

4.1.4 Geomorfologia e dissesti

Il territorio montano delle aree oggetto di studio è caratterizzato da una morfologia aspra e complessa, praticamente priva di aree pianeggianti. I lineamenti geologici e geomorfologici si presentano piuttosto complessi. Le parti più elevate dei rilievi (tranne la Marmolada) sono generalmente costituite da rocce carbonatiche e vulcanoclastiche dotate di buona resistenza geomeccanica, evidenziata da pareti verticali di notevoli dislivelli con la base spesso fasciata da conoidi detritici; per contro, rocce sedimentarie molto erodibili e depositi quaternari formano versanti instabili profondamente incisi dai corsi d'acqua.

Nella parte a nord di Caprile la valle del Cordevole presenta fianchi assai inclinati e dorsali piuttosto nette in particolare nei dintorni di Ornella e Davedino. Sul versante nord del Col di Lana e di Cima Sief è ben riconoscibile l'azione modellatrice dei ghiacciai würmiani, ma anche nelle valli del Rio Valparola, Rio Castello e del Vauz si rinvengono depositi morenici. Nella parte più profonda delle valli l'originaria morfologia glaciale è stata modificata dall'erosione dei torrenti che approfondiscono l'alveo ed erodono le sponde, alla quale si devono aggiungere numerose frane di versante. Numerose sono anche le colate detritiche che interessano diversi torrenti come il Rio Solvazza ed il Rio Chiesa (interessato da un *debris flow* nell'estate del 2006).

La val Fiorentina, che si sviluppa in direzione est-ovest è caratterizzata da una profonda diversità tettonica tra i due versanti: quello a nord (destra) è formato prevalentemente da strati a reggipoggio, mentre quello a sud da strati disposti a franapoggio, che causa spesso profonde frane di scivolamento particolarmente evidenti nella parte medio-bassa dove affiorano rocce tuffaceo-marnose particolarmente instabili ed erodibili dalla rete idrica.

Nel settore ovest della valle del Pettorina si notano dei profili vallivi ad "U" che si sono preservati in seguito all'azione glaciale, grazie ai tenaci calcari ladinici di scogliera ("Calcere della Marmolada") che permettono anche la conservazione di magnifiche pareti rocciose sub verticali (700-800 m). Estesi sono gli affioramenti di calcari e dolomiti tenaci (Pizzo Guda, Sasso Bianco), mentre a est il bacino è prevalentemente modellato in rocce piroclastiche ladiniche. Le uniche rocce degradabili emergono a monte di Saviner; in effetti, solo il fondovalle del Pettorina tra Sottoguda e Saviner e lungo il Ru de Roccia presentano fenomeni di erosioni e smottamenti.

La maggior quantità dei dissesti idrogeologici attivi o quiescenti, anche se imputabili a numerosi fattori predisponenti, quali le caratteristiche litologiche, geotecniche e strutturali dei terreni e dei versanti, risulta direttamente connessa alla circolazione superficiale e sotterranea delle acque e all'andamento climatico. L'acqua fornisce spinte idrostatiche, diminuisce la coesione dei materiali, lubrifica le superfici di scivolamento ed esplica un'azione erosiva al piede di materiali insatibili, e ultimo frattura le rocce attraverso l'azione del gelo. (Soccol e Tessarollo, 2003).

4.2 Sottobacini

All'interno del bacino idrografico con sezione di chiusura al lago di Alleghe sono stati indagati tredici torrenti di diverso ordine e grandezza (cap 2.1); per ognuno di essi sono state condotte delle campagne di misurazione del legname in alveo e del collettore principale, mentre nelle fase di laboratorio si sono effettuate delle analisi GIS per evidenziare i caratteri morfometrici a scala di bacino. Si riporta una breve descrizione dei diversi sottobacini e dei tratti di torrente indagati elencati in ordine decrescente.

4.2.1 Alto Cordevole

Il bacino idrografico chiamato "Alto Cordevole" rappresenta una parte dell'area oggetto di studio situata a monte di Caprile (Fig. 4.11) con sezione di chiusura posta prima della confluenza con il T. Andraz (1115 m s.l.m.), presso la località Digonera (frazione di Rocca Pietore). L'area drenata è pari a 70 Km², comprende l'intero territorio comunale



Figura 4.11 – Inquadramento dell'Alto Cordevole

di Livinallongo, una parte del comune di Rocca Pietore a Sud e una piccolissima area del comune di Cortina D'Ampezzo a Ovest del bacino. La quota media è pari a 1194 m. s.l.m., e i versanti hanno pendenze generalmente comprese tra il 50 e l'80%; l'esposizione prevalente è sud-est, e riflette la direzione del torrente che va da est verso sud, sud-est; i parametri principali del bacino idrografico vengono riportati in tabella 4.3:

Area drenata	70 km ²
Quota (<i>min; max; media</i>)	1115; 3150; 1194 m s.l.m.
Pendenza media versanti	51%
Esposizione prevalente	NE – SE
Area boscata (ha; % su tot)	2050 ha; 29%
Indice di Forma (Gravelius)	1,73

Tabella 4.3 – Principali parametri morfometrici del Bacino dell'Alto Cordevole

Durante i rilievi la parte del collettore principale indagata è stata suddivisa in 34 tratti dei quali sono stati misurati i parametri morfometrici principali anche grazie all'ausilio di un distanziometro laser che ha permesso di ricavare il profilo longitudinale. I dati sono riassunti in tabella 4.4:

Collettore principale (<i>lunghezza e ordine</i>)	13,3 km; 4° ordine
Lunghezza totale rete idrografica	92 km
Pendenza media collettore principale	11,8%
Densità di drenaggio	1,31 km/km ²
Collettore analizzato (<i>ordine max; lunghezza; % su tot; n° tratti</i>)	4° ordine; 3,3 km; 25%; 34 tratti
Dislivello collettore analizzato (<i>dimensione e % su lunghezza</i>)	86,1 m; 2,64%
Larghezza media (<i>alveo piene rive; piana alluvionale</i>)	8,7 m; 22,5 m
Tirante di piene rive medio	0,6 m
Morfologia prevalente	Artificiale/raschi

Tabella 4.4 – *Principali parametri morfometrici dell'Alto Cordevole*

La parte del t. Cordevole analizzata (3313 m) si estende tra la confluenza del Rio Andraz e quella del Rio Ornella; per tutta questa lunghezza il torrente è costeggiato da una strada (Fig. 4.12), e quindi le sistemazioni di sponda sono quasi sempre presenti e determinano una modificazione della naturalità del corso d'acqua. Anche le opere dirette alla correzione del fondo dell'alveo sono frequenti, e si trovano delle opere di presa per alcune centrali idroelettriche. Il grado di antropizzazione è nel complesso abbastanza elevato, e questo influisce anche la quantità di materiale legnoso presente in alveo. In effetti, come si vedrà in seguito nel confronto fra i vari bacini, il volume ed il numero totale di elementi rinvenuti espressi in funzioni della superficie d'alveo è relativamente limitata.



Figura 4.12 – *Valle dell'Alto Cordevole. Foto scattata dalla cima del Col di Lana. Sullo sfondo si può osservare il Passo Pordoi, il gruppo del Sella, e più dietro il Catinaccio*

4.2.2 Fiorentina

Il bacino idrografico del Fiorentina è situato ad est dell'area oggetto di studio (Fig. 4.13); Il torrente Fiorentina (5° ordine) nasce alle pendici del monte Pelmo, presso il passo Staulanza, scorre lungo l'omonima valle (Fig. 4.14) per circa 12 km e confluisce sul Cordevole a Caprile. L'area drenata è pari a 58,11 km² ed è caratterizzata da



Figura 4.13 – Inquadramento del bacino del Fiorentina

una quota media di 1838 m s.l.m. (compresa tra la massima rilevata sul monte Pelmo, 3171 m s.l.m. e la minima vicino l'abitato di Caprile, 998 m s.l.m.) e presenta una pendenza media del 55%; la copertura forestale interessa più della metà del bacino idrografico e l'indice di forma di Gravelius è pari a 1,9. I dati che riassumono le caratteristiche del bacino sono riportati in tabella 4.5:

Area drenata	58,1 km ²
Quota (<i>min; max; media</i>)	998; 3171; 1838 m s.l.m.
Pendenza media versanti	55%
Esposizione prevalente	O - SO
Area boscata (ha; % su tot)	2960 ha; 51%
Indice di Forma (Gravelius)	1,9

Tabella 4.5 – Principali parametri morfometrici del Bacino del Fiorentina



Figura 4.14 – Valle del Fiorentina; sullo sfondo il monte Pelmo.

I rilievi hanno riguardato una porzione di torrente di 5,4 km, fino ad un'area drenata di 27 km² circa (collettore di 4 ordine); esso è stato suddiviso in 51 tratti dei quali sono stati misurati i parametri morfometrici principali (tabella 4.6). La pendenza del tratto analizzato è inferiore rispetto a quella del torrente per la presenza di opere di sistemazione del fondo. Anche il t. Fiorentina, come l'Alto Cordevole, è antropizzato per la presenza di infrastrutture (strade e ponti) che spesso sono accompagnate da opere di sistemazione delle sponde che "controllano" le dimensioni dell'alveo, che risultano maggiori di quelle che naturalmente si formerebbero.

Collettore principale (<i>lunghezza e ordine</i>)	12 km; 5° ordine
Lunghezza totale rete idrografica	81,2 km
Pendenza media collettore principale	6%
Densità di drenaggio	1,4 km/km ²
Collettore analizzato (<i>ordine max; lunghezza; % su tot; n° tratti</i>)	4° ordine; 5,4 km; 45%; 51 tratti
Dislivello collettore analizzato (<i>dimensione e % su lunghezza</i>)	216 m; 4,5%
Larghezza media (<i>alveo piene rive</i>)	11,4 m
Tirante di piene rive medio	0,56 m
Morfologia prevalente	Artificiale/raschi

Tabella 4.6 – Principali parametri morfometrici del t. Fiorentina

4.2.3 Pettorina

Il bacino idrografico del Pettorina è situato a sud-ovest dell'area oggetto di studio (figura 4.15); Il torrente omonimo trae origine dal gruppo della Marmolada che è la vetta più alta delle Dolomiti (3345 m s.l.m.); scorre lungo la valle per una lunghezza di circa 13 km e s'immette nel Cordevole subito a monte di Caprile (1004 m s.l.m.); la particolare



Figura 4.15 – Inquadramento del bacino del Pettorina

formazione geologica dell'area, con grande presenza di dolomia (vedi sez. 4.1.5) influisce sulla morfologia del bacino; in effetti le immense pareti verticali delle catene montuose determinano una pendenza media dei versanti elevata (65%) e la dura roccia costringe il torrente in profonde gole e rende le superficie molto stabili; il soprassuolo poi, occupa solo il 41% del bacino. In tabella 4.7 si riportano i dati salienti. Il collettore principale, di 4° ordine, è stato indagato per la maggior parte della sua lunghezza (8,8 km) ed è stato suddiviso in 46 tratti dei quali si riportano i valori morfometrici medi (tabella 4.8).

Area drenata	51 km ²
Quota (<i>min; max; media</i>)	1004; 3345; 1944 m s.l.m.
Pendenza media versanti	65%
Esposizione prevalente	E - NE
Area boscata (ha; % su tot)	2090 ha; 41%
Indice di Forma (Gravelius)	1,93

Tabella 4.7 – *Principali parametri morfometrici del Bacino del Pettorina*

La valle del Pettorina è percorsa dalla Strada Provinciale 641 che porta fino al Passo Fedaià; lungo questa via si trovano molti abitati (Rocca Pietore, Col di Rocca, Sottoguda, ecc.) e molte attività turistiche (Fig. 4.16). Queste attività hanno avuto dei riflessi negativi sulla naturalità del torrente sia per le opere sistematorie sia per quelle di riqualificazione fluviale. Di recente, e prima della campagna di misurazione, i Servizi Forestali Regionali sono intervenuti con le “pulizie d’alveo” eliminando tutta la vegetazione riparia e lasciando il materiale ottenuto accatastato all’interno del collettore (Fig. 4.17). Queste operazioni hanno influito direttamente sulle dimensioni e sulle caratteristiche del materiale rilevato come si osserverà durante l’analisi dei risultati.

Collettore principale (<i>lunghezza e ordine</i>)	12,9 km; 4° ordine
Lunghezza totale rete idrografica	73,7 km
Pendenza media collettore principale	9%
Densità di drenaggio	1,45 km/km ²
Collettore analizzato (<i>ordine max; lunghezza; % su tot; n° tratti</i>)	4° ordine; 8,8 km; 68%; 46 tratti
Dislivello collettore analizzato (<i>dimensione e % su lunghezza</i>)	527 m; 5%
Larghezza media (<i>alveo piene rive</i>)	7,4 m
Tirante di piene rive medio	0,55 m
Morfologia prevalente	Artificiale/raschi

Tabella 4.8 – *Principali parametri morfometrici del t. Pettorina*



Figura 4.16 – *Valle del Pettorina.*



Figura 4.17 – *Cataste di legname lungo il Pettorina.*

4.2.4 Andraz

Il torrente Andraz è uno dei principali tributari del Cordevole a nord del lago di Alleghe. I suoi rami si allungano fino alle pendici del Sass de Stria (2477 m s.l.m.) e il Piccolo Lagazuoi (2776 m s.l.m.) che segna lo spartiacque a nord ed è la vetta più elevata; l'area drenata è pari a 27,2 km² con sezione di chiusura a 1114 m s.l.m.



Figura 4.18 – Inquadramento del bacino dell'Andraz

Il corso d'acqua prende il nome dell'omonimo paese, anche se nella zona di testata del reticolo idrografico si divide in più affluenti di nomi diversi (Rio di Grèola, Ru del Castello e Ru Valparola). Il bacino ha pendenze molto variabili: nella parte più a nord le catene montuose si innalzano con pareti verticali da territori pseudo-pianeggianti, ancora oggi interessati da diversi pascoli. La valle è attraversata dalla Strada Statale 48 che porta verso il Castello di Andraz ed il Passo Falzarego (Fig. 4.19); l'indice di antropizzazione risulta essere relativamente basso. I parametri morfometrici del bacino sono riassunti in tabella 4.9.

Area drenata	27,2 km ²
Quota (<i>min; max; media</i>)	1114; 2776; 1950 m s.l.m.
Pendenza media versanti	49%
Esposizione prevalente	S - SO
Area boscata (ha; % su tot)	1197 ha; 44%
Indice di Forma (Gravelius)	1,93

Tabella 4.9 – Principali parametri morfometrici del Bacino dell'Andraz

I rilievi sono stati eseguiti con metodologia a campione (sez. 2a paragr. 1.1); in totale sono stati campionati 7 tratti per un totale di 703 m. I dati relativi al corso d'acqua sono riportati in tabella 4.10.

Collettore principale (<i>lunghezza e ordine</i>)	7,7 km; 4° ordine
Lunghezza totale rete idrografica	36,9 km
Pendenza media collettore principale	13%
Densità di drenaggio	1,36 km/km ²
Collettore analizzato (<i>ordine max; lunghezza; % su tot; n° tratti</i>)	4° ordine; 0,7 km; 10%; 7 tratti
Dislivello collettore analizzato (<i>% su lunghezza</i>)	13%
Larghezza media (<i>alveo piene rive</i>)	7,3 m
Tirante di piene rive medio	0,51 m
Morfologia prevalente	Rapide/gradinata

Tabella 4.10 – Principali parametri morfometrici del t. Andraz

Il torrente Andraz, presenta una morfologia piuttosto disomogenea a seconda del tratto considerato: nella zona più a valle si sono riscontrati forti caratteri di naturalità e l'alveo risulta piuttosto confinato e molto pendente; nell'area intermedia, numerose sono le modificazioni apportate per preservare l'insediamento abitativo, mentre verso la testata del bacino le pendenze si fanno molto meno accentuate e il collettore principale è ridotto ad un piccolo ruscello di modeste dimensioni.



Figura 4.19 – Il castello di Andraz. Le catene montuose appartengono al gruppo delle Tofane.

4.2.5 Codalonga

Il torrente Codalonga è il più importante affluente (in destra) del Fiorentina (Fig. 4.20). La valle è compresa nelle unità amministrative di Selva di Cadore e di Colle Santa Lucia; i monti più alti che segnano i limiti a nord di quest'area, sono l'Averau (2649 m s.l.m.), ed il Nuvolau (2574 m s.l.m.), est si innalza il Cernera (2657 m s.l.m.) e a ovest il monte Pore (2405 m s.l.m.). Nella zona più a nord il corso d'acqua



Figura 4.20 – Inquadramento del bacino del Codalonga

scorre in un'area con versanti poco pendenti coperti da praterie alpine, mentre la vegetazione arborea od arbustiva è poco presente, per lo più distribuita in piccoli gruppi di piante. Più in basso il torrente si incide nella valle e forma dei tratti con letto in roccia e pendenze sostenute. Il bacino ha una quota media pari a 1930 m s.l.m. ed è esposto prevalentemente verso sud, sud-ovest. La forma è piuttosto compatta mentre si allunga solo nel tratto subito a monte della confluenza, come viene espresso dall'indice di forma (tabella 4.11). I rilievi hanno interessato quasi il 70% del collettore principale partendo dalla confluenza con il Fiorentina e risalendo verso monte fino al limite della vegetazione arborea. I dati principali del t. Codalonga sono riportati in tabella 4.12.

Area drenata	13,51 km ²
Quota (<i>min; max; media</i>)	1145; 2656; 1930 m s.l.m.
Pendenza media versanti	55%
Esposizione prevalente	S - SO
Area boscata (ha; % su tot)	583 ha; 43%
Indice di Forma (Gravelius)	1,32

Tabella 4.11 – *Principali parametri morfometrici del Bacino del Codalonga*

Collettore principale (<i>lunghezza e ordine</i>)	6,3 km; 4° ordine
Lunghezza totale rete idrografica	17,8 km
Pendenza media collettore principale	16%
Densità di drenaggio	1,32 km/km ²
Collettore analizzato (<i>ordine max; lunghezza; % su tot; n° tratti</i>)	4° ordine; 4,2 km; 67%; 43 tratti
Dislivello collettore analizzato (<i>% su lunghezza</i>)	437 m 10,4%
Larghezza media (<i>alveo piene rive</i>)	6,5 m
Tirante di piene rive medio	0,5 m
Morfologia prevalente	Rapide/gradinata

Tabella 4.12 – *Principali parametri morfometrici del t. Codalonga*

L'alveo del t. Codalonga è caratterizzato da una grande quantità di vegetazione ripariale presente per lo più nell'area a sud. Lo stato di "quasi naturalità" di questo tratto è stato analizzato approfonditamente misurando tutte le piante presenti all'interno della zona d'influenza del corso d'acqua. Di recente i Servizi Forestali Regionali sono intervenuti nel Codalonga con delle opere di riqualificazione fluviale asportando tutto il materiale vegetale (Fig. 4.21).



Figura 4.21 – *Tratto del t. Codalonga prima e dopo le "pulizie d'alveo".*

4.2.6 Davedino

Il “Ru de Davedin” è situato tra i comuni di Rocca Pietore e Livinallongo del Col di Lana. Il bacino idrografico a prima vista, appare molto inciso, con versanti ad elevata pendenza, coperti quasi totalmente da una fitta vegetazione (Fig. 4.22); Il livello di antropizzazione è piuttosto limitato (sia per quanto riguarda le infrastrutture che gli edifici),



Figura 4.21 – Inquadramento del bacino del Davedino

favorendo lo sviluppo di un ecosistema quasi naturale, anche grazie al progressivo abbandono delle attività silvo-pastorali. Il bacino ha un'estensione di 8.69 km² con pendenze medie dei versanti pari al 60% ed esposizione prevalente a nord-est; il soprassuolo è in uno stato di avanzamento, anche se nei terreni pseudo pianeggianti della testata sono ancora presenti diversi pascoli (tabella 4.13). La portata media di questo collettore è relativamente elevata, tanto che di recente è stata realizzata una piccola centralina; i lavori hanno modificato parzialmente il tratto finale del torrente (unico segno evidente dell'antropizzazione) dove è stata realizzata una strada forestale che porta fino alla presa. I rilievi hanno interessato quasi il 70% del collettore principale, suddiviso in 43 tratti, e del quale è stato ottenuto anche il profilo longitudinale.

Area drenata	8,69 km ²
Quota (<i>min; max; media</i>)	1194; 2512; 1961 m s.l.m.
Pendenza media versanti	60%
Esposizione prevalente	NE
Area boscata (ha; % su tot)	417 ha; 48%
Indice di Forma (Gravelius)	1,16

Tabella 4.13 – Principali parametri morfometrici del Bacino del Davedino

Collettore principale (<i>lunghezza e ordine</i>)	4,1 km; 3° ordine
Lunghezza totale rete idrografica	12,5 km
Pendenza media collettore principale	19%
Densità di drenaggio	1,44 km/km ²
Collettore analizzato (<i>ordine max; lunghezza; % su tot; n° tratti</i>)	3° ordine; 2,9 km; 67%; 37 tratti
Dislivello collettore analizzato (<i>% su lunghezza</i>)	437 m 10,4%
Larghezza media (<i>alveo piene rive</i>)	6,4 m
Tirante di piene rive medio	0,7 m
Morfologia prevalente	Rapide/gradinata

Tabella 4.14 – Principali parametri morfometrici del t. Davedino

La naturalità del bacino idrografico, ben visibile dalla foto sotto riportata, si riflette anche nella morfologia d'alveo, quasi sempre caratterizzata da rapide o sequenze di *step-pool*. Numerosi sono i dissesti presenti a livello di versante e le colate detritiche di piccoli tributari. Come si vedrà in seguito, lungo questo collettore è stata rinvenuta una grande quantità di legname in alveo, molto spesso organizzata in accumuli, per i quali si sono compiute delle analisi approfondite e per i quali è stato avviato il monitoraggio della mobilitazione in occasione degli eventi di piena (vedi sez. 3.6). Il torrente Davedino, per il suo isolamento, la scarsità delle attività antropiche che vi si svolgono e le caratteristiche geologiche e morfologiche, rappresenta sicuramente un caso molto interessante, e che ha fornito molti dati utili ai fini della ricerca affrontata.



Figura 4.22 – *Bacino idrografico del Davedino. Nella parte in alto si osserva il ghiacciaio della Marmolada*

4.2.7 Cordon

Il rio Cordon è un affluente in destra di 3° ordine del torrente Fiorentina (Fig. 4.23) e il suo bacino idrografico drena una superficie di 7.7 km². Presenta una quota media di 2075 m s.l.m. con una pendenza media dei versanti pari a 47%. La lunghezza totale del collettore è di circa 5.5 km ed ha una pendenza media del 12%.



Figura 4.23 – Inquadramento del bacino del Cordon

Il tratto di torrente analizzato si sviluppa dalla stazione sperimentale di rilevamento delle portate (1763 m s.l.m.) fino all'immissione nel torrente Fiorentina (1420 m s.l.m.) per una lunghezza di 2.7 km. Nella parte bassa del torrente, precisamente appena sopra la vecchia centrale, si estende un tratto sistemato con una serie di sei briglie in calcestruzzo armato. Le aree boscate sono piuttosto ridotte (32% sul totale), in conseguenza delle quote elevate in cui si trova il bacino; l'indice di forma è piuttosto elevato (1,97) a causa della forma particolarmente irregolare del contorno. I risultati delle campagne di misurazione riguardanti il bacino idrografico e il collettore principale sono riportati in tabella 4.15 e tabella 4.16.

Area drenata	7,7 km ²
Quota (<i>min; max; media</i>)	1420; 2075; 2673 m s.l.m.
Pendenza media versanti	47%
Esposizione prevalente	S - SO
Area boscata (ha; % su tot)	246 ha; 32%
Indice di Forma (Gravelius)	1,97

Tabella 4.15 – Principali parametri morfometrici del Bacino del Cordon

Collettore principale (<i>lunghezza e ordine</i>)	5,5 km; 3° ordine
Lunghezza totale rete idrografica	11 km
Pendenza media collettore principale	12%
Densità di drenaggio	1,42 km/km ²
Collettore analizzato (<i>ordine max; lunghezza; % su tot; n° tratti</i>)	3° ordine; 2,7 km; 49%; 44 tratti
Dislivello collettore analizzato (<i>% su lunghezza</i>)	296 m 11%
Larghezza media (<i>alveo piene rive</i>)	5,4 m
Tirante di piene rive medio	0,7 m
Morfologia prevalente	Gradinata

Tabella 4.16 – Principali parametri morfometrici del t. Cordon

La morfologia del corso d'acqua principale è caratterizzata da lunghe sequenze a gradinata (fig. 4.24), e non è raro trovare dei salti formati da legname (*log-step*). Questo torrente è stato oggetto di molti studi, diretti all'analisi sia della morfologia che dell'idrografia. La stazione di misura permette di ottenere importanti informazioni riguardo la portata liquida e solida, pertanto si è deciso di installare su alcuni tronchi rinvenuti durante le campagne di misurazione dei segnalatori (TAG), così da monitorare la mobilità di legname.



Figura 4.24 – Tratto di torrente lungo il Rio Cordon

4.2.8 Ornella

Il torrente si trova nel comune di Pieve di Livinalongo, situato in destra idrografica del T. Cordevole, all'altezza dell'abitato di Livinalongo del Col di Lana. Si trova poco distante da Arabba ed è raggiungibile con una strada secondaria. Il Ru de Ornella prende il nome dal piccolo abitato (1264 m s.l.m.) che si trova alla base della valle.



Figura 4.25– Inquadramento del bacino dell'Ornella

L'area drenata dal torrente (2°ordine) è di 6,66 km² ed è delimitata da diverse vette che superano i 2500 metri (Fig. 4.26) tra cui il Monte Padon (2512 m s.l.m.) e il Sas de Mezdi (2727 m s.l.m.). I versanti sono coperti per il 53% da formazioni arboree, che lasciano spazio ad alcuni prati ancora oggi mantenuti dagli abitanti locali. La quota media è di 1961 m s.l.m. e le pendenze medie dei versanti si attestano intorno al 54% (tabella 4.17). La parte più a valle del corso d'acqua risulta particolarmente inciso e sono frequenti i tratti in roccia con salti anche di 20 m (Fig. 4.27).

Il torrente Ornella è stato investigato con metodologie a campione per circa il 10% della lunghezza totale (tabella 4.18); gli “intertratti” sono stati osservati attentamente e di essi, sono stati riportati i caratteri salienti riguardanti la morfologia, la presenza di materiale legnoso in alveo e le frane presenti lungo i versanti.

Area drenata	6,66 km ²
Quota (<i>min; max; media</i>)	1264; 2727; 1961 m s.l.m.
Pendenza media versanti	54%
Esposizione prevalente	NE
Area boscata (ha; % su tot)	352 ha; 53%
Indice di Forma (Gravelius)	1,65

Tabella 4.17 – Principali parametri morfometrici del Bacino dell’Ornella

Collettore principale (<i>lunghezza e ordine</i>)	4,6 km; 2° ordine
Lunghezza totale rete idrografica	10,2 km
Pendenza media collettore principale	21%
Densità di drenaggio	1,52 km/km ²
Collettore analizzato (<i>ordine max; lunghezza; % su tot; n° tratti</i>)	2° ordine; 0,4 km; 10%; 6 tratti
Dislivello collettore analizzato (<i>% su lunghezza</i>)	17,6%
Larghezza media (<i>alveo piene rive</i>)	4,5 m
Tirante di piene rive medio	0,46 m
Morfologia prevalente	Rapide

Tabella 4.18 – Principali parametri morfometrici del t. Ornella



Figura 4.26 – Bacino dell’Ornella; nella parte alta si può notare il monte Padon. Foto scattata dal Col di Lana.



Figura 4.27 – Cascata in roccia sul t. Ornella

4.2.9 Valbona

Il rio Valbona è un affluente di 2° ordine del Pettorina. Il bacino idrografico si estende per 3,8 km², per metà coperto da boschi. I versanti sono pendenti e anche il corso d'acqua è particolarmente inclinato e naturale (Fig. 4.29). La lunghezza dell'asta principale è pari a 3 km dei quali sono stati analizzati con metodologie a campione 220 m;

l'alveo di piene rive presenta una dimensione media piuttosto ridotta (6,6 m di larghezza e 0,43 di profondità) con morfologia prevalente a rapide, come riportato nella tabella 3.20.



Figura 4.28 – Inquadramento del bacino del Valbona



Figura 4.29 – Tratto in roccia lungo il t. Valbona

Area drenata	3,8 km ²
Quota (<i>min; max; media</i>)	1240; 2408; 1888 m s.l.m.
Pendenza media versanti	76%
Esposizione prevalente	N
Area boscata (ha; % su tot)	188 ha; 49%
Indice di Forma (Gravelius)	1,58

Tabella 4.19 – Principali parametri morfometrici del Bacino del t. Valbona

Collettore principale (<i>lunghezza e ordine</i>)	3 km; 2° ordine
Lunghezza totale rete idrografica	3,8 km
Pendenza media collettore principale	29%
Densità di drenaggio	1,2 km/km ²
Collettore analizzato (<i>ordine max; lunghezza; % su tot; n° tratti</i>)	2° ordine; 354 m; 12%; 5 tratti
Dislivello collettore analizzato (<i>% su lunghezza</i>)	26%
Larghezza media (<i>alveo piene rive; piana alluvionale</i>)	6.6 m; 11 m
Tirante di piene rive medio	0,38 m
Morfologia prevalente	Rapide

Tabella 4.20 – Principali parametri morfometrici del t. Valbona

4.2.10 Molini

Il rio Molini è un affluente di 2° ordine del Cordevole. Situato nel territorio comunale di Rocca Pietore il bacino è collocato tra il monte Forca ed il Sasso Bianco (2407 m s.l.m.), ed è caratterizzato da una morfologia molto accidentata, con pendenze sostenute e versanti con estesi dissesti. Il collettore principale è quasi sempre scavato in roccia e caratteristica è la presenza di una cascata con un salto di oltre 40 m a circa 900 dalla sezione di chiusura (fig. 4.31). I campionamenti di legname sono stati eseguiti lungo 2,1 km di torrente (58% sul totale). I parametri morfometrici del bacino e del collettore sono riportati nelle tabelle 4.21, 4.22.



Figura 4.30 – Inquadramento del bacino del Molini



Figura 4.31 – Cascata sul Molini

Area drenata	2,9 km ²
Quota (min; max; media)	977 m 2407 m 1473 m s.l.m.
Pendenza media versanti	51%
Esposizione prevalente	E - NE
Area boscata (ha; % su tot)	263 ha; 91%
Indice di Forma (Gravelius)	1,79

Tabella 4.21 – Principali parametri morfometrici del Bacino del Molini

Collettore principale (lunghezza e ordine)	3,6 km; 2° ordine
Lunghezza totale rete idrografica	3,1 km
Pendenza media collettore principale	26%
Densità di drenaggio	1,06 km/km ²
Collettore analizzato (ordine max; lunghezza; % su tot; n° tratti)	2° ordine; 2,1 km; 58%; 35 tratti
Dislivello collettore analizzato (% su lunghezza)	16%
Larghezza media (alveo piene rive)	3,6 m
Tirante di piene rive medio	0,48 m
Morfologia prevalente	Gradinate/letto in roccia

Tabella 4.22 – Principali parametri morfometrici del t. Molini

4.2.11 Code

Il rio Code è un affluente in sinistra del Fiorentina di piccole dimensioni (Fig. 4.32). La lunghezza dell'asta principale è pari a 1,7 km ed il bacino idrografico corrispondente copre una superficie di 2,2 km². I territori sono quasi interamente coperti da un fitto soprassuolo, e anche il corso d'acqua ha un'abbondante vegetazione ripariale.



Figura 4.32 – Inquadramento del bacino del Code

Durante i rilievi sono stati evidenziati 24 tratti che coprono quasi interamente il corso d'acqua principale; anche in questo caso il letto è spesso confinato in roccia o vi sono grossi massi disposti in maniera caotica. I parametri morfometrici sono riportati nelle tabelle 4.23 e 4.24.



Area drenata	2,2 km ²
Quota (<i>min; max; media</i>)	1325; 2093; 1776 m s.l.m.
Pendenza media versanti	41%
Esposizione prevalente	NO
Area boscata (ha; % su tot)	195 ha; 89%
Indice di Forma (Gravelius)	1,49

Tabella 4.23 – Principali parametri morfometrici del Bacino del Code

Figura 4.33 – Vegetazione del bacino del Code

Collettore principale (<i>lunghezza e ordine</i>)	1,7 km; 2° ordine
Lunghezza totale rete idrografica	2,6 km
Pendenza media collettore principale	26 %
Densità di drenaggio	1,18 km/km ²
Collettore analizzato (<i>ordine max; lunghezza; % su tot; n° tratti</i>)	2° ordine; 1,6 km; 94%; 24 tratti
Dislivello collettore analizzato (<i>% su lunghezza</i>)	25%
Larghezza media (<i>alveo piene rive</i>)	4,7 m
Tirante di piene rive medio	0,46 m
Morfologia prevalente	Rapide/letto in roccia

Tabella 4.24 – Principali parametri morfometrici del t. Code

4.2.12 Miniere

Il rio Miniere (o della Miniera) è un affluente in destra del Pettorina (Fig. 4.34) dove s'immette ad una quota di 1220 m s.l.m. L'area drenata del bacino è pari a 1,5 km² e la pendenza media dei versanti è particolarmente sostenuta (75%). Si tratta di un collettore quasi totalmente naturale, ad eccezione del tratto più a valle dove è stato realizzato un cunettone che passa sotto un ponte e convoglia l'acqua verso il Pettorina. I rilievi sono stati effettuati a campione, analizzando solo 3 tratti (210 m in totale) fino ad una quota di 1700 m circa, a causa della impossibilità nel risalire il torrente. La morfologia è caratterizzata da letto in roccia e frequenti cascate (Fig. 4.35).



Figura 4.34 – Inquadramento del bacino delle Miniere



Figura 4.35 – Tratto di torrente campionato lungo il Rio della Miniera

Area drenata	1,5 km ²
Quota (min; max; media)	1211 m; 2406 m; 1886 m s.l.m.
Pendenza media versanti	75%
Esposizione prevalente	NO – NE
Area boscata (ha; % su tot)	83 ha; 57%
Indice di Forma (Gravelius)	1,89

Tabella 4.25 – Principali parametri morfometrici del Bacino della Miniera

Collettore principale (lunghezza e ordine)	1,9 km; 1° ordine
Lunghezza totale rete idrografica	1,9 km
Pendenza media collettore principale	28%
Densità di drenaggio	1,34 km/km ²
Collettore analizzato (ordine max; lunghezza; % su tot; n° tratti)	1° ordine; 0,21 km; 11%; 3 tratti
Dislivello collettore analizzato (% su lunghezza)	25%
Larghezza media (alveo piene rive; piana alluvionale)	3,5 m; 9,5 m
Tirante di piene rive medio	0,43 m
Morfologia prevalente	Cascate/letto in roccia

Tabella 4.26 – Principali parametri morfometrici del Rio della Miniera

4.2.13 Bianco

Il rio Bianco è il più piccolo torrente indagato nell'area dell'Alto Cordevole. E' un corso d'acqua di 1° ordine (Fig. 4.36) che s'immette nel Pettorina. Prende il nome dal Sasso Bianco (2407 m s.l.m.) che segna lo spartiacqua a sud. Il bacino idrografico si estende per solo 1,2 km² e la superficie boscata copre il 69% della superficie. E' caratterizzato da pendenze sostenute frane di versante e colate detritiche sia sul collettore principale, che sui piccoli tributari spesso effimeri (Fig. 4.37). I rilievi hanno interessato cinque porzioni di torrente pari al 16% della lunghezza totale; in seguito si riassumono i principali parametri.

Area drenata	1,2 km ²
Quota (<i>min; max; media</i>)	1082; 2351; 1724 m s.l.m.
Pendenza media versanti	72%
Esposizione prevalente	NE
Area boscata (ha; % su tot)	81 ha; 69%
Indice di Forma (Gravelius)	1,47

Tabella 4.27 – Parametri del bacino del Rio Bianco



Figura 4.36 – Inquadramento del bacino del rio Bianco



Figura 4.37 – Tratto intermedio del rio Bianco

Collettore principale (<i>lunghezza e ordine</i>)	2,2 km; 1° ordine
Lunghezza totale rete idrografica	2,2 km
Pendenza media collettore principale	38%
Densità di drenaggio	1,88 km/km ²
Collettore analizzato (<i>ordine max; lunghezza; % su tot; n° tratti</i>)	1° ordine; 0,344 km; 16%; 5 tratti
Dislivello collettore analizzato (<i>% su lunghezza</i>)	33%
Larghezza media (<i>alveo piene rive; piana alluvionale</i>)	3,8 m; 8,2 m
Tirante di piene rive medio	0,49 m
Morfologia prevalente	Rapide/letto in roccia

Tabella 4.28 – Principali parametri morfometrici del Rio Bianco

5 – ANALISI DEI DATI DI CAMPO

I rilievi di campo hanno riguardato tredici corsi d'acqua dolomitici con ordine gerarchico variabile tra 1 e 5, e ricadenti nella parte superiore del bacino idrografico del T. Cordevole, in provincia di Belluno (fig. 5.1). I torrenti oggetto di studio sono stati ampiamente descritti nel capitolo precedente. Per ognuno di essi è stata fatta una breve descrizione generale, e si sono riportate sinteticamente le principali caratteristiche morfometriche (misurate in campo) del corso d'acqua considerato e del bacino idrografico corrispondente. Nell'ultimo periodo dell'attività di ricerca sono state compiute delle analisi approfondite sia a scala di bacino, che di tratto, per determinare le relazioni che intercorrono tra i parametri morfometrici dei collettori-bacini e le quantità-caratteristiche del legname rilevato in alveo. Di seguito verranno rappresentati sinteticamente, attraverso grafici e tabelle, i dati relativi ai 337 tratti identificati in campo: prima di tutto saranno trattate le variabili morfologiche dei torrenti, quindi si passeranno in rassegna i caratteri qualitativi e quantitativi del legname presente nei collettori; infine saranno illustrate i risultati ottenuti attraverso dei test incrociati tra i due diversi gruppi di dati. Come si vedrà nel capitolo successivo le conclusioni ottenute con l'analisi dei dati di campo, rappresentano i principali "assunti" utilizzati per lo sviluppo del modello previsionale, e nel contempo sono stati impiegati anche nella calibrazione dei parametri.

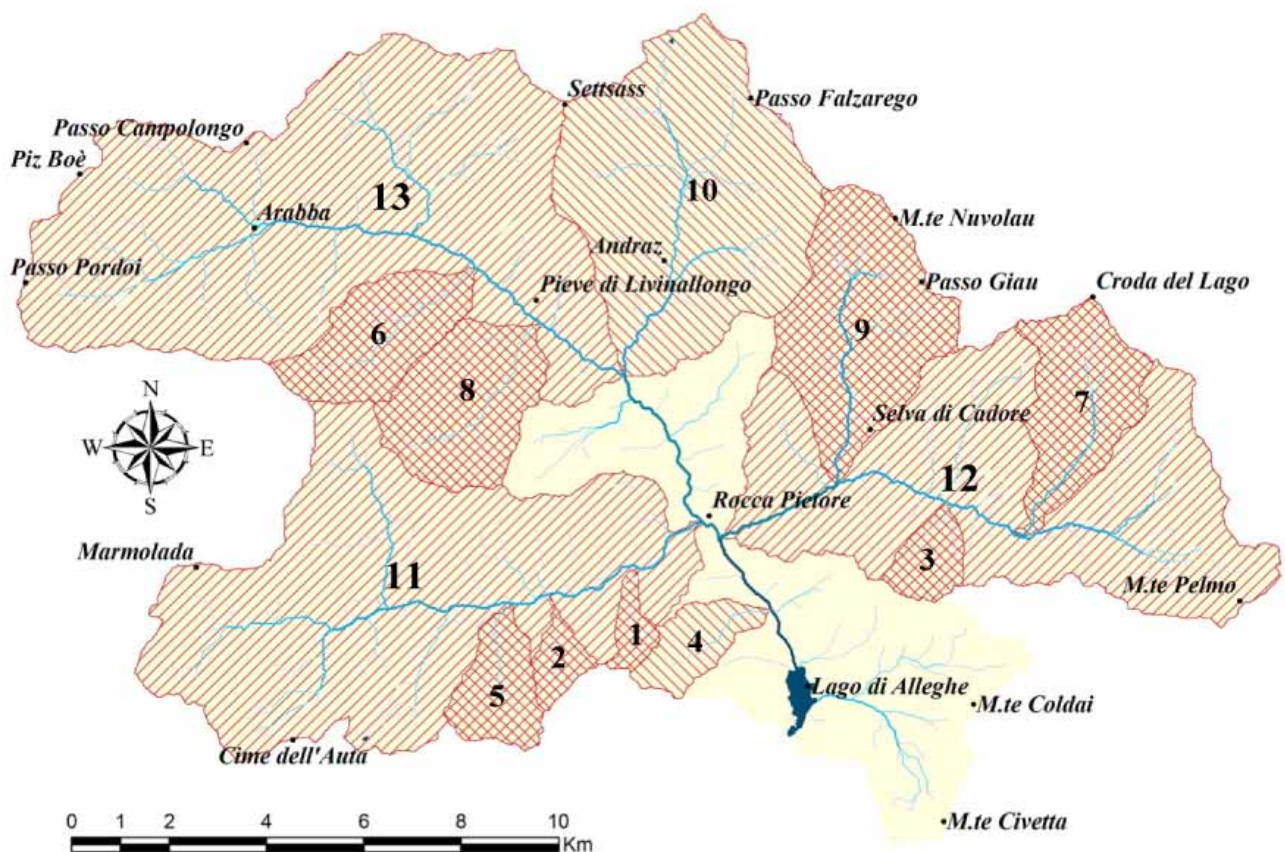


Figura 5.1 – Bacini indagati. La numerazione fa riferimento alla tabella riportata in seguito.

5.1 Variabili morfologiche dei bacini idrografici e dei torrenti.

I tredici bacini indagati (fig. 5.1), pur essendo accumulati da alcuni caratteri tipici delle aree dolomitiche, presentano variabili molto dissimili legate principalmente alla dimensione del bacino idrografico e al grado di antropizzazione. Esaminando i principali caratteri (tabella 5.1), si può notare che i bacini con area drenata inferiore a 2,5 km² presentano delle acclività sostenute con valori medi per i versanti che arrivano fino al 75% e una pendenza del collettore principale sempre superiore al 25%; questo si traduce in una morfologia d'alveo caratterizzata molto spesso da letto in roccia e "cascate", oppure, nei punti meno acclivi troviamo delle rapide formate da massi in alcuni casi anche di notevoli dimensioni sparsi in maniera caotica lungo il reticolo (fig. 5.2). Con eventi meteorici di forte intensità, questi caratteri concorrono alla formazione di fenomeni che determinano la movimentazione in massa di grandi quantità di sedimento: colate detritiche (fig. 5.3).

Bacino	Area	Superficie boscata	Pendenza media versanti	Lunghezza collettore	Lunghezza indagata		Ordine collettore (indagato)	Larghezza alveo piene rive	Pendenza media collettore	Tirante	Morfologia alveo
	(Km ²)	(%)	%	(Km)	(km)	(n° tratti)		(m)	(%)	(m)	
13- Alto Cordevole	70	29	51	13.3	3.3	34	4	8.6	3	0.64	artificiale/riffles
10- Andraz	27.2	44	49	7.7	0.7	7	4	7.3	13	0.51	rapide/step-pool
1- Bianco	1.2	69	72	2.2	0.35	5	1	3.8	38	0.47	rapide/bedrock
9- Codalonga	13.5	43	55	6.4	4.2	43	4	6.5	10	0.53	rapide/step-pool
3- Code	2.2	89	41	1.7	1.6	24	2	4.8	26	0.46	rapide/bedrock
7- Cordon	7.7	32	47	5.5	2.7	44	3	5.4	11	0.71	step-pool
8- Davedino	8.7	48	60	4	2.9	37	3	6.4	17	0.69	rapide
2- Della Miniera	1.5	57	75	1.9	0.21	3	1	3.5	28	0.43	cascate/bedrock
12- Fiorentina	37	51	55	12	5.4	51	4	11.4	4.5	0.58	artificiale/riffles
4- Molini	2.9	91	51	3.6	2.1	35	2	3.6	16	0.48	step-pool/bedrock
6- Ornella	6.7	53	54	4.6	0.41	6	2	4.5	18	0.46	rapide
11- Pettorina	51	41	65	12.9	8.8	46	4	7.4	5	0.55	artificiale/riffles
5- Valbona	3.8	49	76	3	0.35	5	2	6.6	26	0.38	rapide

Tabella 5.1 – Principali caratteristiche dei bacini studiati



Figura 5.2 – Masso ciclopico in alveo lungo il corso del rio Bianco



Figura 5.3 – Deposito di una colata detritica rinvenuta nel t. Code

All'aumentare delle dimensioni dei bacini, le pendenze diminuiscono progressivamente; i corsi d'acqua si fanno più "docili" con dislivelli che raramente superano il 25% e forme d'alveo che divengono più stabili, tipicamente caratterizzate da una disposizione meglio organizzata dei massi a formare delle sequenze più o meno lunghe di gradinate (*step-pool*). Con una superficie drenata superiore a 50 km² le pendenze nettamente inferiori (meno del 10%) favoriscono la deposizione di sedimento più fine con la formazione di sequenze a *riffle-pool*. Tuttavia queste aree sono fortemente antropizzate (insediamenti abitativi-turistici ed infrastrutture), e pertanto lungo i corsi d'acqua si trovano frequenti opere di protezione che alterano la naturalità del sistema. La presenza dell'uomo si manifesta anche nel grado di boscosità, che in linea generale risulta essere maggiore per i bacini di primo e secondo ordine, anche se in queste aree spesso troviamo delle pareti verticali, roccia nuda e quote al di sopra del limite del bosco.

In allegato (allegato 1) sono state riportate le tabelle con i parametri morfometrici riferiti ad ogni tratto analizzato lungo i tredici torrenti indagati, mentre di seguito vengono rappresentate le principali variabili statistiche in grafici di tipo a blocco. E' possibile osservare come la pendenza del collettore principale sia molto meno variabile per i corsi d'acqua di ordine maggiore (fig. 5.5), mentre nei torrenti di primo e secondo ordine si hanno valori assai differenti da tratto a tratto. Infatti, essi si sviluppano da pareti verticali delle catene montuose lungo canali fortemente incassati, che poi si allargano e cambiano repentinamente il profilo verticale poco prima d'immettersi nel collettore di ordine superiore, formando dei veri e propri conoidi di deiezione. L'alveo a piene rive assume valori medi compresi tra i 3,5 m del Bianco, Miniere e Molini, e i 10 m del Fiorentina (fig. 5.6), il quale risente delle opere di sistemazione, che tendono a sovradimensionare la sezione idrica a discapito della piana alluvionale (fig. 5.4).



Figura 5.4 – Tratto del t. Fiorentina con evidenti sistemazioni di sponda.

In linea generale si può già osservare che all'aumentare delle dimensioni del bacino (nel grafico sono ordinati in base all'area drenata), la pendenza diminuisce progressivamente, mentre la larghezza dell'alveo a piene rive aumenta. Questa affermazione sembra invece non trovare riscontro se si considera il tirante di piene rive, come si evince dal box-plot successivo (fig. 5.7). L'estrema variabilità di questo parametro può essere anche legata alla difficoltà nel rilevamento di campo, e quindi a possibili errori dell'operatore; oppure alla dipendenza da altri fattori, come ad esempio la forma d'alveo, il grado di confinamento, la pendenza locale e le opere di sistemazione.

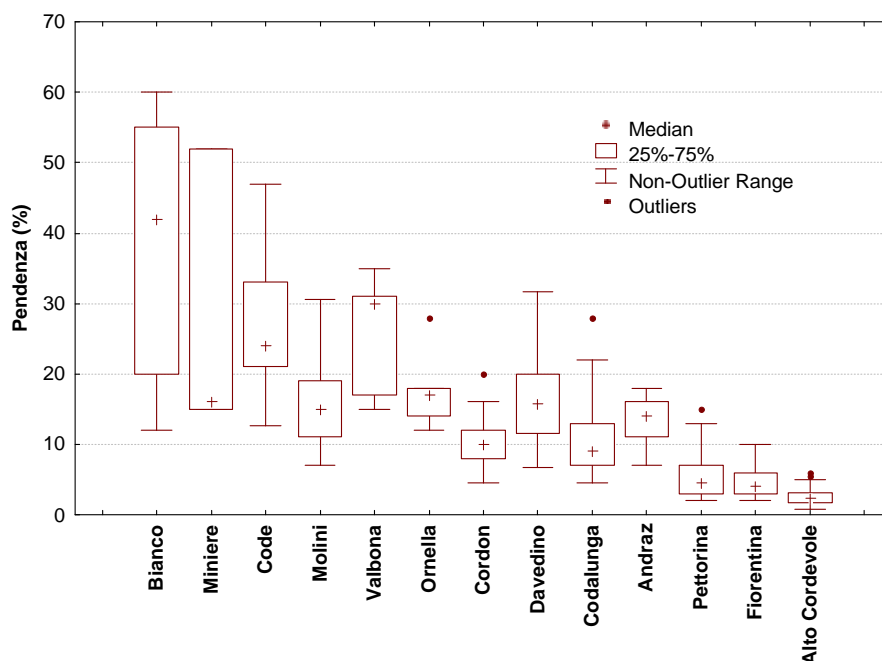


Figura 5.5 – Box-plot della pendenza rilevata nei collettori analizzati.

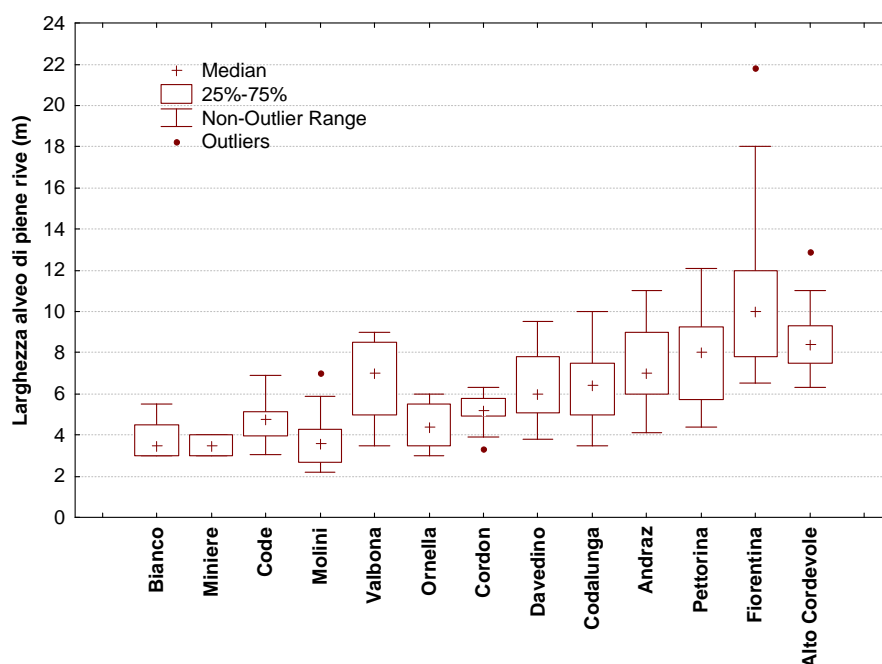


Figura 5.6 – Box-plot della larghezza dell'alveo di piene rive rilevato nei collettori analizzati.

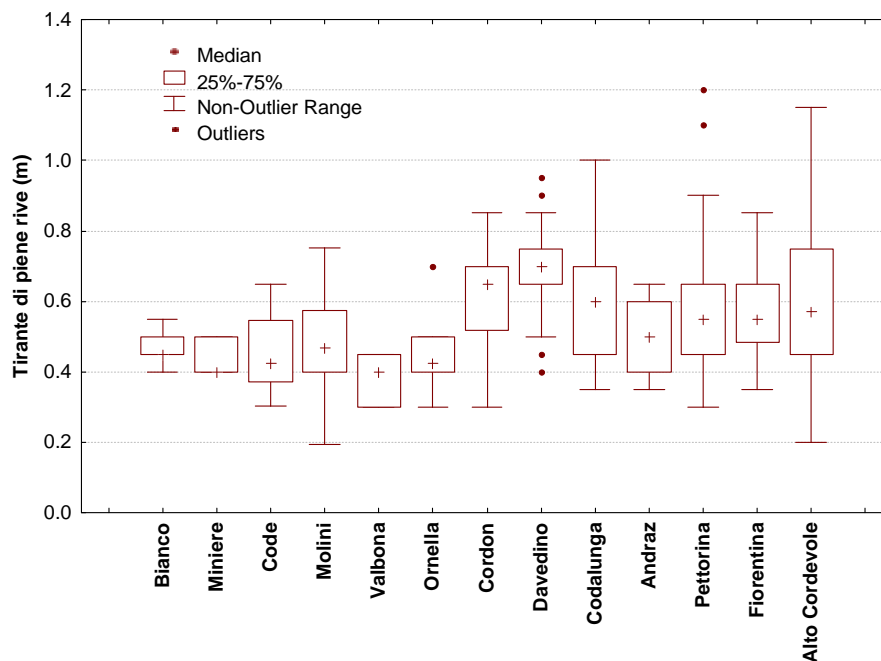


Figura 5.7 – Box-plot del tirante di piene rive rilevato nei tratti dei torrenti analizzati.

La scarsa interdipendenza del tirante di piene rive con le altre variabili morfologiche è confermata dal test di correlazione riportato in tabella 5.2, che evidenzia i bassi valori dei coefficienti ottenuti mettendo in relazione la profondità dell'alveo con l'area drenata ($R= 0,18$), con la larghezza dell'alveo a piene rive ($R= 0,11$), e con la pendenza ($R= -0,15$). Una migliore correlazione si ottiene invece tra il grado di confinamento (dato dal rapporto tra alveo a piene rive e tirante: $Bkf/tirante$) ed area drenata o pendenza.

	A	L_{pr}	T	L_{pr}/T	P
A		.56 p=0.00	.18 p=.001	.40 p=.000	-.58 p=0.00
L_{pr}	.56 p=0.00		.10 p=.052	.79 p=0.00	-.49 p=0.00
T	.18 p=.001	.10 p=.052		-.45 p=.000	-.15 p=.005
L_{pr}/T	.40 p=.000	.79 p=0.00	-.45 p=.000		-.35 p=.000
P	-.58 p=0.00	-.49 p=0.00	-.15 p=.005	-.35 p=.000	

Tabella 5.2 - Matrice di correlazione tra i principali caratteri morfometrici dei torrenti; A= area drenata; L_{pr} = larghezza piene rive; T= tirante; P= pendenza. Le correlazioni significative sono state evidenziate. (p-level < 0,05; N = 336)

L'area drenata è la variabile morfologica che meglio spiega gli altri parametri, in particolare la pendenza, con la quale vi è una correlazione negativa ($R= -0,58$) seguita dalla larghezza di alveo

a piene rive ($R= 0,56$). Si può osservare anche la relazione inversamente proporzionale che c'è tra queste due variabili ($R= -0,49$). Le relazioni sono ben rappresentate nei grafici di dispersione (fig.5.8 e 5.9), dove sono stati evidenziati i tratti appartenenti ai diversi torrenti: osservando come varia la pendenza o la larghezza della *bankfull* all'interno dello stesso bacino è confermato il trend generale, in particolare per le aree drenate inferiori. Alcune misure relative alla larghezza dell'alveo a piene rive risultano fortemente alterate a causa delle opere di riqualificazione fluviale che tendono ad allargare la sezione trasversale per diminuire il tirante in caso di venti di piena. Eliminando i dati "falsati", la correlazione migliora ed è possibile evidenziare una relazione di tipo potenza in cui l'area drenata (A) definisce la larghezza dell'alveo a piene rive (L_{pr}):

$$L_{pr} = 3,844 \cdot A^{0,21} \quad (17)$$

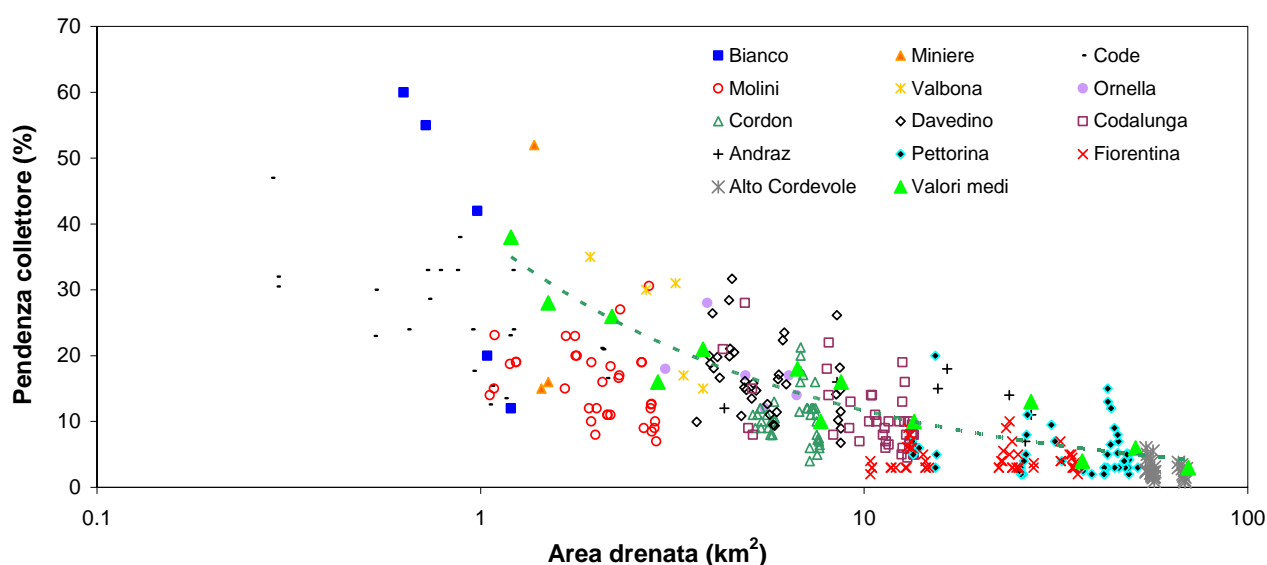


Figura 5.8 – Relazione tra la pendenza del collettore e l'area drenata.

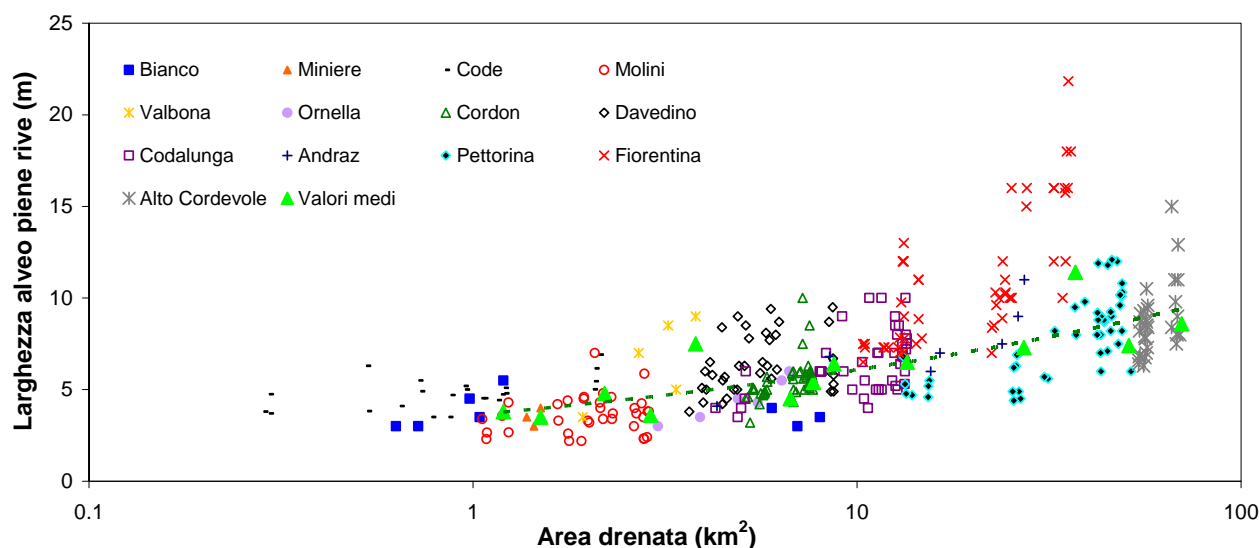


Figura 5.9 – Relazione tra la larghezza dell'alveo a piene rive e l'area drenata.

Un'ulteriore analisi può essere fatta su altri parametri morfometrici rilevati solo durante le campagne di misurazione più recenti, e quindi non disponibili per tutti i torrenti: numero di massi con diametro superiore al tirante di piene rive (in rapporto alle dimensioni dell'alveo) e larghezza della piana alluvionale. In tabella 5.3 sono riportati i valori di correlazione di questo data set.

	A	L _{pr}	L _{pa} /L _{pr}	T	L _{pr} /T	P	M
A		.58 p=.000	.09 p=.321	.15 p=.085	.38 p=.000	-.62 p=.000	-.19 p=.027
L _{pr}	.58 p=.000		-.29 p=.001	.23 p=.007	.61 p=.000	-.50 p=.000	-.47 p=.000
L _{pa} /L _{pr}	.09 p=.321	-.29 p=.001		.07 p=.402	-.26 p=.002	-.09 p=.260	.19 p=.024
T	.15 p=.085	.23 p=.007	.07 p=.402		-.5576 p=.000	-.18 p=.036	-.22 p=.009
L _{pr} /T	.38 p=.000	.61 p=.000	-.27 p=.002	-.56 p=.000		-.29 p=.000	-.24 p=.004
P	-.62 p=.000	-.50 p=.000	-.09 p=.260	-.18 p=.036	-.29 p=.000		.28 p=.001
M	-.19 p=.027	-.47 p=.000	.19 p=.024	-.22 p=.009	-.24 p=.004	.28 p=.001	

Tabella 5.3 - Matrice di correlazione tra i caratteri morfometrici dei torrenti; A= area drenata; L_{pr}= larghezza piene rive; L_{pa}= larghezza piana alluvionale; T= tirante; P= pendenza; M= massi su m². Le correlazioni significative sono state evidenziate. (p-level < 0,05; N = 140)

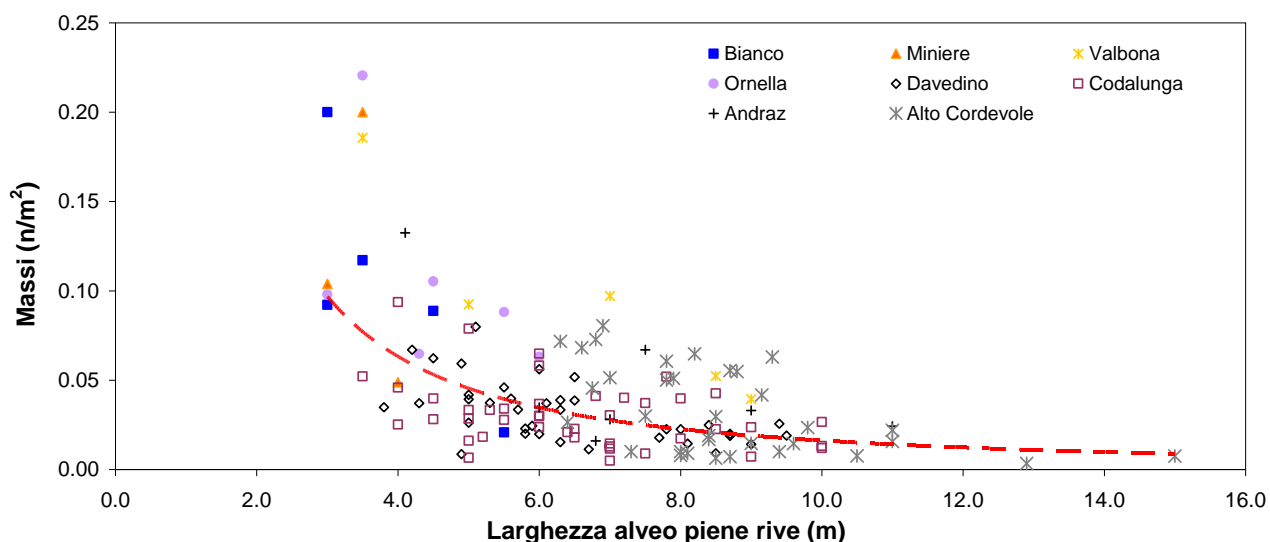


Figura 5.10 – Relazione tra il numero di massi areali e la larghezza dell'alveo a piene rive.

Anche qui vengono confermate le forti relazioni che sussistono tra area drenata, larghezza alveo di piene rive, e pendenza. Il grado di confinamento laterale (rapporto tra piana alluvionale e larghezza di piene rive) non sembra essere legato agli altri parametri, presentando valori di

correlazione relativamente bassi, anche se vi sono delle significatività legate comunque alla presenza della *bankfull* come divisore per il calcolo del parametro. La densità areale di massi con diametro medio superiore al tirante (espressi in relazione alla superficie dell'alveo) sembra essere un buon parametro descrittivo della morfologia d'alveo, e presenta dei buoni livelli di significatività con tutte le altre variabili, in particolare con la larghezza di alveo a piene rive (figura 5.10), dove la relazione è inversamente proporzionale ($R = -0,47$). La relazione più forte che è stata evidenziata, rimane quella presente tra area drenata e pendenza ($R = -0,62$).

5.2 Legname in alveo: caratteristiche.

Durante le campagne di misurazione tutti gli elementi legnosi presenti all'interno dei collettori analizzati sono stati descritti in base a diverse caratteristiche (sezione 2.2). I dati ottenuti sono stati organizzati in tabelle che descrivono le caratteristiche medie del legname per i diversi tratti di torrente monitorati (allegato 2), mentre di seguito si riportano dei grafici riassuntivi.

5.2.1 Classe vegetale

Come si osserva dall'istogramma in figura 5.11 la maggior parte del materiale deriva da conifere (quasi sempre più del 80%), tranne nel torrente Pettorina nel quale sono state rinvenute una discreta quantità di latifoglie (74%), probabilmente lasciate in alveo in seguito alle operazioni di "pulizia" eseguite poco prima dei rilievi. Nei bacini con quota media più elevata la percentuale di conifere è maggiore. I tronchi sprovvisti di radici, che perdono durante alcuni processi d'immissione (schianti, morte naturale, ecc.) o di trasporto in alveo, rappresentano la quasi totalità del legname (fig. 5.12); tuttavia, gli esemplari "integri" e le ceppaie isolate, in genere pervenute alla rete idrografica per taglio della vegetazione e successiva movimentazione del terreno (erosioni spondali o frane di versante), in alcuni casi hanno un'elevata influenza (fig. 5.15), specie se consideriamo che questi elementi sono difficilmente movimentabili, e che tendono a "rastrellare" altro materiale fluitato formando dei veri e propri accumuli.

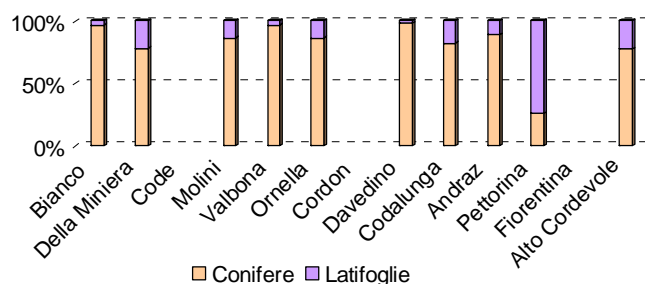


Figura 5.11 – Classe vegetale degli elementi legnosi rilevati nei diversi collettori (% in numero).

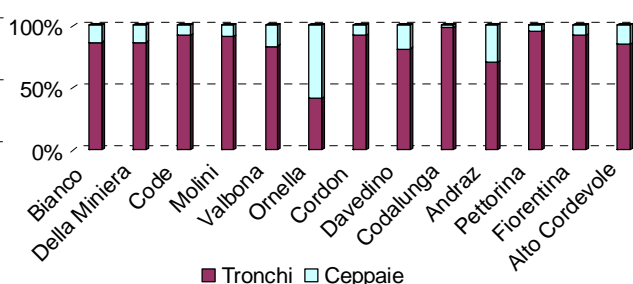


Figura 5.12 – Percentuale di tronchi e ceppaie rilevati nei torrenti analizzati.

5.2.2 Orientamento

Per quanto riguarda l'orientamento, dal grafico in figura 5.13 si deduce che non vi è una netta prevalenza di una classe, anche se i tronchi disposti in obliquo in alcuni casi sono più numerosi. In linea generale il materiale che è stato fluitato tende a disporsi parallelamente al flusso, quasi sempre con le ceppaie rivolte a monte; nei torrenti di secondo e terzo ordine, dove il grado di immobilità (o congestione) è elevato i tronchi hanno una disposizione più caotica; nei piccoli tributari il legname che cade in alveo ha delle dimensioni relative (rispetto alla larghezza dell'alveo) notevoli, e quindi se non si dispone parallelamente al corso d'acqua tende a rimanere "incastrato" nelle sponde o nei versanti che delimitano il collettore (figura 5.14).

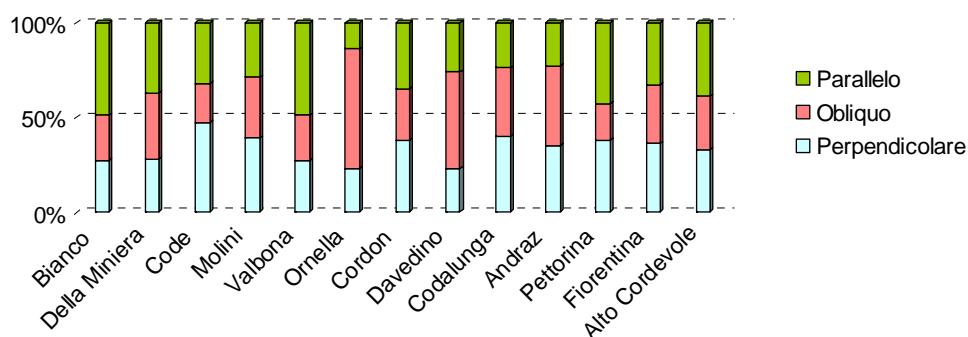


Figura 5.13 – Orientamento degli elementi legnosi rilevati nei diversi collettori (% in numero).



Figura 5.14 – Alcuni tronchi sospesi sopra il torrente.



Figura 5.15 – Alcune ceppaie rinvenute lungo il rio Davedino.

5.2.3 Ubicazione

In quasi tutti i collettori il materiale legnoso si trova principalmente all'interno dell'alveo di piene rive (figura 5.16); la presenza di un'ampia piana alluvionale e di vegetazione ripariale tendono invece a "bloccare" i tronchi che derivano dalle sponde: è il caso dell'Alto Cordevole, del Pettorina, ed in particolare del Codalunga, dove è stata rinvenuta una fitta vegetazione su ampi tratti di torrente. Nel T. Fiorentina la totalità di materiale dentro l'alveo è giustificata dal fatto che il tratto analizzato è costeggiato per tutta la sua lunghezza, da una strada che riduce la naturalità della morfologia del torrente ed impedisce il reclutamento di legname dai versanti. Si tratta di un corso d'acqua che per buona parte presenta sistemazioni spondali, mentre la vegetazione riparia è sistematicamente e periodicamente eliminata. Nel Rio Bianco e nel Rio della Miniera, molti elementi relativamente grandi rispetto alle dimensioni del torrente si bloccano nei grossi massi presenti ai margini dell'alveo, oppure, tendono a rimanere sospesi, senza riuscire ad arrivare fino al corso d'acqua (fig. 5.14). In altri collettori, invece, gli elementi che si dispongono ortogonalmente al flusso formano dei salti (*step*) molto influenti nella dinamica fluviale, perché sono in grado di dissipare una grande parte dell'energia cinetica del flusso, rallentando l'erosione e immagazzinando sedimento lungo il corso d'acqua (fig. 5.17).

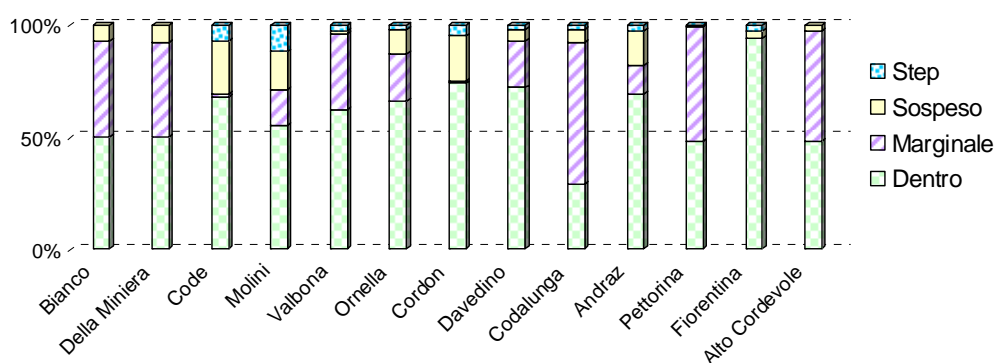


Figura 5.16 – Ubicazione degli elementi legnosi rilevati nei diversi collettori (% in numero).



Figura 5.17 – Log-step di notevoli dimensioni rinvenuto durante i rilievi in campo.

5.2.4 Stato di degradazione

Gli elementi che formano i *log-step* presentano generalmente uno stato di degradazione avanzato, come la maggior parte del legname in alveo (figura 5.18); solo nel Rio Molini c'è un'abbondante quantità di materiale con basso stato di degradazione, probabilmente derivato dalla fitta vegetazione ripariale che cresce nella piana alluvionale. Risultati simili si hanno nel Pettorina, ma lì la breve permanenza del materiale è giustificata dai recenti tagli effettuati in alveo. Nell'Andraz e nel Codalunga le frane di versante e le erosioni al piede determinano l'immissione in alveo di molto materiale, diminuendo la quantità relativa del legname meno recente.

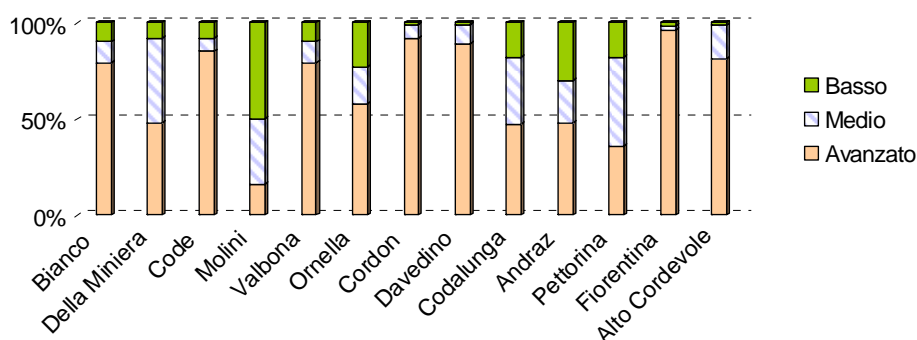


Figura 5.18 – Stato di degradazione degli elementi legnosi rilevati nei diversi collettori (% in numero).

5.2.5 Origine

L'origine del legname è sicuramente una delle caratteristiche più interessanti, ma anche più difficile da determinare. I dissesti appaiono già in prima analisi le cause principali di reclutamento del legname (figura 5.21), in particolare se consideriamo il volume al posto del numero (figura 5.19 e 5.20). Le erosioni di sponda sono più presenti nei collettori di ordine maggiore (figura 5.22), mentre per le frane non sembra esserci un trend in relazione all'area drenata, probabilmente perché in alcuni bacini la vegetazione ripariale più esterna tende a bloccare gli elementi che pervengono dai versanti; anche una buona pratica selvicolturale può limitare i fenomeni di frana o di morte naturale, ed in effetti, sembra che proprio nei territori più facilmente accessibili, e quindi dove è probabile l'utilizzazione del soprasuolo, la produzione di *LW* sia notevolmente limitata. Il materiale fluitato, che è pervenuto alla rete idrica per una delle altre cause d'immissione, è quello più presente se consideriamo il numero, ma diminuisce notevolmente se osserviamo l'istogramma riferito al volume; questo è dovuto alle minori dimensioni del legname, che più facilmente può muoversi lungo il collettore, e in secondo luogo, ai processi di rottura che subisce durante il trasporto. I residui di utilizzazione permangono in alveo solo nelle zone meno accessibili, e sono strettamente legati alle pendenze dei versanti soggetti a tagli di vegetazione. Possiamo notare come le colate

detritiche hanno un peso rilevante nei bacini di primo e secondo ordine in particolare osservando il volume (Rio Bianco, Della Miniera, e Valbona), anche se non mancano i contributi in altri bacini non tanto per i processi che avvengono lungo l'asta principale, quanto per canali colluviali che s'immettono nel collettore, come nel caso del Davedino. Nel Rio Molini non sono presenti segni di Debris-Flow presumibilmente per la bassa pendenza dei versanti (media del 50% contro i 75% degli altri tre) e per l'estesa superficie boscata (91%), che tende a stabilizzare il terreno. Come si può osservare nell'immagine sotto riportata, scattata qualche giorno dopo un *debris-flow* che ha interessato un affluente del Cordevole, i tronchi che sono trasportati, perdono quasi completamente la corteccia e le ramificazioni (anche le radici), e tendono a disporsi parallelamente sopra i lobi del conoide di deposizione. Non mancano gli elementi che rimangono sommersi dai detriti, che possono essere rilevati solo rimuovendo il materiale lapideo.

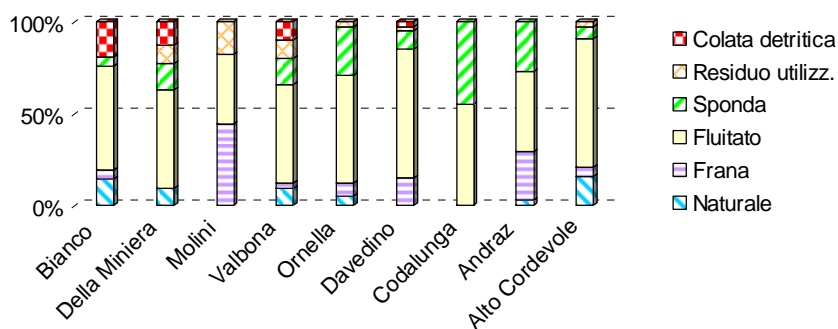


Figura 5.19 – Origine degli elementi legnosi rilevati nei torrenti indagati (% in numero).

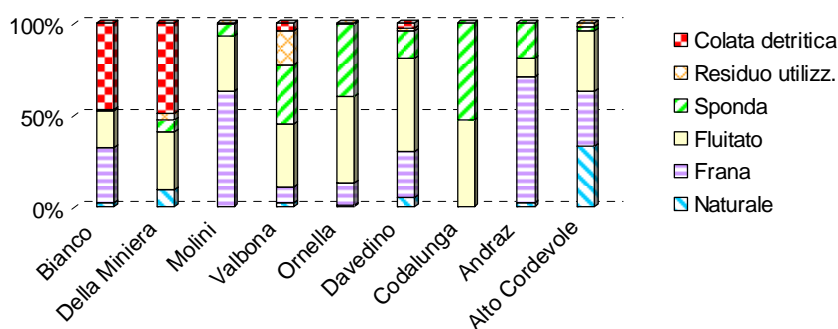


Figura 5.20 – Origine degli elementi legnosi rilevati nei torrenti indagati (% in volume).

In definitiva dai dati a disposizione (non disponibili per tutti i bacini) possiamo trarre le seguenti conclusioni circa l'origine del legname in alveo:

- ✓ in tutti i collettori è presente una discreta quantità (%) di materiale con evidenti segni di movimentazione (fluitato);
- ✓ i dissesti (frane di versante ed erosione spondali) rappresentano (in percentuale) la seconda classe d'immissione in un tratto dopo il materiale fluitato, e quindi la prima a scale di collettore;

- ✓ le erosioni di sponda sono presenti in tutti i torrenti, anche se in quelli facilmente accessibili il legname viene prontamente asportato;
- ✓ i residui delle operazioni selvicolturali si trovano per lo più in torrenti di ordine inferiore ed intermedio e sono legati alla presenza di soprasuoli oggetto di taglio nei versanti che delimitano il corso d'acqua;
- ✓ le colate detritiche concorrono ad immettere legname nei corsi d'acqua di ordine inferiore dove questi fenomeni sono più presenti;
- ✓ la poca presenza di legname derivato per morte naturale è legato alla difficile attribuzione di tale classe agli elementi analizzati, perché molto spesso i processi di reclutamento si sovrappongono; l'individuazione di origine naturale è stata fatta anche analizzando le condizioni della vegetazione presente lungo i versanti.



Figura 5.21 – Materiale legnoso originato per frana di versante.



Figura 5.22 – Alcune piante pervenute in alveo in seguito ad erosione di sponda



Figura 5.23 – Elementi legnosi trasportati da una colata detritica.

5.2.6 Stato di aggregazione

I detriti legnosi tendono ad aggregarsi per costituire accumuli definiti *log jams*; queste strutture hanno molteplici influenze sia da un punto di vista biologico per la flora e la fauna lotica, sia da un punto di vista idrodinamico e morfologico del collettore. Lungo i corsi d'acqua analizzati è stata riscontrata una quantità rilevante di legname organizzato in accumuli più o meno stabili; nella parte superiore dell'istogramma (figura 5.24) sono riportate le percentuali dei singoli, che numericamente (barre a destra) variano da un minimo del 38% nell'Andraz fino ad un massimo del 97% nel Molini. Questi valori sono generalmente ridimensionati se consideriamo il volume (barra a sinistra), in particolare per il Rio Bianco, per il Codalunga e per il Pettorina, e questo significa che le dimensioni medie degli elementi aggregati sono nettamente superiori a quelle dei singoli.

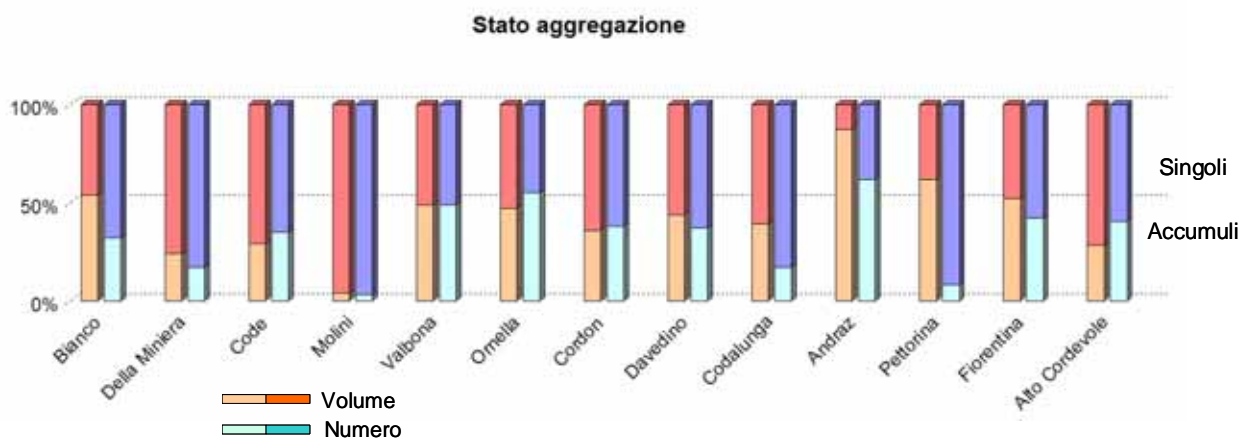


Figura 5.24 –Stato di aggregazione degli elementi legnosi rilevati nei torrenti indagati. Le coppie di barre rappresentano il volume (barra a sinistra) ed il numero (barra a destra).



Figura 5.25 – Accumulo di legname di notevoli dimensioni rinvenuto nel Rio Davedino

L'aggregazione può essere molto caotica nei corsi d'acqua inferiori, in quanto la dimensione relativamente grande degli elementi, limita la mobilità e quindi la redistribuzione; spesso sono stati rinvenuti accumuli derivati da frane di versante o da colate detritiche. All'aumentare delle dimensioni della rete idrografica aumenta il grado di organizzazione di queste strutture, anche se nei bacini dolomitici difficilmente sono riscontrabili tutti i *log jams* descritti nella classificazione stilata da Abbe e Montgomery (2002).

La maggiore quantità di materiale aggregato è stata riscontrata lungo il corso del T. Davedino (figura 5.25), dove sono stati rinvenuti 756 elementi organizzati in 101 accumuli. Il volume complessivo è pari a $86,62 \text{ m}^3$, valore che costituisce il 45% del volume totale. La formazione di ogni struttura è legata ad uno o più elementi chiave, rappresentati principalmente da tronchi (le ceppaie sono elementi chiave solo per il 9% dei casi) in uno stato di elevata degradazione. La maggior parte degli accumuli è rappresentata dai *bench jam*, seguita dai *log step*, anche se i volumi maggiori sono apportati dagli accumuli derivati dalle frane (*landslide jam*).



Figura 5.26 – Alcuni accumuli di legname presenti lungo i collettori monitorati. a: *bench jam*; b: *log-step*; c: materiale derivato da un *debris-flow*, ma in parte rimosso da piene successive.

Le diverse tipologie di accumulo, oltre a differire per morfologia e dimensioni, presentano diversi ed importanti effetti idro-morfologici: quasi tutti possono generare una deviazione della corrente, causando a volte delle erosioni laterali (*flow deflection*) o a valle del legname (*debris-dam*), mentre alcuni tendono a consolidare le ripe (*bench jam* e *landslide jam*). L'effetto più importante è sicuramente legato alla trattenuta di sedimento (presente in più casi in tutti i tipi di accumulo) ad opera delle grandi strutture come i *landslide jam* o *debris-dam* o quando si formano dei salti di corrente all'interno della struttura: *log step* (figura 5.27), *debris-dam*, e *bank input debris*.



Figura 5.27 – *Log-step* nel t. Andraz: si può notare il sedimento bloccato a monte del salto, e la pozza che si è formata a valle.

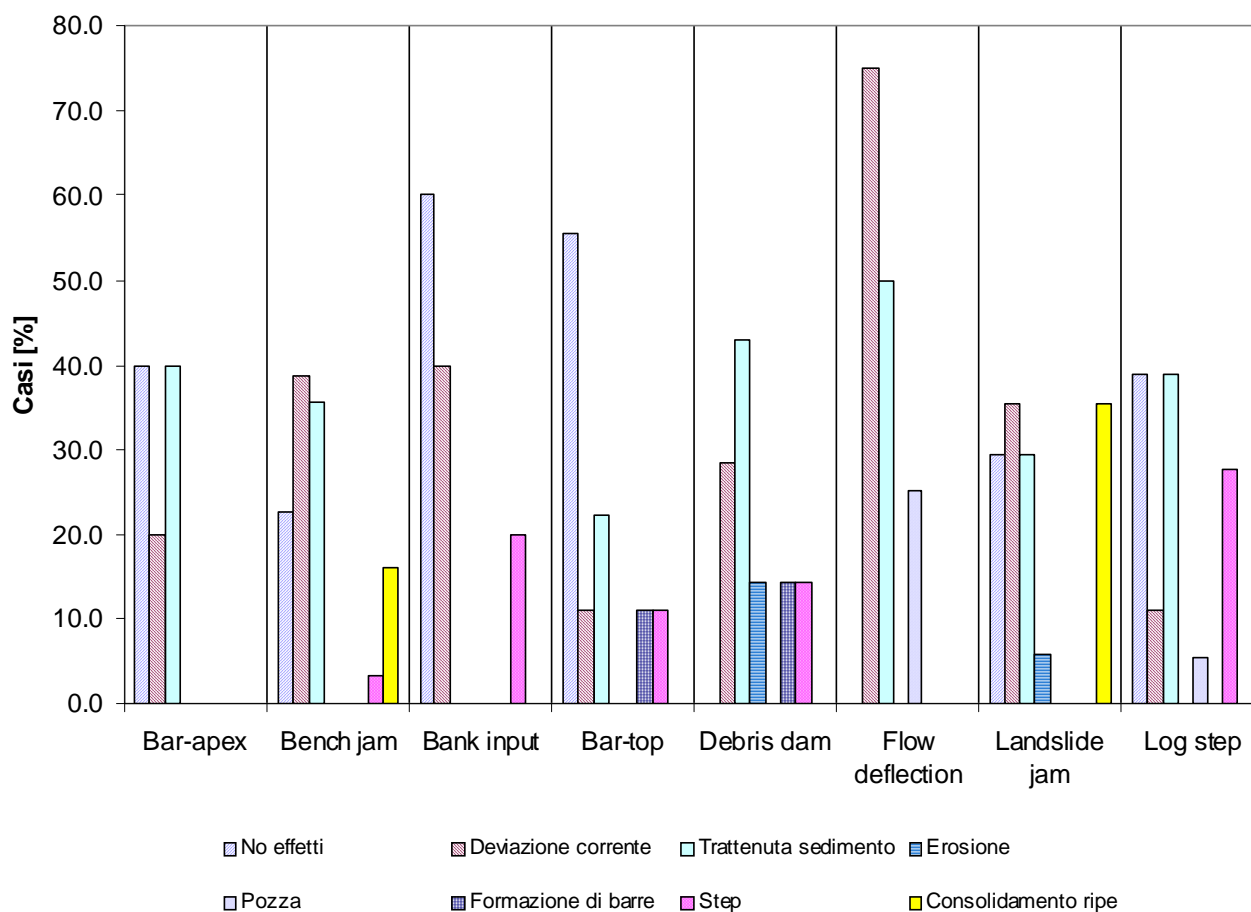


Figura 5.28 – Effetti idro-morfologici degli accumuli di legname del Ru Davedin.

Nel grafico riportato in figura 5.29, è stato messo in relazione il volume degli accumuli con il volume di sedimento trattenuto; in esso sono state evidenziate le diverse forme di aggregazione del legname. Si osserva che un singolo accumulo di legname può arrivare a trattenere anche 30 m³ di sedimento, in particolare i *landslide jam*, i *debris dam* e i *log step*, che si localizzano nella parte alta del grafico. Questi ultimi sono quelli che in media presentano il maggior rapporto tra volume di sedimento e volume di legname: in altre parole, questi elementi riescono a stabilizzare una quantità di sedimento, pari fino a 20 volte il loro volume. Il valore maggiore è però dato da una *debris-dam* che trattiene 8,4 m³ di materiale lapideo con soli 0,15 m³: circa 57 volte tanto. In totale nel Davedino il legname blocca 167 m³ di sedimento.

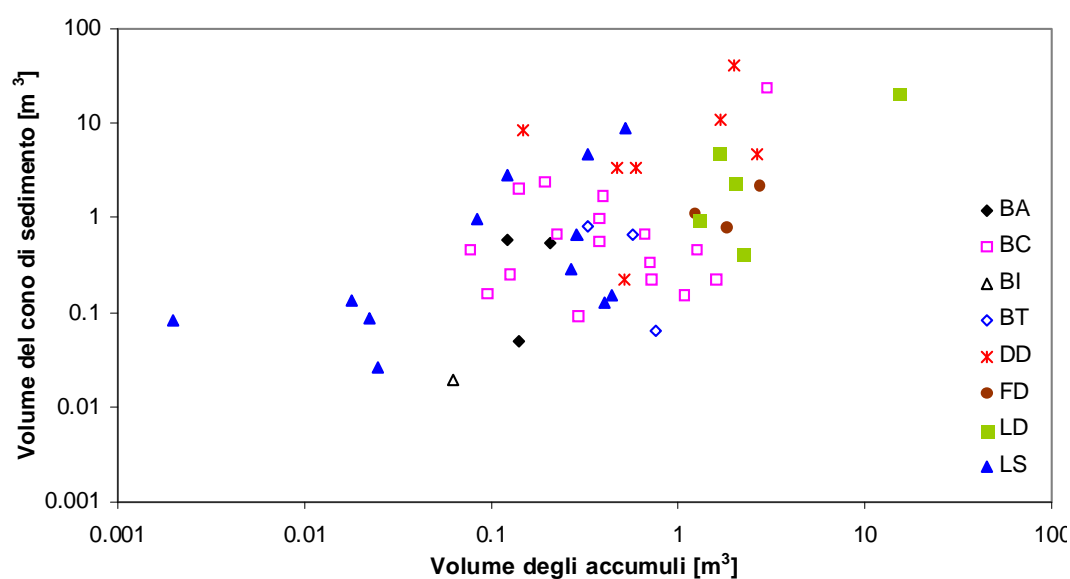


Figura 5.29 –Volume di sedimento trattenuto dagli accumuli di legname e volume degli accumuli. BA= *bar apex*; BC= *bench jam*; BI= *bank input*; BT= *bar-top*; DD= *debris-dam*; FD= *flow deflection*; LD= *landslide jam*; LS= *log-step*.



Figura 5.30 – *Debris-dam* presente nel t. Davedino

5.3 Legname in alveo: quantità, dimensioni e dinamica

Lungo i collettori analizzati sono stati rinvenuti più di 9000 elementi legnosi catalogabili come *LW* secondo la definizione data nel capitolo 3.2; per ognuno di essi sono state misurate le dimensioni (diametro medio e lunghezza). Le analisi sono state condotte sia a scala di bacino, che di tratto (allegato 3), calcolando i principali parametri statistici e mettendo in relazione le variabili che possono determinare la presenza di materiale legnoso in alveo. Per poter confrontare i diversi bacini indipendentemente dalle loro dimensioni, i dati sono espressi in rapporto all'estensione dell'alveo di piene rive (volume in m^3 e numero su ettaro di superficie). Come si può osservare in tabella 5.4 e in figura 5.31, vi è una grande variabilità sia per quanto riguarda il numero (200-2500 pezzi ha^{-1}) che il volume (8-106 $m^3 ha^{-1}$). Il Davedino ed il Ru Della Miniera sono i bacini che presentano la maggior quantità di materiale, in volume e numero rispettivamente, mentre il dato più basso è stato rilevato per il Pettorina. Per quanto riguarda le dimensioni dei singoli elementi la lunghezza mediana si presenta molto più variabile tra i bacini rilevati che il diametro mediano, con valori che sembrano essere inferiori per i bacini di ordine superiore.

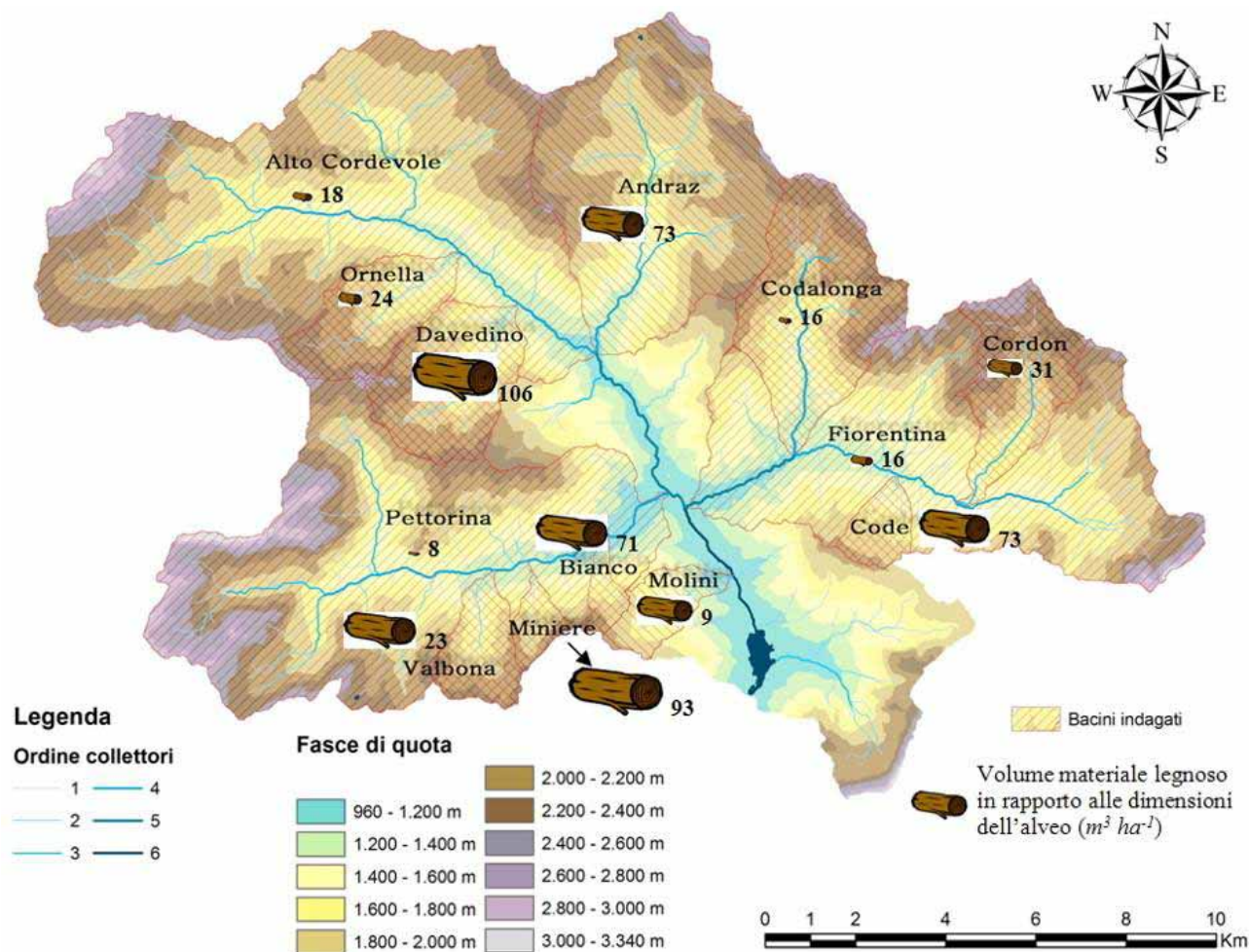


Figura 5.31 – Mappa dei volumi areali di materiale legnoso (metri cubi su ettaro di superficie d'alveo) rilevati durante le misure in campo.

Torrente indagato	Numero (N)	Volume (m ³)	Diametro medio (m)	Lunghezza media (m)	N/A (N ha ⁻¹)	V/A (m ³ ha ⁻¹)
1 - Bianco	77	9,3	0,11	1,24	590	71
2 - Della Miniera	184	6,86	0,10	1,20	2503	93
3 - Code	767	54,1	0,10	1,80	1028	73
4 - Molini	655	40,04	0,10	1,60	956	59
5 - Valbona	44	4,4	0,13	3,75	209	27
6 - Ornella	119	4,42	0,07	1,70	647	24
7 - Cordon	602	44	0,11	2,10	418	31
8 - Davedino	2013	191,1	0,12	2,00	1112	106
9 - Codalunga	818	42,9	0,07	3,20	313	16
10 - Andraz	159	37,5	0,13	3,50	311	73
11 - Pettorina	1320	50,76	0,08	0,79	203	8
12 - Fiorentina	1557	97,53	0,10	1,70	255	16
13 - Alto Cordevole	775	52,4	0,09	1,73	267	18
Totale/media	9090	635,3	0,10	2,02	667,8	47,3

Tabella 5.4 - Parametri principali del materiale legnoso rilevato.

Il diametro e la lunghezza degli elementi legnosi rinvenuti nei diversi bacini è rappresentata dai diagrammi a blocchi riportati nelle figure 5.32 e 5.33. Confrontando i due grafici si può osservare che nell'Andraz si trovano i tronchi che hanno le dimensioni medie maggiori, con diametri che possono arrivare fino a 0,5 m e lunghezze superiori ai 18 m. Tuttavia, il diametro maggiore è stato rilevato nel rio Bianco, dove alcuni elementi hanno riportano valori prossimi a 0,6 m. Nel complesso i diametri medi si attestano attorno ai 10 cm per tutti i collettori, mentre le lunghezze variano da poco meno di 1 metro (Pettorina) fino a 3,5 metri (Andraz).

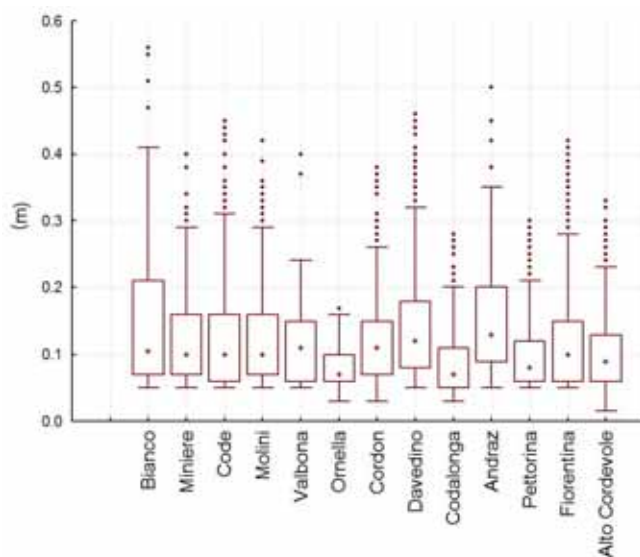


Figura 5.32 – Box-plot riferito al diametro del legname rinvenuto in alveo (n= 9090)

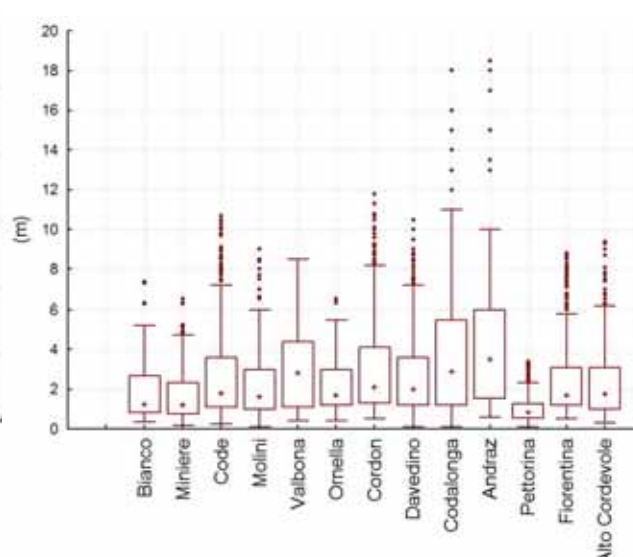


Figura 5.33 – Box-plot riferito alla lunghezza del legname rinvenuto in alveo (n= 9090)

5.3.1 Mobilità del legname

I rapporti tra le dimensioni del legname e quelle dell'alveo possono fornire un'indicazione sulla mobilità "ordinaria" (riferita cioè a condizioni di piene rive) del materiale legnoso (Braudrick e Grant, 2000). Questo tipo di analisi è stata impostata a scala di tratto calcolando per ognuno di essi il rapporto tra le dimensioni caratteristiche del legname e le estensioni dell'alveo:

- ✓ diametro maggiore caratteristico (diametro mediano e 84-esimo quantile) e profondità media del tirante di piene rive ($\frac{D_{50}}{2}/d_{av}$; $\frac{D_{84}}{2}/d_{av}$);
- ✓ lunghezza maggiore caratteristica (lunghezza mediana e 84-esimo quantile) la larghezza media di piene rive (L_{50}/w_{av} ; L_{84}/w_{av}).

I diametri caratteristici sono stati dimezzati, perché ci si riferisce al diametro di galleggiamento degli elementi (Braudrick e Grant, 2000). Quando questi indici sono superiori all'unità il legname difficilmente riesce ad essere movimentato da piene ordinarie. Il "grado di congestione" di ogni tratto è stato confrontato attraverso test di correlazione con l'area drenata, e con la pendenza media. Il risultato di tale analisi è riportata nella matrice di correlazione in tabella 4.5: si nota una relazione inversamente proporzionale tra l'area drenata e i diversi "parametri di congestione", anche se i valori di correlazione sono piuttosto bassi; migliore è invece la relazione (diretta) con la pendenza, in particolare considerando il rapporto L_{84}/w_{av} ($R= 0,47$); tutti i valori sono comunque significativi.

	$\frac{D_{50}}{2}/d_{av}$	$\frac{D_{84}}{2}/d_{av}$	L_{50}/w_{av}	L_{84}/w_{av}
Area drenata	-0.25 p=0.000	-0.23 p=0.000	-0.31 p=0.000	-0.38 p=0.000
Pendenza	.32 p=0.000	.29 p=0.000	.44 p=0.000	.47 p=0.000

Tabella 5.5 - Matrice di correlazione tra area drenata-pendenza e "grado di congestione" del legname (rapporto tra le dimensioni dei tronchi e le dimensioni dell'alveo; D_{50} = diametro mediano; D_{84} = diametro 84^{esimo} percentile; d_{av} = profondità media tirante di piene rive; L_{50} = lunghezza mediana; L_{84} = lunghezza 84^{esimo} percentile; W_{av} = profondità tirante di piene rive; p -level < 0,05; N = 336)

Le stesse relazioni sono state rappresentate in grafici a dispersione: nel primo si osserva la distribuzione dei quattro parametri utilizzati per descrivere il "grado di congestione" con l'area drenata (figura 5.34), mentre nel secondo sono stati confrontati con la pendenza media (figura 5.35). Il diametro degli elementi non è in nessuno dei collettori il fattore limitante del trasporto, in quanto mediamente è sempre inferiore ad 1/3 del tirante di piene rive. Al contrario, il rapporto tra lunghezza degli elementi e la larghezza dell'alveo è molto spesso superiore all'unità (evidenziata

con una linea tratteggiata nei grafici) per tratti con area drenata inferiore ai 30-40 km², che sono caratterizzati quindi da una forte limitazione alla fluitazione; non è raro trovare elementi con lunghezza doppia (o più) rispetto alla larghezza dell'alveo, e vi sono alcuni casi in cui anche la lunghezza mediana diventa limitante ($L_{50}/w_{av} > 1$).

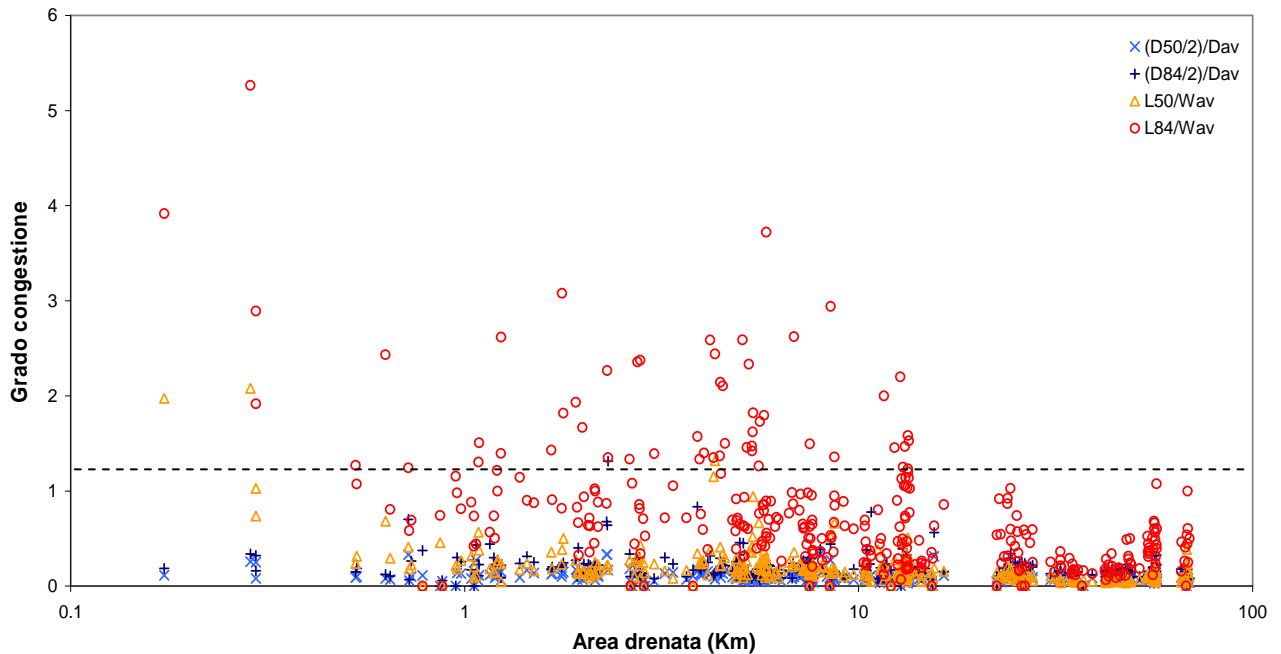


Figura 5.34 – Rapporto dimensionale tronchi-alveo confrontata con l'area drenata (D_{50} = diametro mediano; D_{84} = diametro 84^{esimo} percentile; d_{av} = profondità media tirante di piene rive; L_{50} = lunghezza mediana; L_{84} = lunghezza 84^{esimo} percentile; W_{av} = profondità tirante di piene rive.)

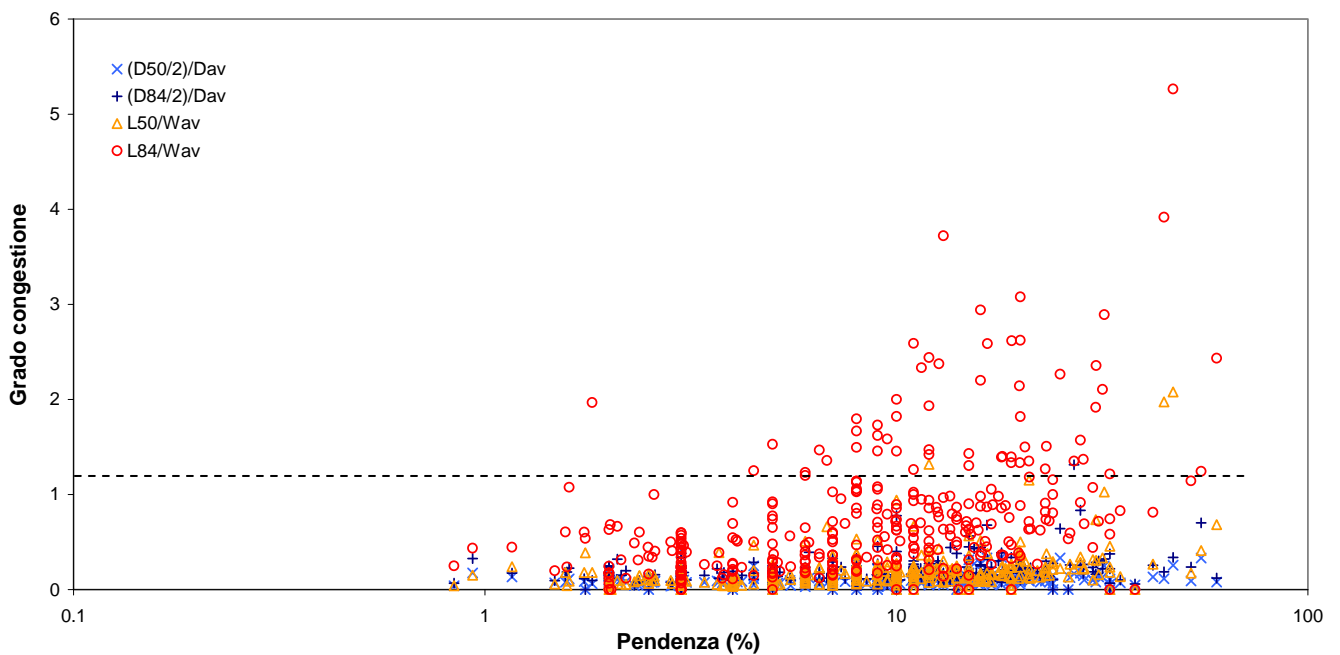


Figura 5.35 – Rapporto dimensionale tronchi-alveo confrontata con la pendenza (D_{50} = diametro mediano; D_{84} = diametro 84^{esimo} percentile; d_{av} = profondità media tirante di piene rive; L_{50} = lunghezza mediana; L_{84} = lunghezza 84^{esimo} percentile; W_{av} = profondità tirante di piene rive.)

I bacini che presentano la più alta percentuale di tratti congestionati sono il rio Bianco ed il rio Molini (rispettivamente 50 e 46%), mentre nel Pettorina in nessun caso il legname ha dimensioni maggiori del collettore. Molti sono i torrenti in cui per circa 1/3 della loro lunghezza il materiale legnoso difficilmente può essere mobilitato: Andraz, Codalunga, Cordon, Ornella, Code e della Miniera. Nel Valbona e nel Davedino solo il 20% dei tratti è in una situazione di congestione del legname, mentre nell'Alto Cordevole e nel Fiorentina questo valore scende sotto il 10%. Nel complesso, risulta che nei corsi d'acqua di ordine superiore il legname ha lunghezze relative molto più contenute con un "grado di congestione" limitato, e per il 90% dei tratti inferiore a 0,3. Di conseguenza esso può essere movimentato facilmente anche per effetto di piene ordinarie, e spostarsi a valle lungo la rete idrografica. Come visto attraverso il test di correlazione, la pendenza sembra spiegare meglio dell'area drenata il grado di congestione, e questo lo si vede anche nel grafico a dispersione (figura 5.35). Infatti, si osserva che la lunghezza relativa dei tronchi è particolarmente elevata per i tratti di torrente con pendenza superiore al 10%, mentre la mobilitazione è possibile solo quando scende sotto il 5%

La mobilitazione del legname dipende anche dalla potenza della corrente (*stream power*) che definisce la capacità di trasporto di un determinato tratto di canale; in assenza di misure di portata liquida questo parametro può essere approssimato considerando l'area drenata A e la pendenza S secondo la seguente relazione (Rodriguez-Iturbe et al. 1992):

$$SPI = S \cdot A^{0.5} \quad (18)$$

Per ogni tratto è stato calcolato il valore unitario della *stream power*, $USPI$ (espresso in rapporto alla larghezza dell'alveo) ed è stato confrontato al volume cumulato di materiale legnoso fluitato in rapporto all'area drenata espressa in km^2 (figura 5.36).

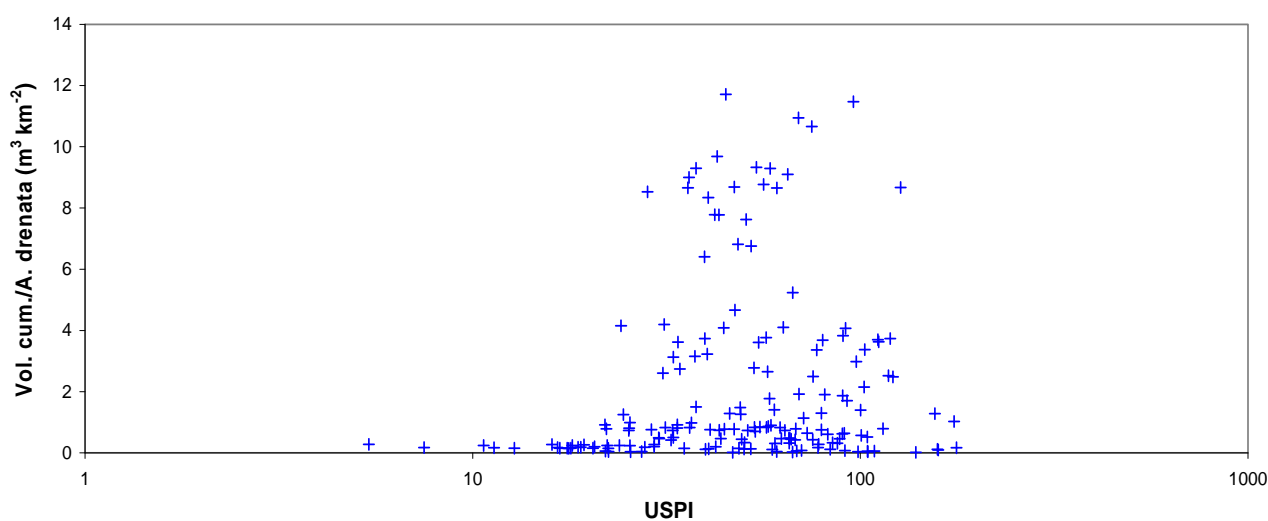


Figura 5.36 – Relazione tra il volume di materiale legnoso fluitato rinvenuto nei singoli tratti (espresso come contributo areale del bacino m^3/km^2) e la potenza della corrente unitaria ($USPI$)

Osservando il grafico, appare evidente che ai bassi valori di potenza della corrente corrisponde un valore limitato di elementi fluitati, mentre perché ci sia un consistente movimento l'*USPI* deve essere superiore a 30. I volumi maggiori di legname sono in corrispondenza di valori intermedi di *stream power* unitaria (50-100) ma quando si supera il valore di *USPI* pari a 130 c'è una brusca diminuzione, probabilmente perché il materiale viene fluitato verso i tratti successivi, finché le condizioni idrauliche permettono la deposizione.

5.3.2 Volume di legname e caratteri morfometrici

Le quantità di legname rilevate nei tredici bacini analizzati sono state confrontate con i parametri morfometrici dei singoli tratti. L'analisi della correlazione (tabella 5.6) è stata fatta utilizzando le quantità areali di volume ($m^3 ha^{-1}$) e numero ($n^{\circ} ha^{-1}$) espresse in rapporto alla superficie dell'alveo di piene rive. In generale, il legname diminuisce all'aumentare dell'area drenata e della larghezza dell'alveo (*R* negativo), mentre aumenta con l'aumentare della pendenza; il tirante di piene rive non presenta un risultato significativo.

	A	L _{pr}	T	P
Volume ($m^3 ha^{-1}$)	-0.32 p=.000	-0.21 p=.000	.08 p=.169	-0.38 p=.000
Numero ($n^{\circ} ha^{-1}$)	-0.24 p=.000	-0.18 p=.001	.03 p=.543	-0.29 p=.000

Tabella 5.6 - Matrice di correlazione tra le quantità di legname e alcune caratteristiche morfometriche dei tratti: A= area drenata, L_{pr}= larghezza alveo di piene rive, T= tirante, P= pendenza. (sono evidenziate le correlazioni significative p-level < 0,5; N = 334;)

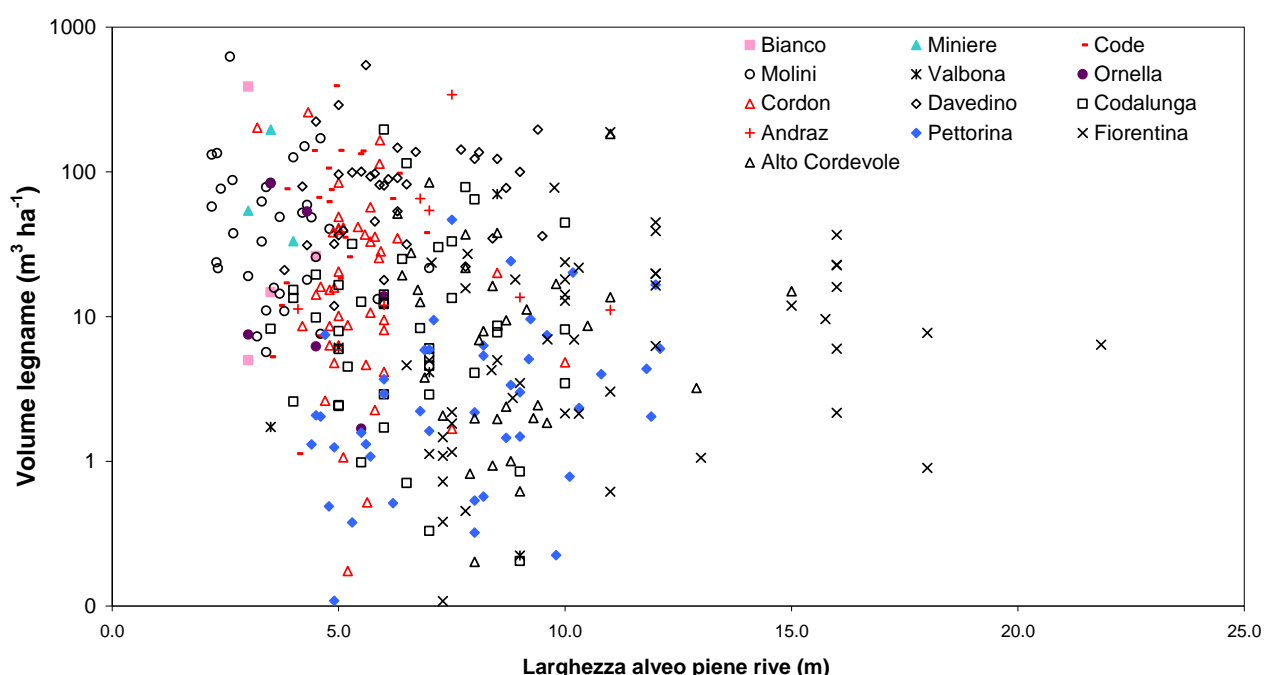


Figura 5.37 – Relazione tra volume di materiale legnoso e larghezza media dell'alveo di piene rive.

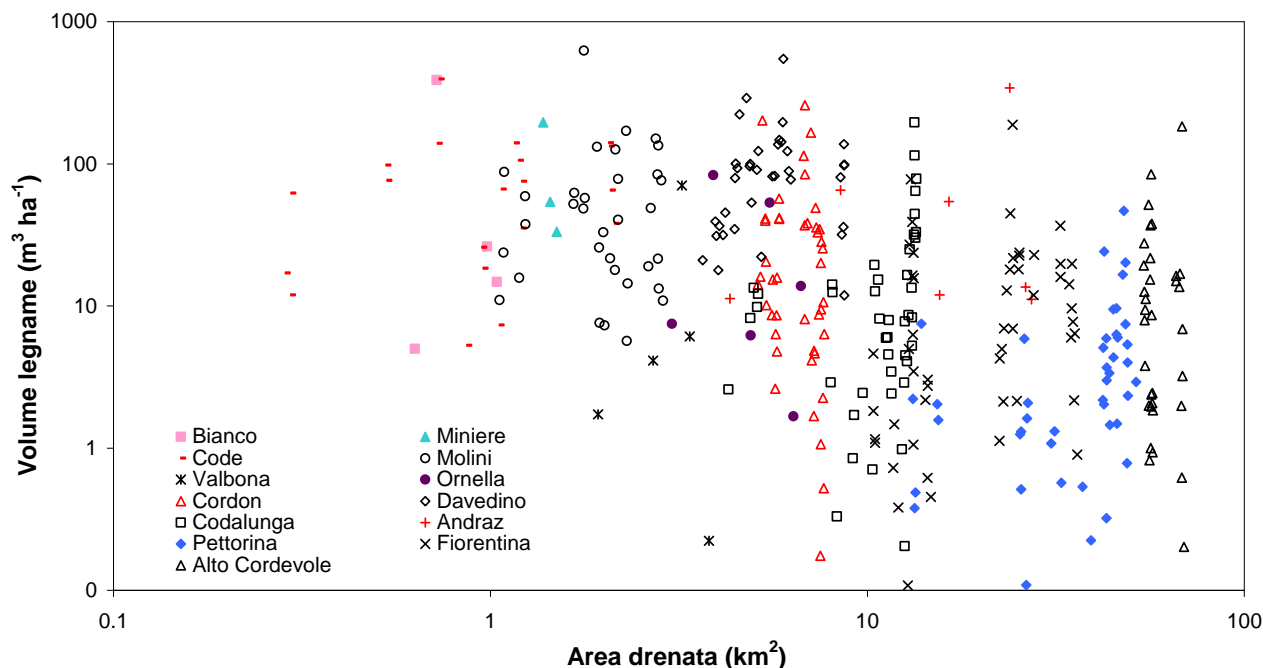


Figura 5.38 – Relazione tra il volume di materiale legnoso e l'area drenata.

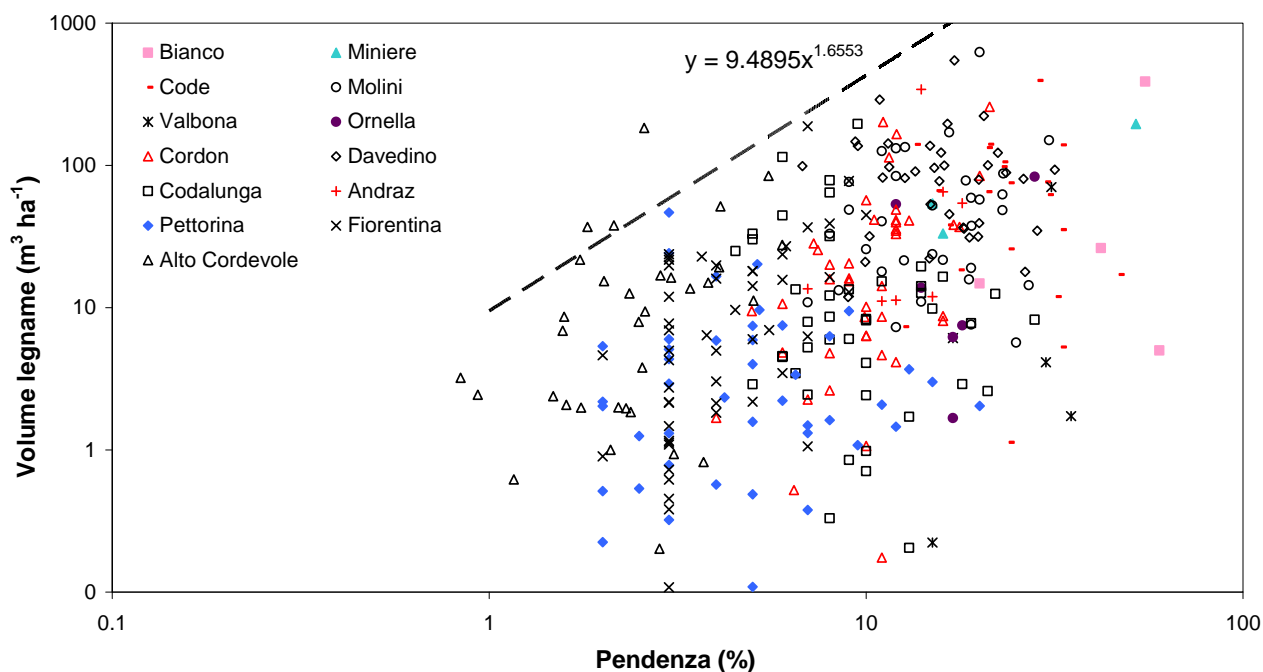


Figura 5.39 – Relazione tra il volume di materiale legnoso e la pendenza media.

Le relazioni migliori si hanno considerando il volume areale (correlazione pari a -0,32 con l'area drenata e 0,38 con la pendenza), ed esse sono state riportate anche nei grafici delle figure 6.37, 6.38 e 6.39. Da questi si possono fare ulteriori considerazioni: volumi superiori ai $300 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ si hanno per tratti di torrente con una larghezza dell'alveo inferiore a 6 m e con pendenza superiore al 15%; è confermato che al diminuire della grandezza del collettore e quindi della sua area drenata, corrisponde un aumento di materiale legnoso in alveo, anche se questo trend non è sempre valido.

Quando la pendenza media del torrente supera il 30%, e l'area sottesa è minore di 1 km² sembra che vi siano altri fattori non considerati precedentemente che determinano una diminuzione del volume di elementi. Per la pendenza si può stabilire un limite superiore d'inviluppo che definisce i massimi valori (95% dei dati) di volume areale (V_{log}) a partire dalla pendenza (S). La curva di potenza che esprime questa relazione è la seguente:

$$V_{log} = 9,49 \cdot S^{1.66} \quad (19)$$

Per meglio analizzare come varia la quantità di legname (variabile dipendente) a seconda delle caratteristiche morfometriche dei collettori (variabile indipendente) tenendo conto dell'”influenza” dei diversi bacini, si può ricorrere ad un test di covarianza.

Effetti	SS	Gradi di libertà	MS	F	P-level
Intercetta	2.99	1	2.99	2.14	0.144069
A	3.18	1	3.18	2.28	0.132220
L _{pr}	5.40	1	5.40	3.86	0.050310
T	0.02	1	0.02	0.01	0.911480
P	1.52	1	1.52	1.09	0.298304
USPI	19.96	1	19.96	14.27	0.000189
Bacino	155.87	12	12.99	9.29	0.000000
Error	444.60	318	1.40		

Tabella 5.7 - Test della covarianza (univariato) per la significatività della quantità areale di legname in alveo (m³/ha) (A= area drenata; L_{pr}= larghezza alveo di piene rive; T= tiranta; P= pendenza; USPI= *stream power* unitaria; SS = somma dei quadrati; MS = media dei quadrati; F = *F di Fischer*, sono evidenziati i risultati significativi con *p-level* < 0,05).

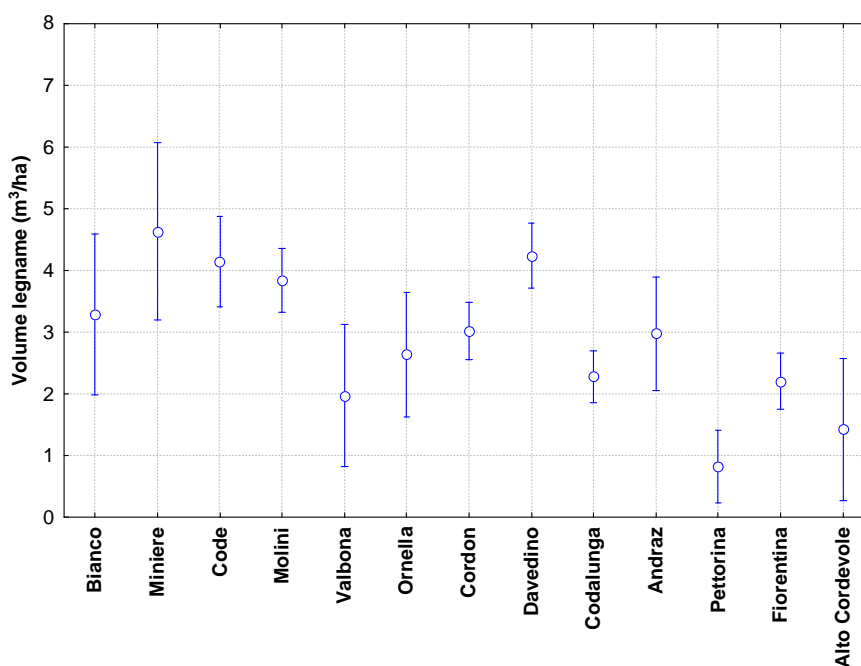


Figura 5.40 – Analisi della covarianza: rappresentazione grafica delle medie calcolate; le barre verticali denotano il 95% dell'intervallo di confidenza.

La variabile categorizzata “bacini” è quella che più determina la quantità di materiale legnoso (tabella 5.7), ma oltre ad essa solo lo *stream power* unitario ha una significatività rilevante ($F = 14,27$; $p < 0,001$). Gli altri parametri morfologici considerati non sono rilevanti, anche se bisogna segnalare che la larghezza dell’alveo di piene rive presenta un livello di significatività di poco superiore al 5% (F di *Fischer* = 3,86; p -level = 0,05031). In figura 5.40 si riporta la rappresentazione grafica dell’analisi, dalla quale si può osservare la media delle varianze calcolate e l’intervallo di confidenza al 95%. Il Rio delle Miniere e il Davedino presentano i valori maggiori (rispettivamente 4,8 e 4,3 m³/ha) mentre fra i più bassi troviamo il Pettorina e l’Alto Cordevole (0,9 e 1,5 m³/ha). Le varianze maggiori si hanno per i bacini del Rio Bianco, Miniere, Valbona, Ornella, Andraz, ed Alto Cordevole.

Cercando altre variabili che meglio esprimono la quantità di materiale legnoso in alveo si può tentare di sostituire le dimensioni dell’alveo con le dimensioni relative del legname, ovvero con il “grado di congestione” in precedenza analizzato; a tale scopo si ripete l’analisi della covarianza

con due nuove variabili continue: $\frac{D_{84}}{2} / d_{av}$ e L_{84} / w_{av} (tabella 5.8).

Effetti	SS	Gradi di libertà	MS	F	P-level
Intercetta	1.14	1	1.14	0.93	0.334533
A	23.22	1	23.23	19.00	0.000018
P	10.35	1	10.35	8.47	0.003871
($D_{84}/2$)/ D_{av}	11.69	1	11.69	9.57	0.002158
L_{84}/W_{av}	36.16	1	36.16	29.59	0.000000
USPI	18.75	1	18.75	15.35	0.000110
Bacino	155.08	12	12.92	10.57	0.000000
Error	387.43	317	1.22		

Tabella 58 - Test della covarianza (uni variato) per la significatività della quantità areale di legname in alveo (m³/ha) utilizzando il “grado di congestione” del legname (A= area drenata; P= pendenza; USPI = *stream power* unitaria; SS = somma dei quadrati; MS = media dei quadrati; F = *F di Fischer*; D_{84} = diametro 84^{esimo} percentile, D_{av} = tirante medio di piene rive; L_{84} = lunghezza 84^{esimo} percentile; W_{av} = larghezza media alveo di piene rive; sono evidenziati i risultati significativi con p -level < 0,5).

In questo caso si nota come aumenta notevolmente il valore di F per le variabili considerate, tanto da renderle tutte significative nel determinare il volume di legname. La lunghezza relativa del legname ha, in effetti, dei coefficienti elevati ($F = 29,59$; P -level < 0,0001), come la stessa variabile categoriale “bacini” ($F = 15,34$; P -level < 0,0001). Dal grafico in figura 5.41 si notano meno differenze tra le medie delle varianze calcolate rispetto all’analisi della covarianza riportata nella figura 5.40, tuttavia si osserva che i valori estremi rimangono gli stessi evidenziati precedentemente.

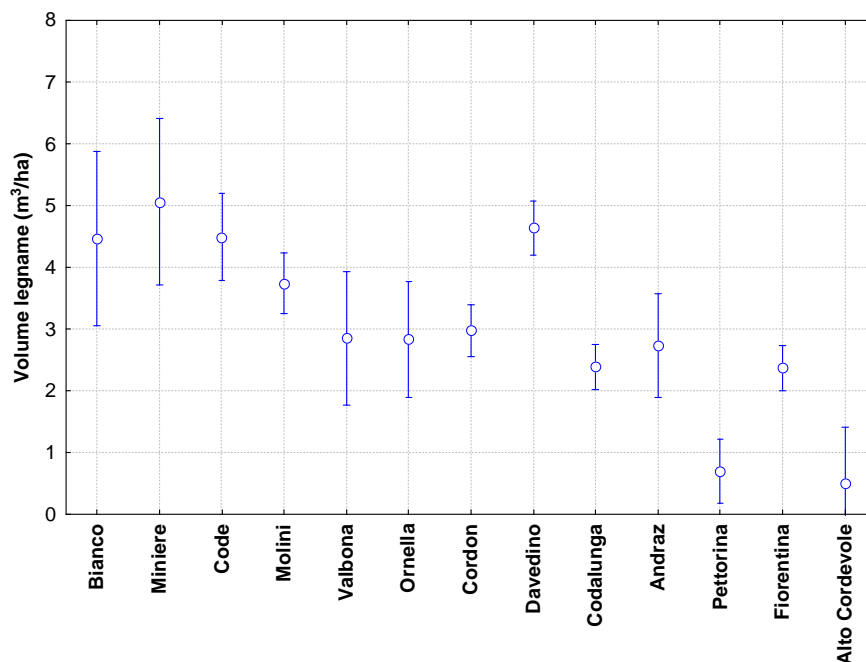


Figura 5.41 – Analisi della covarianza utilizzando le dimensioni relative del legname: rappresentazione grafica delle medie calcolate; le barre verticali denotano il 95% dell'intervallo di confidenza.

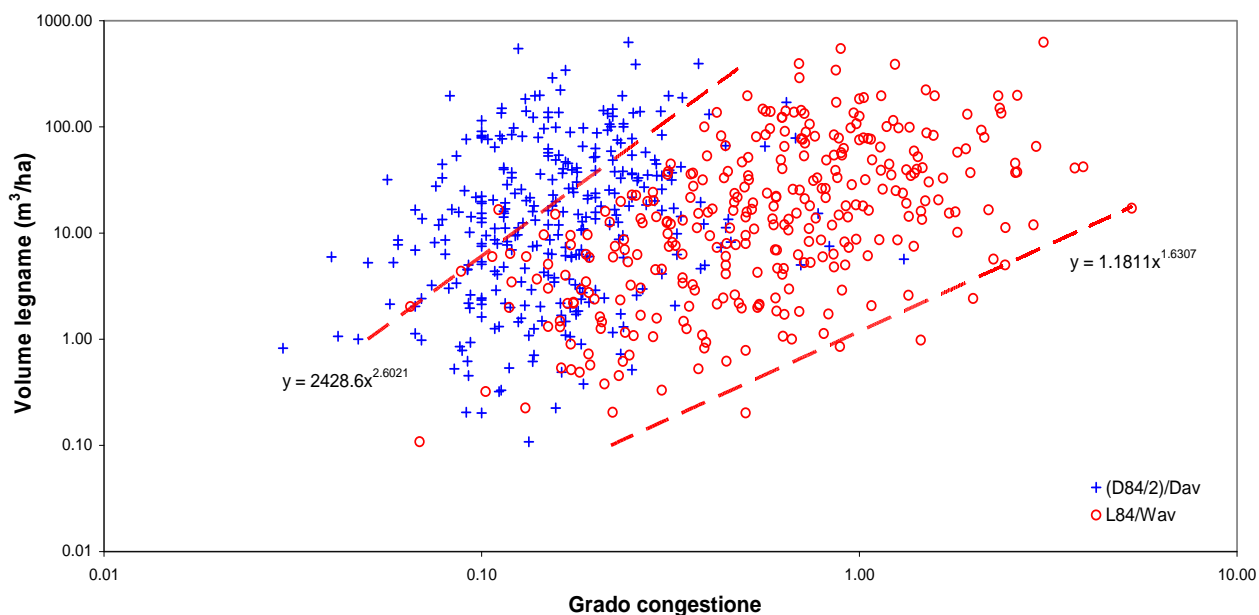


Figura 5.42 – Relazione tra le dimensioni relative di legname e la quantità areale di legname in alveo (D_{84} = diametro 84^{esimo} percentile; d_{av} = profondità media tirante di piene rive; L_{84} = lunghezza 84^{esimo} percentile; W_{av} = profondità tirante di piene rive.)

E' interessante riportare in un grafico a dispersione i valori della dimensione relativa del legname (rispetto alle dimensioni del collettore) con la quantità areale del legname (figura 5.42): appare evidente che tra le due vi è una relazione direttamente proporzionale, ed è normale aspettarsi una maggiore quantità di materiale all'aumentare del grado di congestione. La lunghezza relativa

(L_{84}/w_{av}) presenta una minore dispersione di dati rispetto al diametro relativo $(\frac{D_{84}}{2}/d_{av})$, perché più legato alla variabile dipendente, come si era osservato nell'analisi della covarianza; per questa serie di dati si possono definire delle linee di involuppo che racchiudono la maggior parte dei dati (95%) da una curva superiore ed una inferiore:

$$\text{Superiore:} \quad V_{\log} = 2428 \cdot (L_{84}/w_{av})^{2,602} \quad (20)$$

$$\text{Inferiore:} \quad V_{\log} = 1,1811 \cdot (L_{84}/w_{av})^{1,6307} \quad (21)$$

dove V_{\log} è il volume areale di legname (m^3ha^{-1}), L_{84} è la lunghezza 84^{esimo} percentile del legname misurato in alveo e W_{av} è la larghezza media del tirante di piene rive.

Anche dalle ultime analisi affrontate sembra che vi sia una relazione inversa tra volume areale di legname (espresso in funzione della superficie d'alveo) ed area drenata del bacino; questo trend è ben percepibile analizzando i dati medi dei tredici bacini analizzati (figura 5.43).

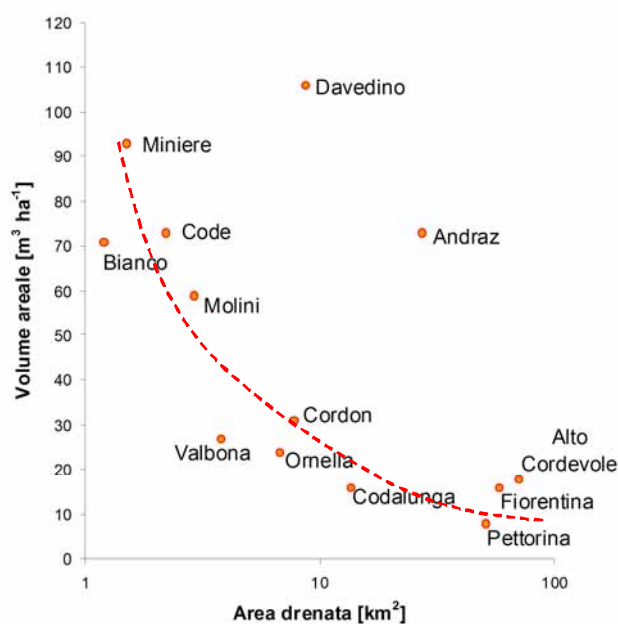


Figura 5.43 – Relazione tra volume areale di materiale legnoso e dimensione dei bacini.

In precedenza è stato dimostrato che la più grande mobilità del legname nei torrenti di ordine maggiore è una delle cause possibili. Tuttavia, la forte riduzione dei volumi legnosi nei collettori maggiori è sicuramente ascrivibile al loro elevato grado di antropizzazione (abitati, strade) che comporta frequenti interventi di sistemazione idraulico-forestale e di rimozione della vegetazione e del “detrito” vegetale in alveo. E' importante sottolineare comunque come ingenti quantità di legname possano essere presenti anche in bacini di superficie intermedia. E' il caso del T. Andraz e del Ru Davedin, (rispettivamente di 27 e 9 Km^2 di area drenata) che presentano volumi superiori a $70 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, simili a quelli riscontrati in bacini di 1-2 Km^2 (Rio Bianco, Code, Miniere).

Analizzando nel dettaglio le caratteristiche del materiale presente in questi due “particolari” bacini risulta che quasi la metà presenta i segni evidenti di un’origine legata a processi di dissesto dei versanti (frane e colate detritiche), mentre un altro 40% appartiene alla categoria “fluitati”, anche se molto probabilmente la maggior parte di questi ultimi elementi, prima di essere movimentato è stato introdotto in alveo in seguito a dissesti. Anche nei bacini di superficie inferiore, in particolare nel Rio Bianco e nel Rù della Miniera i dissesti sono i principali responsabili dell’origine di *LW*, mentre in altri bacini più simili al Davedino e all’Andraz vi sono processi ben diversi.

5.3.3 Legname e dissesti

Analizzando più nel dettaglio i risultati visti in precedenza, ed interpolando i dati medi della quantità di legname rinvenuto nei diversi bacini (figura 4.43) risulta che l’area drenata spiega solo il 34% della variazione di *LW* nei bacini ($p\text{-level} > 0,05$), e che quindi vi sono altri fattori da considerare. In effetti, le maggiori dimensioni del legname si hanno nel caso essi derivino da movimenti superficiali dei versanti (frane e smottamenti), come osservato durante i rilievi nel Davedino e nell’Andraz (figura 5.44 e 5.45) e da colate detritiche dei piccoli tributari che immettono in alveo numerose conifere anche di grandi dimensioni.



Figura 5.44 – Frana di versante lungo il corso del Ru de Davedin.



Figura 5.45 – Ingente quantità di legname immesso nel t. Andraz a causa di una frana

La variazione della quantità di legname rinvenuta nei due torrenti sopra citati, in relazione ai processi d'immissione è rappresentata nel grafico a blocchi riportato in figura 4.46. Si osserva che la maggior parte del legname presente nel Davedino e nell'Andraz è legato ai fenomeni di versante, seguito dall'erosione di sponda; hanno un certo peso anche i residui di utilizzazione, mentre la quantità di materiale fluitato è relativamente modesto. La particolare morfologia di questi corsi d'acqua, (grossi massi, versanti in roccia, cascate, ecc.), conseguenza diretta anche degli stessi processi di erosione e trasporto, limita fortemente la movimentazione del legname, che tende ad accumularsi nel corso degli anni.

Durante le fasi di campagna, per ogni tratto di tutti i tredici torrenti analizzati, è stato attribuito un indice di dissesto (valutazione di tipo qualitativa), che è dato dall'estensione delle frane di versante, dalla presenza di tributari da colata, e dall'erosione spondale (figura 5.47); la media ponderale di questo indice dà un valore medio ai diversi torrenti: con valore 1 si indicano i corsi d'acqua con basso indice di dissesto, 2 medio, e 3 individua quei canali che presentano caratteri di forte instabilità litologica. Con questi indici è stata fatta un'analisi per valutare se siano più le frane o le colate detritiche a immettere legname in alveo. Dalla figura 5.48a si può osservare come il volume medio di materiale legnoso (m^3 su ettaro di superficie d'alveo) aumenti all'aumentare di questo indice, anche se i valori maggiori sono in corrispondenza di tratti mediamente dissestati. L'analisi della varianza ha dimostrato che la quantità areale del legname è

determinato in maggior misura dalla presenza dei dissesti che dalla propensione del canale a produrre colate detritiche; nel primo caso infatti, rappresentato in figure 5.49a il livello di significatività p risultante è pari a 0,0065, mentre nel secondo (figura 5.49b) a 0,278.

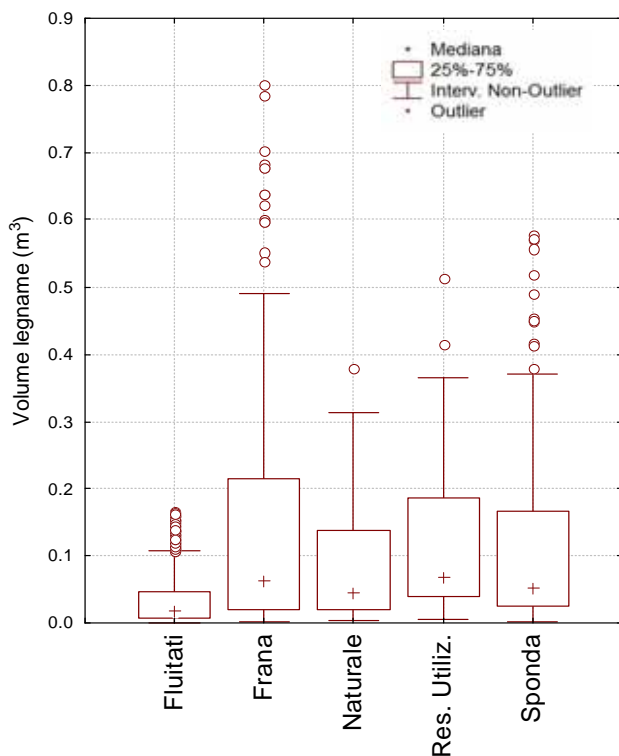


Figura 5.47 – Rappresentazione dell'indice di dissesto:
 1 collettore stabile;
 2 mediamente dissestato;
 3 forte instabilità litologica

Figura 5.46 – Dimensioni dei singoli elementi legnosi rinvenuti in alveo lungo il corso del rio Davedino e del t. Andraz.

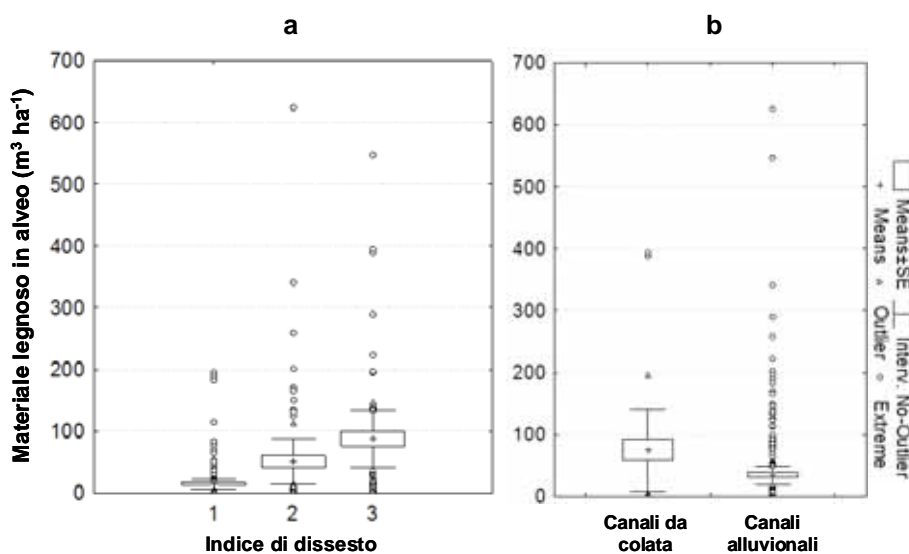


Figura 5.48 – Box plot del volume di legname areale presente nei vari tratti in rapporto a: **a)** "indice di dissesto": 1= basso 2= medio 3= molto **b)** propensione dei canali alle colate.

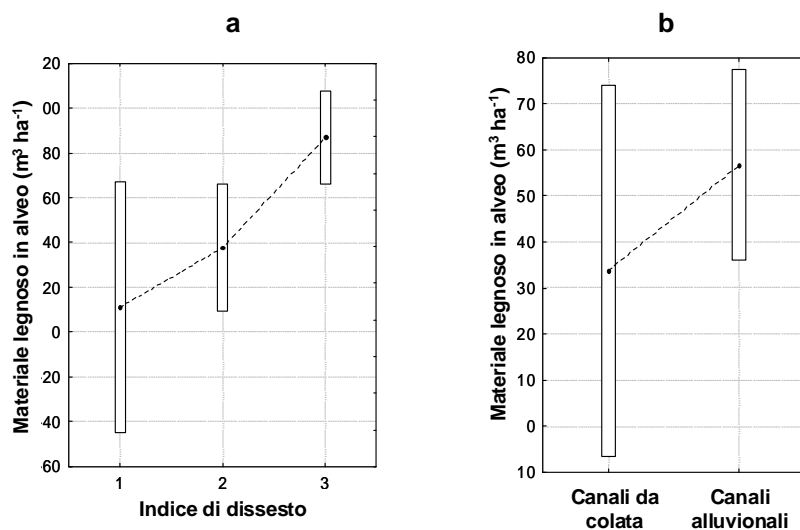


Figura 5.49 – Analisi della varianza. I box verticali indicano intervalli di confidenza al 0,95%.
 a) Volume di legname in rapporto all'indice di dissesto: 1= basso 2= medio 3= molto.
 b) Volume di legname in relazione alla propensione dei canali alle colate.

5.3.4 Confronti con bacini situati in altre regioni del Mondo a clima temperato.

Confrontando il volume medio di materiale legnoso rilevato nei 13 torrenti qui analizzati, con valori presenti in letteratura derivati da bacini in condizioni di “quasi-naturalità” in altre regioni del Mondo a clima temperato (fig. 5.50), si evince come i corsi d’acqua alpini presentino quantità di legname in alveo decisamente modeste, frutto probabilmente delle alterazioni derivanti dalla secolare presenza umana in questi territori. Escludendo, infatti, i bacini in climi temperati pluviali (ovvero catene montuose della costa Pacifica del Nord e Sud America) dove le foreste hanno tassi di crescita e quindi dimensioni maggiori rispetto alle Alpi, risulta probabile che i torrenti delle Dolomiti abbiano al momento volumi di materiale legnoso all’incirca compresi tra il 25% ed il 35% della quantità originariamente presente, se prendiamo come riferimento i bacini “naturali” del Centro Europa, delle Montagne Rocciose ed delle Alpi Neozelandesi e della Terra del Fuoco.

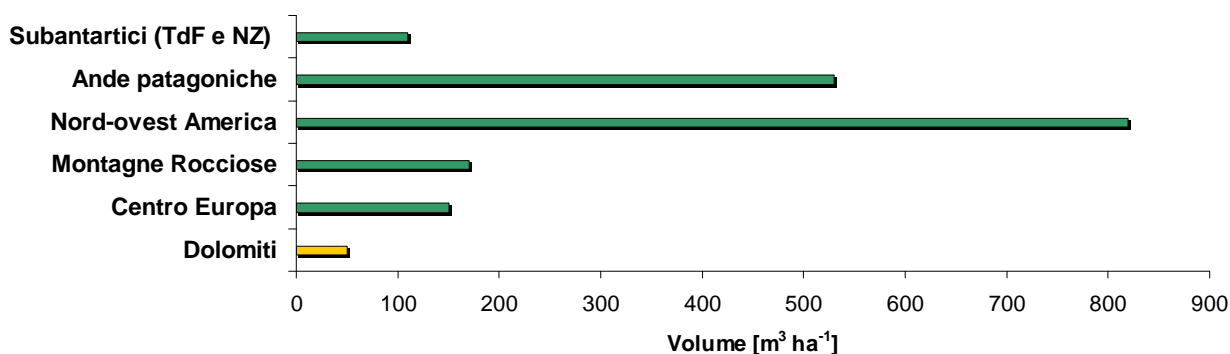


Figura 5.50 – Confronto in termini di volume areale medio di legname tra i bacini delle Dolomiti ed altri bacini di regioni temperate ma in condizione di “quasi-naturalità” (fonte: Richmond and Fausch, 1995; Hering et al., 2000; Gurnell et al., 2002; Meleason et al., 2005; Comiti et al., 2007; Andreoli et al., 2008; Mao et al., 2008). TdF: Terra del Fuoco; NZ: Nuova Zelanda.

6 – MODELLO PREVISIONALE SU BASE GIS

Nella presente ricerca l'obiettivo finale è quello di determinare la presenza e fare delle previsioni sulla quantità e sulla localizzazione del materiale legnoso negli alvei del territorio dolomitico, in modo da dare delle priorità eventuali interventi di controllo. In generale, i diversi modelli sviluppati in ambito internazionale (capitolo 3.11) sono legati allo scopo finale della modellazione stessa e alle caratteristiche ambientali, morfologiche e forestali del territorio da rappresentare. Per questi motivi, essi sono difficilmente adattabili ai territori montani studiati. Inoltre, nella prospettiva di un utilizzo del modello previsionale da parte di tecnici ed enti preposti alla gestione del territorio, è indispensabile utilizzare delle tecniche e delle metodologie semplici e nel contempo sufficientemente affidabili nella modellazione a scala di bacino. Per ottenere questo risultato è essenziale rappresentare le caratteristiche territoriali con una certa affidabilità, e riuscire a riprodurre in maniera semplificata i principali processi legati al reclutamento e trasporto di materiale legnoso lungo le reti idriche.

6.1 Impostazione del modello

Dall'analisi dei dati ricavati durante le misurazioni in campo, è emerso che la produzione di legname e la sua successiva traslazione lungo le reti idriche, dipende sì dai processi che avvengono lungo l'asta principale, ma è strettamente legata anche a fenomeni che s'instaurano sia a livello di versante e nei piccoli tributari (frane e colate detritiche). Per una corretta valutazione e previsione delle dinamiche del materiale legnoso si rende quindi necessario rappresentare non solo i tratti di collettore e i processi in alveo, ma anche tutto il territorio circostante nei suoi vari aspetti. Si è scelto pertanto di optare per un modello di analisi spaziale (su base GIS) che permette di visualizzare ed elaborare contemporaneamente più dati territoriali, primi fra tutti i parametri morfometrici già definiti per il bacino dell'Alto Cordevole durante la descrizione delle aree di studio (capitolo 4.1).

Un'altra informazione indispensabile per la modellazione del legname in alveo riguarda la copertura vegetale dell'area di studio; il soprassuolo è stato definito dai Piani Economici-Forestali ottenuti per i comuni di Alleghe, Selva di Cadore, Colle S. Lucia, Livinallongo del Col di Lana e Rocca Pietore; da questi documenti è possibile reperire i principali parametri dendrometrici (figura 6.1). La digitalizzazione delle superfici forestali è stata fatta a partire dalle mappe dei particellari, scannerizzate e georiferite (supporto ArcView GIS 9.2[®]), ottenendo un unico metadato formato da più poligoni, ai quali sono associati i diversi parametri del soprassuolo (figura 6.3). La carta dei particellari forestali è riportata nella pagina successiva (figura 6.2).

Piano di assestamento cod. 016_3		Particella n. C032/0		Località: PIAN DELLE RISCHIE	
Sottobacino cod. 0907		Unità amministrativa cod. 2504401		Tavolette I.G.M.I. cod. 086/085	
Riferimenti catastali: 34:128-129; 49:5-6P-57-60-61-62P; 40:31-34		Particelle C.F.R.: 0012/0000/0000/0000		Produtt. non bosc.: 002_10 Specific.: Arbust. e Cespugl.	
Sup. totale ha.: 029,0800		Improd.: 002,38		Boscata: 024,60	
Rilievo: CAVALLETTAMENTO TOTALE		Struttura: IRREGOLARE		Funzione: PRODUTTIVA	
Tipo forestale 1: PECCETA DEI SUOLI XERICI SILIC.		Tipo forestale 2:		Cingolo: FA	
ASPETTI DELLA STAZIONE					
Altitudine: prevalente m.s.m.: 1250		minima m.s.m.: 1200		massima m.s.m.: 1340	
Esposizione prevalente: +175		Assolazione: 1000-1400 hn./anno			
Inclinazione: da 30° a 20°		Roccia madre: Favorevole			
Tipo di suolo: Evoluto (terre brune, ...)		Humus: Grezzo: torba / moder micog.			
Profondità suolo: da 30 a 50 cm.		Erosione: Asport. lettiera			
Umidità: Suolo mod. secco		pH Orizz. B: 5 + 6.5 / subacido			
pH Humus: 5 + 6.5 / subacido		Rinnov. reale: Sufficiente			
Distribuzione 1: In chiarie		Distrib. 2:			
Pascolo: Danni di entità media					
- TIPI STRUTTURALI: n. superf. n. superf.					
		Perticcia: 01		03,0	
		Adulto: 02		08,0	
Statura potenziale: 31,3		Incremento corrente /ha: 03,6			
POPOLAMENTO: Specie % Tav. cub.					
Dominante: PCA		090		H1	
1ª consoc.: LRD		010		H2	
2ª consoc.: LDD		001		H4	
PARAMETRI: STATO REALE — MOD. COLT.					
Statura: 29		30			
Età: 105		120			
Alberi cens./ha: 232		307			
Diam. max.: 85		80			
Diam. medio: 29,9		34			
Area basim. un.: 16,3		28,3			
Provvig. unit.: 165,88		300,00			
Provvig. tot.: 004080,62		07380,00			
Incremento percentuale: 2,2					
Metodo di ril. dell'incremento: Controllo					
Incremento corr. totale: 089,77					

Figura 6.1 – Ritaglio della tabella dei parametri dendrometrici. Fonte: Piano di Assestamento Economico – Forestale del comune di Alleghe.

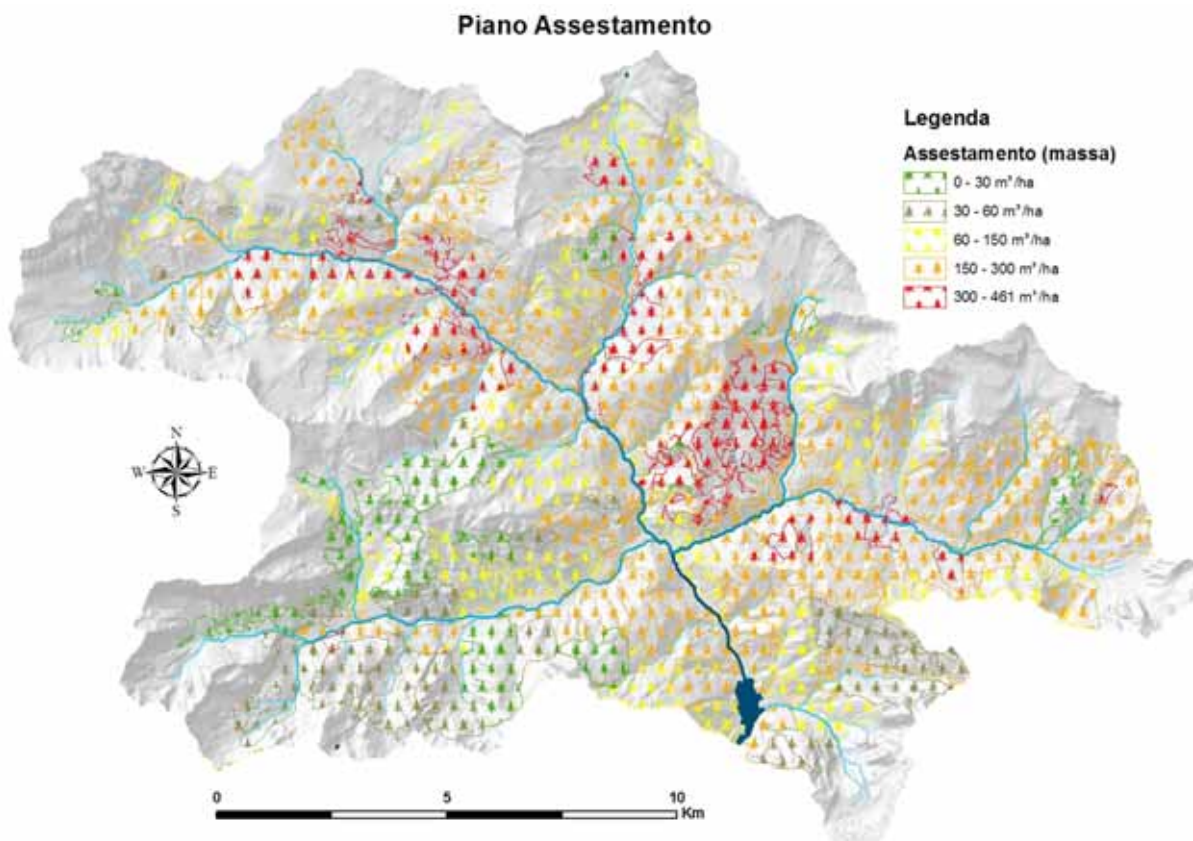


Figura 6.2 – Carta dei particellari forestali (digitalizzata a partire dai piani economici-forestali).

Attributes of Piano assestamento																		
FID	Shape	A CODICE	B CODPAR	F FUNZ	G GOV	H MASSA	I ICORR	L IPROG	Statura re	Statura mo	Età reale	Età modell	Dmax reale	Dmax model	Dmed reale	Dmed model	Area b rea	Area b mod
33	Polygon	016_3	C0320	PRODUTTIVA	FUSTAIA	183.81	40.81	39.68	29	0	105	0	85	0	29.9	0	16.3	0
34	Polygon	016_3	D0040	PRODUTTIVA	FUSTAIA	129.72	44.62	43.8	28	0	90	0	75	0	26.4	0	14.2	0
35	Polygon	016_3	D0060	PRODUTTIVA	FUSTAIA	85.77	28.56	28.27	27	0	90	0	55	0	24.2	0	9.7	0

Figura 6.3 – Tabella degli attributi della carta dei particellari forestali.

I processi determinanti l'immissione e la traslazione del legname in alveo che s'intende modellare sono rappresentati da tre principali "sottomodelli", in cui i dati in uscita da uno di essi rappresentano l'input per il successivo. Essi sono:

- ✓ *reclutamento*;
- ✓ *trasferimento versante*;
- ✓ *trasferimento rete idrografica*.

In ognuno di questi blocchi sono contenute delle funzioni e/o algoritmi in grado di riprodurre in maniera semplificata i principali processi che in esso avvengono: produzione del legname potenzialmente reclutabile, immissione in alveo, traslazione lungo le reti idriche. Tutte le elaborazioni vengono fatte su dati georiferiti contenuti all'interno del bacino idrografico dell'Alto Cordevole. Nella pagina successiva viene riportato lo schema concettuale del modello proposto (figura 6.4), dove si possono osservare i tre blocchi in cui si riproducono con funzioni semplificate (evidenziate in corsivo) i principali processi di produzione e traslazione del legname in alveo.

Il "sottomodello" *reclutamento* determina e quantifica le aree sorgente di legname che potenzialmente può pervenire alla rete idrografica; questo processo è stato riprodotto attribuendo ai dissesti la principale causa di formazione di questo materiale; le altre possibili origini non sono state considerate (mortalità naturale, vento, incendi). Si tratta pertanto di una semplice intersecazione della carta dei particellari con una mappa che delimita le aree soggette a movimentazione del terreno. La carta dei dissesti è stata ottenuta utilizzando un modello geostatistico bivariato (W.of.E.[®]) che considera diversi fattori predisponenti a questi fenomeni e restituisce una carta della suscettibilità ai dissesti. In uscita dal sottomodello reclutamento troviamo la mappatura delle aree sorgente di legname; il metadato conterrà al suo interno tutti i parametri forestali derivati dalla carta dei particellari.

In *versante* viene calcolata la probabilità d'immissione in alveo dalle aree sorgenti di legname. Anche in questo caso, ciò che avviene nella realtà è stato semplificato con semplici funzioni: lo spostamento del materiale verso il collettore dipende dalla *flow distance* (distanza lungo le linee di displuvio dalla rete idrografica) e della pendenza dei versanti; all'aumentare della distanza delle aree sorgenti, e più bassa è la pendenza, minore sarà la quantità di materiale che perviene in alveo. Questa funzione è identificata col nome di *slope decay*. In questo blocco si produce la carta del materiale legnoso in alveo.

All'interno del sottomodello *rete idrografica* viene calcolato lo spostamento del legname in alveo lungo il collettore. La funzione che modella questo processo (*stream decay*) considera essenzialmente lo *unit stream power* dell'alveo; in effetti, come visto durante l'elaborazione dei dati rilevati in campo (capitolo 5.3.1) questo indice è strettamente legato al materiale legnoso fluitato.

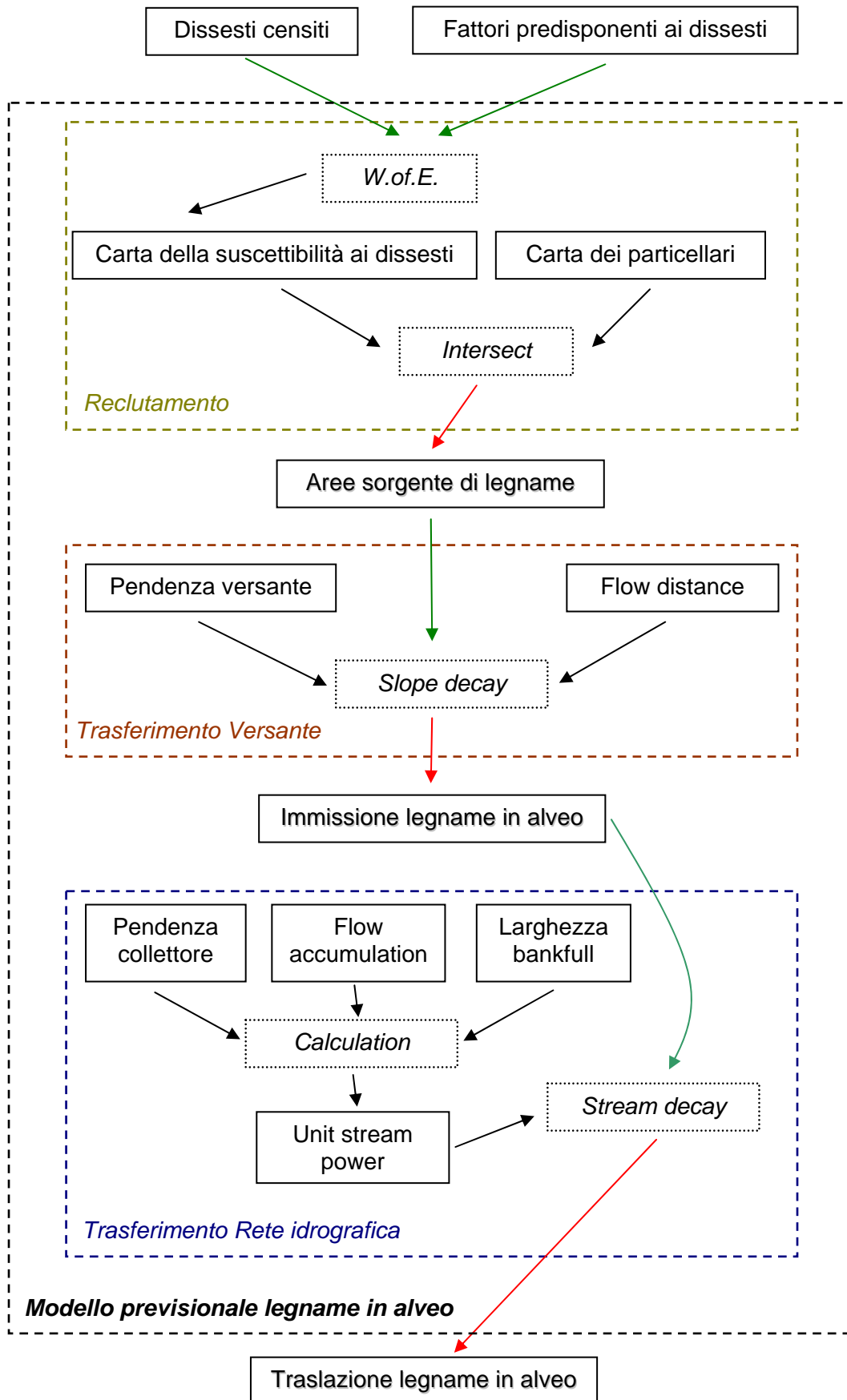


Figura 6.4 – Schema del modello previsionale di produzione e traslazione di legname in alveo. I blocchi tratteggiati indicano i tre sottomodelli, mentre le funzioni di trasformazione sono evidenziate in corsivetto.

6.2 Determinazione delle sorgenti di legname potenzialmente in alveo

La determinazione delle aree sorgenti di legname viene fatta con l'intersezione della carta dei particellari (figura 6.2) con quella della suscettibilità ai dissesti. L'identificazione delle aree che potenzialmente sono interessate da fenomeni di movimentazione del terreno è stata ottenuta attraverso il “*Weight of Evidence*” (W.of.E.) che è un modello statistico bivariato utilizzato per la prima volta dal Servizio Geologico Canadese (Bonham-Carter et al., 1989). Esso provvede al raffronto di diversi fattori predisponenti, determinando per ogni classe un peso (positivo o negativo) sulla base della densità dei dissesti ad esso correlata. I processi erosivi devono essere precedentemente censiti e riportati in cartografia digitale, così da essere relazionati ai diversi “tematismi” presi in considerazione. Nella modellazione del legname che può essere immesso in alveo sono identificabili tre principali fenomeni erosivi per i quali è possibile identificare delle diverse caratteristiche tipologiche, geomeccaniche e cinematiche:

- ✓ *frane per scivolamento;*
- ✓ *colate detritiche;*
- ✓ *erosioni di sponda.*

Le frane per scivolamento sono diffuse in presenza di litologie sedimentarie a comportamento plastico e si verificano per rottura progressiva lungo superfici di neoformazione. Esse si dividono in scivolamenti planari tipici dei pendii a franapoggio o rotazionali. Tali fenomeni possono evolvere in colamenti di terra lenti che interessano interi versanti caratterizzati da una situazione strutturale in cui vi è una sovrapposizione di litotipi competenti a comportamento fragile su formazioni prevalentemente duttili. Questa tipologia di frana è quella che produce i danni maggiori alle infrastrutture viarie, e sono presenti in più punti dell'area di studio, in particolare nell'altopiano del Cherz (a nord del bacino) (Campana et al., 2007). Nella suddivisione usata nel presente lavoro, le frane per colamento sono state incluse in quelle per scivolamento, anche se nella classificazione corretta le due sono separate.

Le colate detritiche o *debris flow* si originano generalmente in aree con pendenza sostenuta (superiori ai 20°) poste alla base delle ripide pareti in cui si deposita il detrito generato dalla degradazione meccanica della roccia. Questo detrito viene attivato durante eventi piovosi intensi e si muove a grande velocità lungo gli impluvi naturali. I depositi hanno forme allungate e nella parte finale assumono geometrie lobate.

Le erosioni di sponda non sono propriamente dei fenomeni di frana, ma per la modellazione affrontata nel presente studio rivestono un ruolo di fondamentale importanza. Si tratta di processi che s'instaurano all'interno della zona d'influenza fluviale, in particolare dove si trovano delle litologie incoerenti e in corrispondenza delle curve del corso d'acqua. Molto spesso le piante

vegetali che crescono sulla sponda sono erose assieme al terreno su cui crescono, e scivolano dentro l'alveo, anche se possono rimanere con parte delle radici ancorate al terreno. A volte questi fenomeni possono innescare delle vere e proprie frane di versante, soprattutto in concomitanza di eventi meteorici estremi.

I dissesti censiti riferiti alle frane per scivolamento (e per colamento lento) e alle colate detritiche sono stati ricavati dai metadati del Progetto I.F.F.I. (Inventario dei Fenomeni Franosi in Italia), forniti dalla Direzione Difesa del suolo – Regione Veneto (disponibili anche in visualizzazione nel sito del Progetto IFFI). Per l'area a nord-ovest dell'Alto bacino del Cordevole (figura 6.5), un recente studio (Progetto CARG – Veneto) fatto dall'Istituto di Ricerca per la Protezione Idrogeologica (I.R.P.I. Padova) ha rilevato con un'ottima definizione i dissesti presenti in questa zona (Campana et al., 2007). Le erosioni di sponda sono state registrate durante i rilievi in campo del materiale legnoso e della morfologia d'alveo; i dati riferiti a questi fenomeni (successivamente digitalizzate su apposita cartografia) sono pertanto limitati alle porzioni dei torrenti indagati (figura 6.5). Le tre tipologie di fenomeni erosivi determinanti nel causare l'immissione di legname in alveo sono state trattate separatamente una alla volta: si è provveduto alla conversione di questi dati in punti (*punti di controllo*) e quindi confrontati, attraverso il metodo del WofE, con i fattori predisponenti ai dissesti.

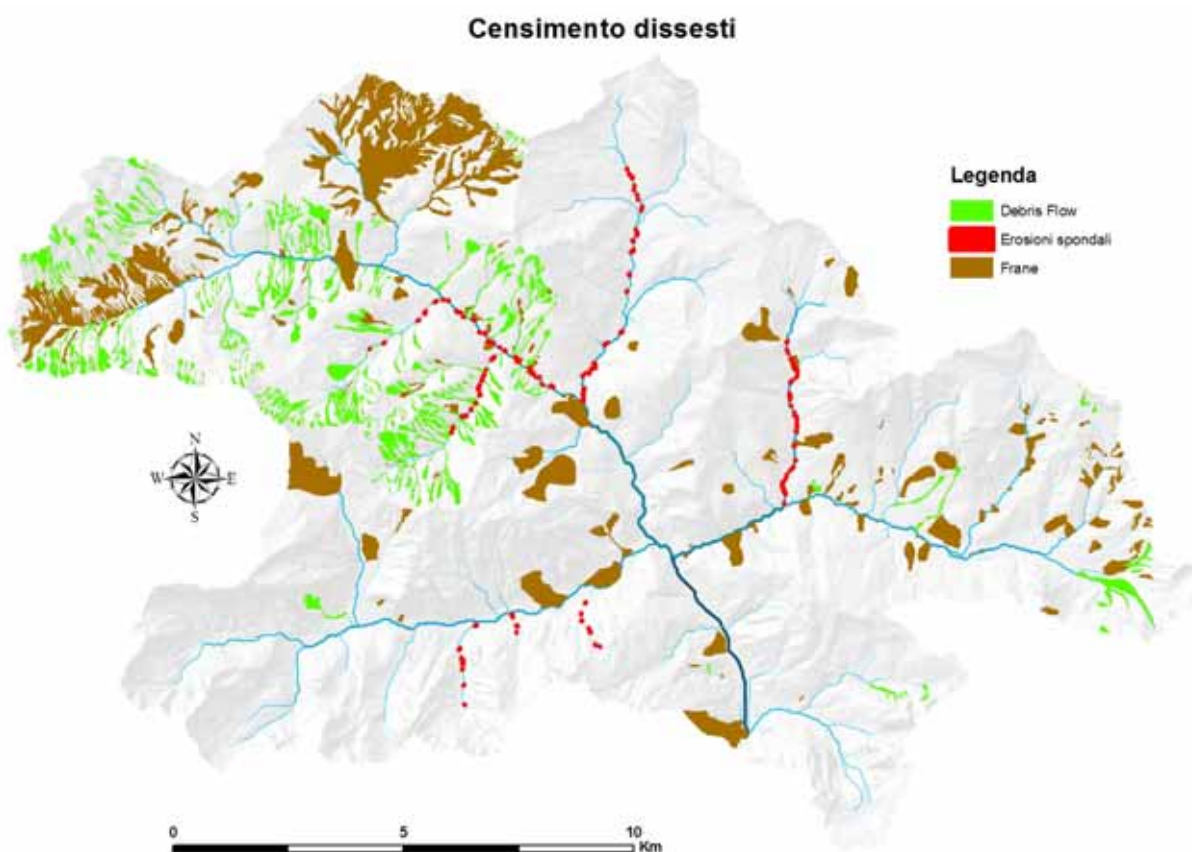


Figura 6.5 – Censimento dei dissesti presenti nell'Alta val Cordevole (Fonte debris flow e frane: Progetto CARG). Le aree delle erosioni spondali sono enfatizzate per renderle visibili.

6.2.1 Fattori predisponenti ai dissesti

I fattori predisponenti vengono confrontati con i punti controllo, e attraverso un calcolo geostatistico bivariato (il metodo del WofE) si ottiene la mappatura della propensione ai dissesti. Sono state prodotte tre diverse carte in relazione alla tipologia di dissesto considerate. Per le frane da scivolamento e per le colate detritiche sono stati considerati i seguenti fattori predisponenti: quota, pendenza, esposizione, concavità, geolitologia, uso del suolo. La determinazione della propensione alla movimentazione di terreno per erosione di sponda è stata fatta utilizzando gli stessi fattori predisponenti sopra riportati, più la carta della *flow distance* (distanza lungo le linee di deflusso dalla rete idrografica). La carta delle quote, dell'esposizione, della pendenza e della concavità sono state ottenute attraverso semplici elaborazioni GIS a partire dal DEM (*Digital Elevation Model*); esse sono già state trattate durante la descrizione dell'area di studio (sezione 4.1.1). Ogni fattore predisponente viene trasformato in un raster codificato con diversi valori ai quali corrispondono le classi in cui è stato suddiviso il fattore; ad ogni classe viene associato un peso che esprime la sua propensione (o meno) a determinare il dissesto indagato (frane, colate detritiche, erosione di sponda). Sommando i diversi pesi si ottengono le carte di suscettibilità.

Carta geolitologica

La Carta Geolitologica è stata digitalizzata utilizzando il “Foglio 11” (Marmolada) e il “Foglio 12” (Cortina d'Ampezzo) della Carta Geologica d'Italia (http://www.apat.gov.it/Media/carta_geologica_italia/default.htm). Si è proceduto prima alla georeferenziazione delle carte, e successivamente all'*editing* (utilizzando ArcGIS 9.2[®]) delle diverse formazioni presenti all'interno del bacino dell'Alto Cordevole chiuso al lago di Alleghe. Per la definizione della suscettibilità al dissesto da frana di scivolamento e colata detritica si è resa necessaria la riclassificazione delle diverse classi geologiche in maniera da evidenziare i caratteri lito-tecnici e reologici delle formazioni presenti nell'area di studio: l'attenzione è stata rivolta principalmente ai materiali affioranti ed alle caratteristiche meccaniche degli stessi, perché più decisivi nel determinare la suscettibilità ai dissesti. Per questo motivo sono stati fatti degli accorpamenti delle diverse litologie presenti nella Carta Geologica d'Italia ottenendo le seguenti classi geolitologiche (figura 6.6):

- ✓ *Rocce marnose fittamente stratificate*: Formazione di Raibl;
- ✓ *Depositi morenici*: materiale morenico;
- ✓ *Alternanza di marne e calcareniti*: F. di S. Cassiano e F. di La Valle;
- ✓ *Detriti di falda*: Corpo detritico;
- ✓ *Rocce carbonatiche compatte*: Calcarea della Marmolada e Dolomia dello Sciliar;
- ✓ *Rocce carbonatiche stratificate*: F. di Werfen, Calcarea di Contrin, F. di Livinallongo,

Dolomia principale;

- ✓ *Rocce carb. coerenti con interc. di mat. incoerente*: Conglomerato di Richtofen;
- ✓ *Rocce vulcanoclastiche*: Conglomerato della Marmolada.

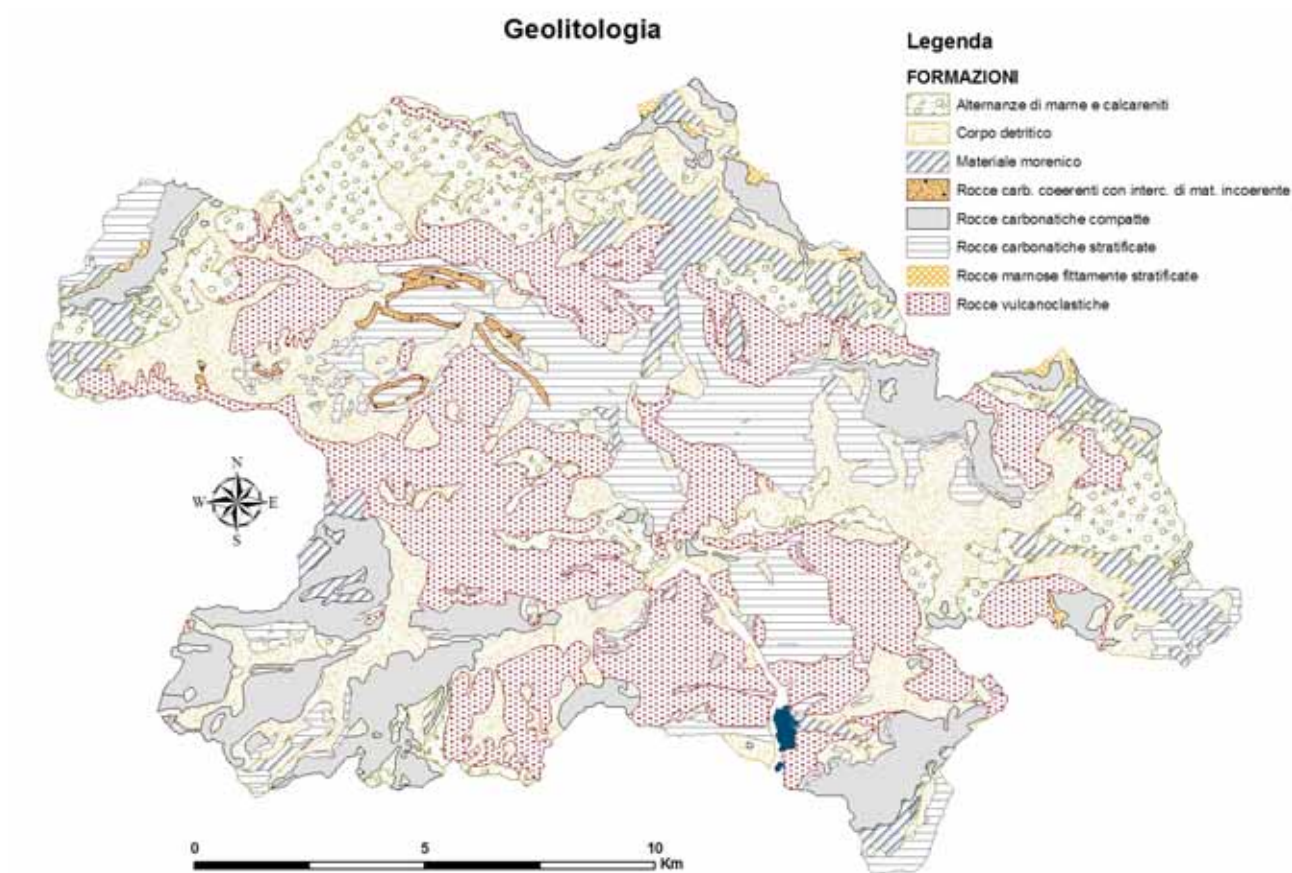


Figura 6.6 – Carta geolitologica (digitalizzata dalla Carta Geologica d'Italia e riclassificata).

Carta di uso del suolo

La carta di uso del suolo (figura 6.7) è stata ottenuta attraverso l'interpretazione di diverse ortofoto georiferite, analizzando nel dettaglio ogni singola porzione di territorio secondo le linee guide del Progetto CORINE (<http://stweb.sister.it/itaCorine/corine/progettocorine.htm>). Anche in questo caso è stata fatta una riclassificazione, raggruppando le categorie simili e che hanno la stessa risposta verso le frane:

- ✓ *Arbusteti, rupi boscate e zone in ricolonizzazione*: arbusteti, radure e pascoli in ricolonizzazione, alnete di alta quota;
- ✓ *Detriti*: ghiaioni, frane o dissesti riconoscibili
- ✓ *Bacini d'acqua*;
- ✓ *Prati e pascoli*: prati pascoli e radure, praterie miste a roccia con arbusteti, praterie miste a roccia, praterie alpine a rododendri; prati di fondovalle vicini ai centri urbani;
- ✓ *Boschi e vegetazione riparia*: pecceta, lariceti con picea e faggio, larici-cembreti;
- ✓ *Roccia nuda*: rocce compatte di alta quota;
- ✓ *Centri urbani*: insediamenti abitativi, turistici e industriali, infrastrutture.

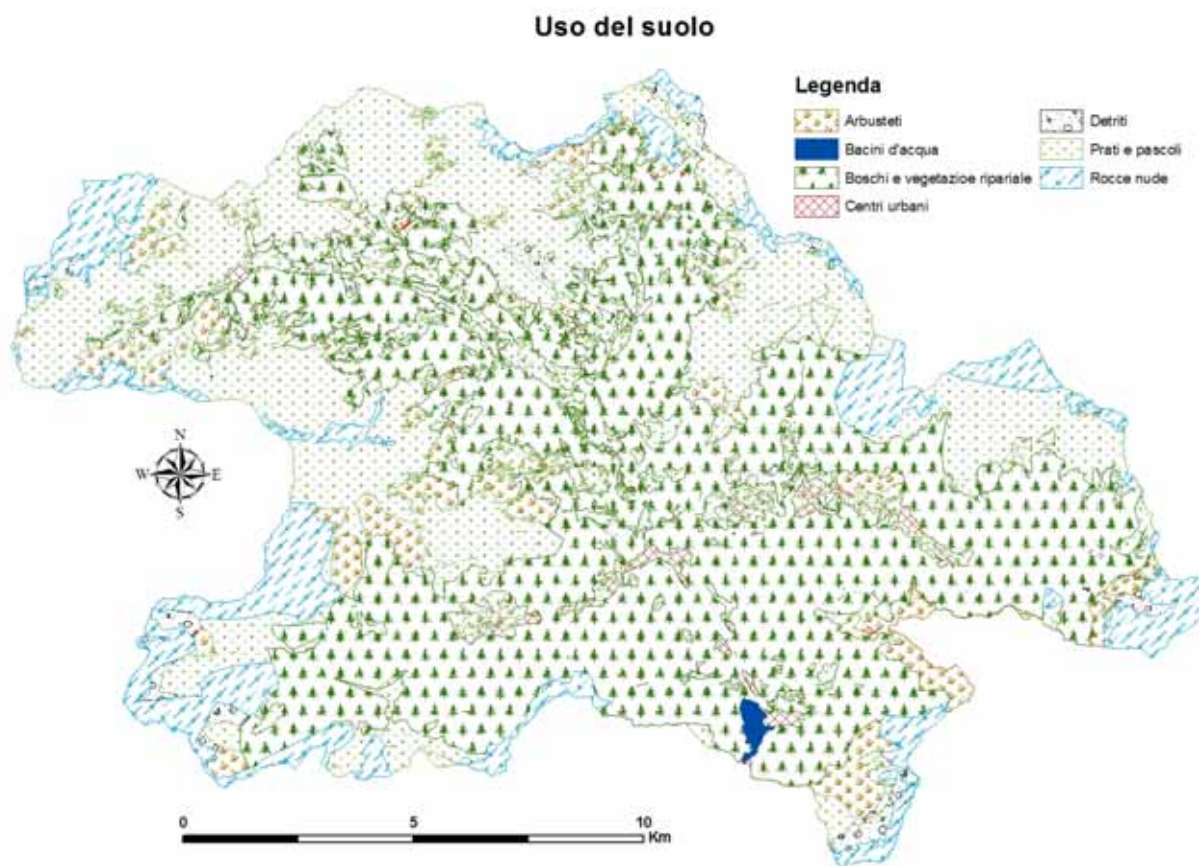


Figura 6.7 – Carta di Uso del Suolo (digitalizzata da ortofoto aeree).

6.2.3 Calcolo della suscettibilità ai dissesti

La mappatura della suscettibilità ai dissesti è stata realizzata attraverso il metodo del “*Weight of Evidence*” (WofE) che calcola qual è il peso di una determinata “classe” nel favorire o meno il dissesto. Ogni tematismo cartografico presumibilmente relazionato all’evento franoso (quote, pendenze, esposizione, concavità, uso del suolo, geologia) è stato rappresentata in *raster* (celle quadrate con lato di 10 m) al quale è stato attribuito uno specifico codice corrispondente alla classe di appartenenza. Le sei “griglie” ottenute sono state relazionate ai dissesti censiti e trasformati in punti equidistanti 20m (punti di controllo). Grazie al pacchetto applicativo ArcSDM[®] (*Spatial Data Modeller*) sviluppato dal Dipartimento di Geologia e Scienze Naturali dell’Università di Campinas (Brasile) (http://www.ige.unicamp.br/sdm/default_e.htm) per ogni tematismo è stato determinato un peso “*W*” che è dato dal rapporto tra la possibilità di trovare una classe tematica in area di frana e la probabilità di trovarla in un’area non in frana; tanto maggiore sarà il suo valore, tanto maggiore sarà il valore ponderato della classe nel prevedere il pixel in frana (processo basato sul teorema di Bayes). Stabilito ed assegnato il peso ad ogni singolo fattore, tramite un algoritmo che incrocia statisticamente tutti i tematismi si ottiene una carta di sintesi che fornisce delle indicazioni sulla suscettibilità dell’area indagata. Tale procedimento risente della discontinuità spaziale e temporale dei processi d’instabilità e della difficoltà di riconoscere con esattezza la loro

causa scatenante. Proprio per questo motivo si è scelto di trattare separatamente le frane da scivolamento, le colate detritiche e le erosioni al piede così da ottenere diverse carte della suscettibilità, similmente a quanto fatto da Tagliavini nell'area relativa all'area a nord-ovest del bacino (Campana et al., 2007). Per i fenomeni di colata detritica sono state considerate sia le aree d'innesco che quelle di propagazione e deposito in quanto questi dissesti inglobano lungo il loro percorso tutta la vegetazione presente, trasportandola verso le reti idrografiche. In seguito si analizzeranno i risultati ottenuti per le frane da scivolamento e le colate detritiche; quelli relativi alle erosioni di sponda sono omesse, perché poco significative.

Carta delle elevazioni, pendenza ed esposizione

I processi derivati dal ciclo idrologico ed erosivo del territorio in ambiente alpino, sono notevolmente condizionati dalla topografia del rilievo. Risulta quindi di essenziale importanza analizzare i tematismi delle quote, delle esposizioni, ed in particolare della pendenza per ottenere delle informazioni dettagliate sull'assetto idrogeologico del territorio. E' intuitivo che il dislivello del terreno è determinante (ma non l'unico) nella stabilità dei versanti; anche l'esposizione può influire, basti pensare ai processi di evapotraspirazione e di scioglimento nivale. Per la carta delle pendenze e delle quote i parametri sono stati discretizzati in diverse classi, per le quali sono stati calcolati i pesi W che indicano il grado d'influenza sulla franosità del territorio. Nelle figure 6.8, 6.9 e 6.10 vengono presentati i grafici di assegnazione dei pesi sia per i fenomeni di *debris-flow* che per le frane: nel caso in cui una classe "favorisca" i dissesti, gli istogrammi corrispondenti sono stati evidenziati. Nelle classi senza valori non sono presenti i dissesti corrispondenti.

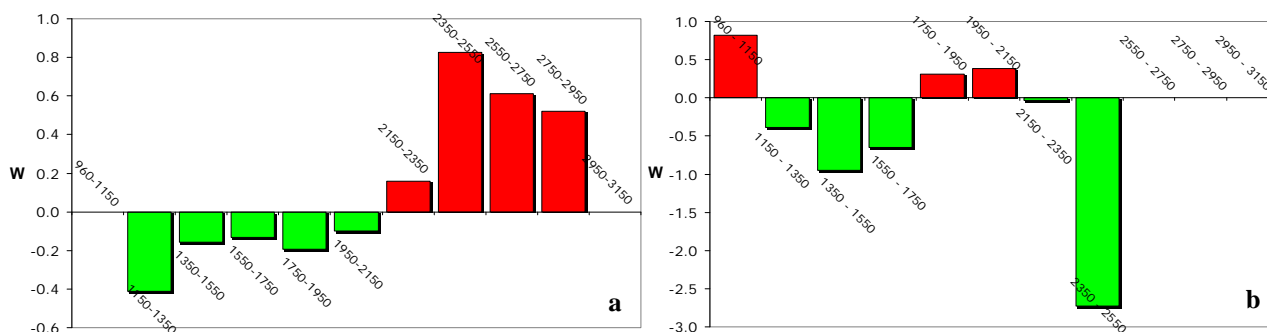


Figura 6.8 – Istogrammi di assegnazione dei pesi per i diversi intervalli di quota nel determinare a) *debris-flow* b) frane.

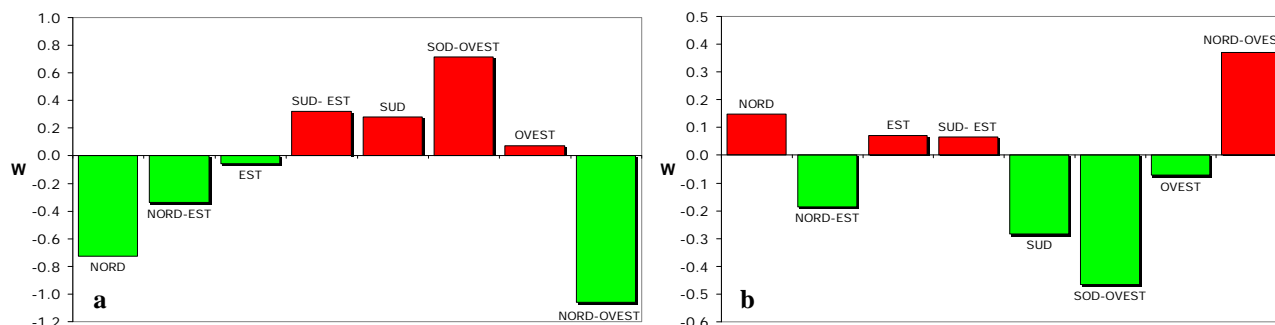


Fig. 6.9 – Grafici di assegnazione dei pesi per i diversi intervalli di esposizione nel determinare a) *debris-flow* b) frane.

Da questi primi risultati si può già notare come i due fenomeni abbiano delle “cause scatenanti” molto diverse: le frane sono presenti a quote basse ed intermedie e con intervalli di pendenza bassi (da 0° a 22°), mentre le colate detritiche sussistono a quote e dislivelli elevati (2150-2950 m di quota e 28-90° di pendenza). Le prime, però, risentono dell’esteso movimento superficiale che occupa l’intero altopiano del Chertz (parte più a nord nell’alto bacino del Cordevole come evidenziato in figura 6.5), caratterizzato da pendenze di modesta entità e quote comprese tra i 1700 e 2100 m s.l.m., anche se le cause principali sono legate ad altri fattori come si evidenzierà in seguito. I *debris flow*, molto meglio distribuiti all’interno dell’area di studio, riportano dei pesi che riflettono meglio la realtà in quanto i punti di controllo sono statisticamente più significativi. In effetti, i pesi calcolati confermano che le colate detritiche si innescano a quote elevate (da 2500 m in su) e con pendenze maggiori di 35°.

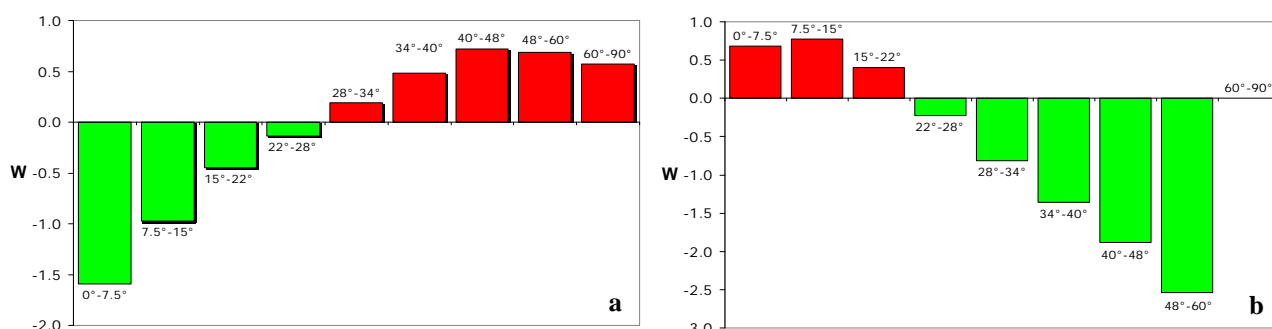


Fig. 6.10 – Grafico di assegnazione dei pesi per i diversi intervalli di pendenza nel determinare a) *debris-flow* b) frane.

Carta delle concavità

Nella descrizione dei processi erosivi e sedimentologici è essenziale considerare la circolazione idrica sottosuperficiale in quanto la concentrazione del deflusso può determinare delle particolari condizioni di instabilità; da un punto di vista morfologico questo fattore può essere espresso attraverso la concavità di un versante. La correlazione tra *debris flow* e concavità (valori negativi in figura 6.11a) è assai rilevante e conferma che essi hanno origine lungo canali e si muovono lungo le linee principali di deflusso. Le frane si sviluppano prevalentemente in superfici lineari (ma non per forza piane) e per questo hanno un certo peso i valori prossimi allo zero (fig. 6.11b).

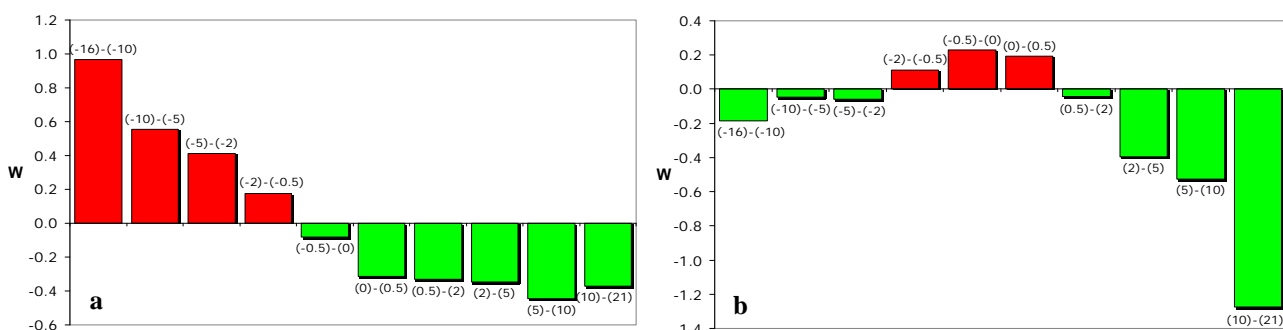


Fig. 6.11 – Grafico di assegnazione dei pesi per i diversi intervalli di concavità nel determinare a) *debris-flow* b) frane.

Carta geolitologica

La carta geolitologica (figura 6.6) è stata redatta evidenziando i caratteri lito-tecnici e reologici delle formazioni presenti nell'area di studio con particolare attenzione alle formazioni affioranti. Le diverse risposte di queste ai fini della stabilità (figura 6.12), dimostrano che solo le rocce carbonatiche coerenti hanno delle buone caratteristiche meccaniche e limitano entrambi i fenomeni considerati. Risulta evidente come le formazioni ad alternanze litologiche quali quella di S. Cassiano e di La Valle (alternanza di marne e calcareniti) siano favorevoli alla stabilità dei versanti nel caso dei *debris flow*, mentre sono sfavorevoli per i fenomeni di scivolamento. Le rocce carbonatiche compatte (calcarea della Marmolada e Dolomia della Sciliar) rappresentano le alte e massicce vette, poco soggette a frane, ma possono essere sorgenti di colate alimentando le falde detritiche sottostanti. Anche le rocce vulcanoclastiche hanno un effetto opposto, favorendo la formazione di movimenti rapidi, ma limitando le frane di versante.

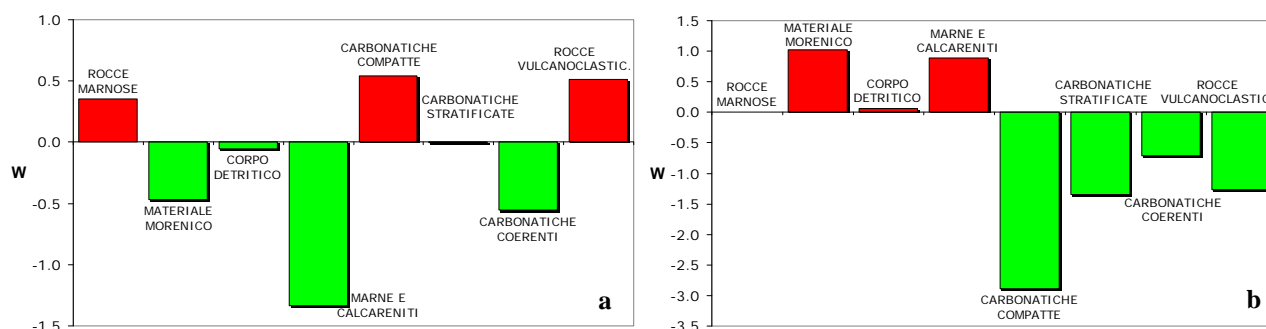


Fig. 6.12 – Istogrammi di assegnazione dei pesi per la diversa geolitologia nel determinare a) *debris-flow* b) frane.

Carta di uso del suolo

Dall'elaborazione geostatistica bivariata tra l'uso del suolo (figura 6.7) e i dissesti risulta che le aree antropizzate limitano questi fenomeni, mentre la copertura detritica favorisce entrambi (figura 6.13). Inoltre, le rocce nude e gli arbusteti possono innescare le colate, mentre le frane sono favorite dalla classe prati e pascoli. Anche in questo caso le rocce nude (che si hanno in corrispondenza delle rocce carbonatiche compatte) hanno una duplice attitudine.

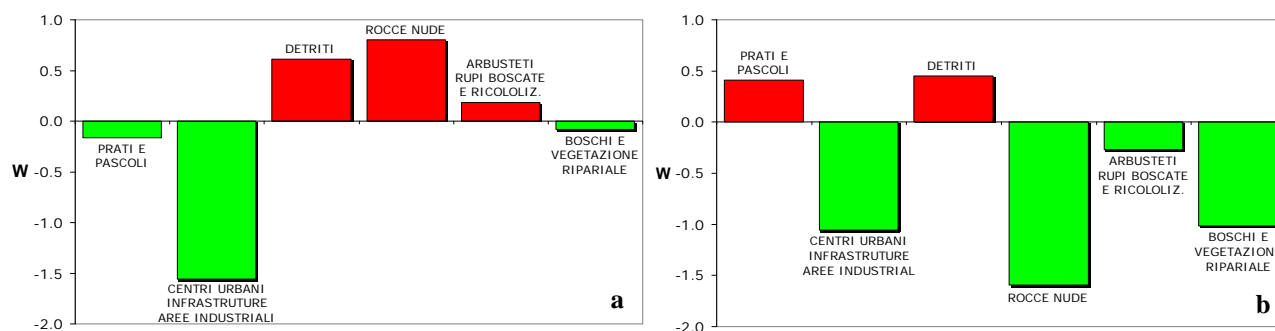


Figura 6.13 – Grafici di assegnazione dei pesi per gli usi del suolo nel determinare a) *debris-flow* b) frane.

Elaborazione della carta della suscettibilità

Dopo aver calcolato statisticamente i pesi ad ogni singola classe considerata si è proceduto alla riclassificazione dei tematismi e all'elaborazione della carta della suscettibilità. Le nuove carte "pesate" sono state unite attraverso diversi algoritmi (e calcoli statistici), ed è stata fatta una normalizzazione secondo la probabilità a posteriori. Risultano così tre carte: propensione al dissesto per colate detritiche (figura 6.14); dissesto da frana per scivolamento o colamento (figura 6.15); movimentazione di terreno per erosione di sponda (figura 6.16). La propensione al dissesto è stata suddivisa in tre classi legate alla suscettibilità che dipende dall'intensità degli eventi meteorici: poco, mediamente e molto suscettibile. Osservando la carta della suscettibilità per colate detritiche si nota che le aree più sensibili a questo fenomeno sono localizzate in corrispondenza del Piz Boè (gruppo del Sella) e lungo le creste che delimitano a sud il bacino dell'Alto Cordevole: Col del Cuch, Sas Ciapel; Belvedere; Sas de Mezdi, Mesola ed il monte Padon. Altre zone in cui è stata evidenziata una medio-alta suscettibilità sono in corrispondenza del Settsass, nella parte nord-ovest del bacino del Cordon, il Col di Lana e su gran parte dell'area drenata sottesa dal T. Davedino. La validità del risultato ottenuto è confermata anche dagli eventi che si sono verificati negli ultimi anni e di cui si hanno notizie, come il caso del Rio Chiesa che scende dal Col di Lana, e dai segni di

Carta della suscettibilità al dissesto per debris-flow

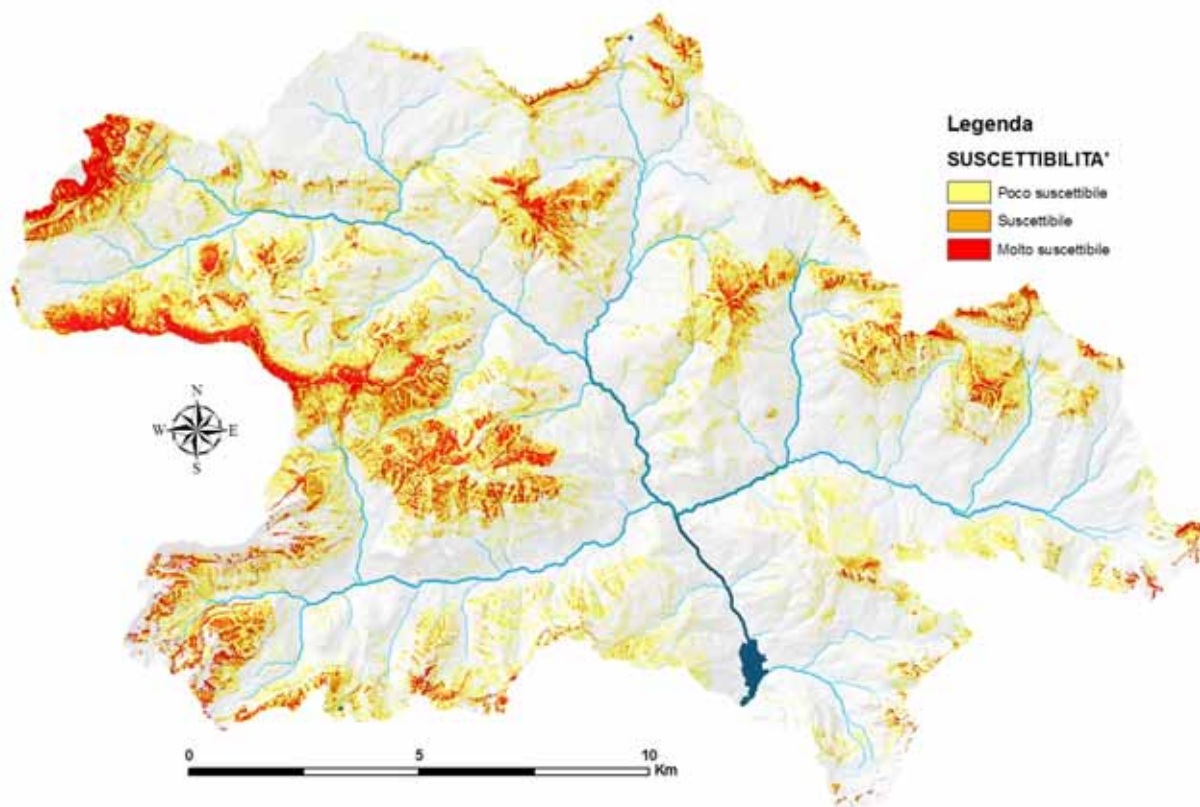


Figura 6.14 – Carta della suscettibilità al dissesto per *debris-flow*.

episodi passati evidenziati durante le campagne di misurazione in campo (come nel Cordon e nel Davedino). La distribuzione della suscettibilità per colate detritiche conferma che questi fenomeni si innescano principalmente alle basi delle ripide pareti dolomitiche dove troviamo il detrito derivato dalla loro erosione, e con pendenze superiori ai 25°. Le frane per scivolamento invece, sono particolarmente legate alla presenza di formazioni litologiche quali alternanze di marne e calcareniti (F. di S. Cassiano e F. di la Valle); questa relazione la si può osservare molto bene confrontando la carta della suscettibilità al dissesto per frana qui presente, con quella della carta litologica riportata in precedenza. Le aree a più alta suscettibilità si hanno in corrispondenza delle sequenze sedimentarie a comportamento plastico (marne e calcareniti), e sono presenti altrove solo in aree circoscritte.

La suscettibilità alle erosioni di sponda è stata calcolata con la stessa metodologia adottata per le altre due; l'unica differenza riguarda l'aggiunta di un fattore predisponente cruciale nel determinare questi movimenti di terreno, ovvero la *flow distance*. I pesi calcolati per ogni fattore considerato non sono stati riportati perché poco significativi, in quanto i punti di controllo (erosioni al piede censite durante la campagna di misurazione) sono molto pochi in quanto distribuiti solo lungo le aste fluviali.

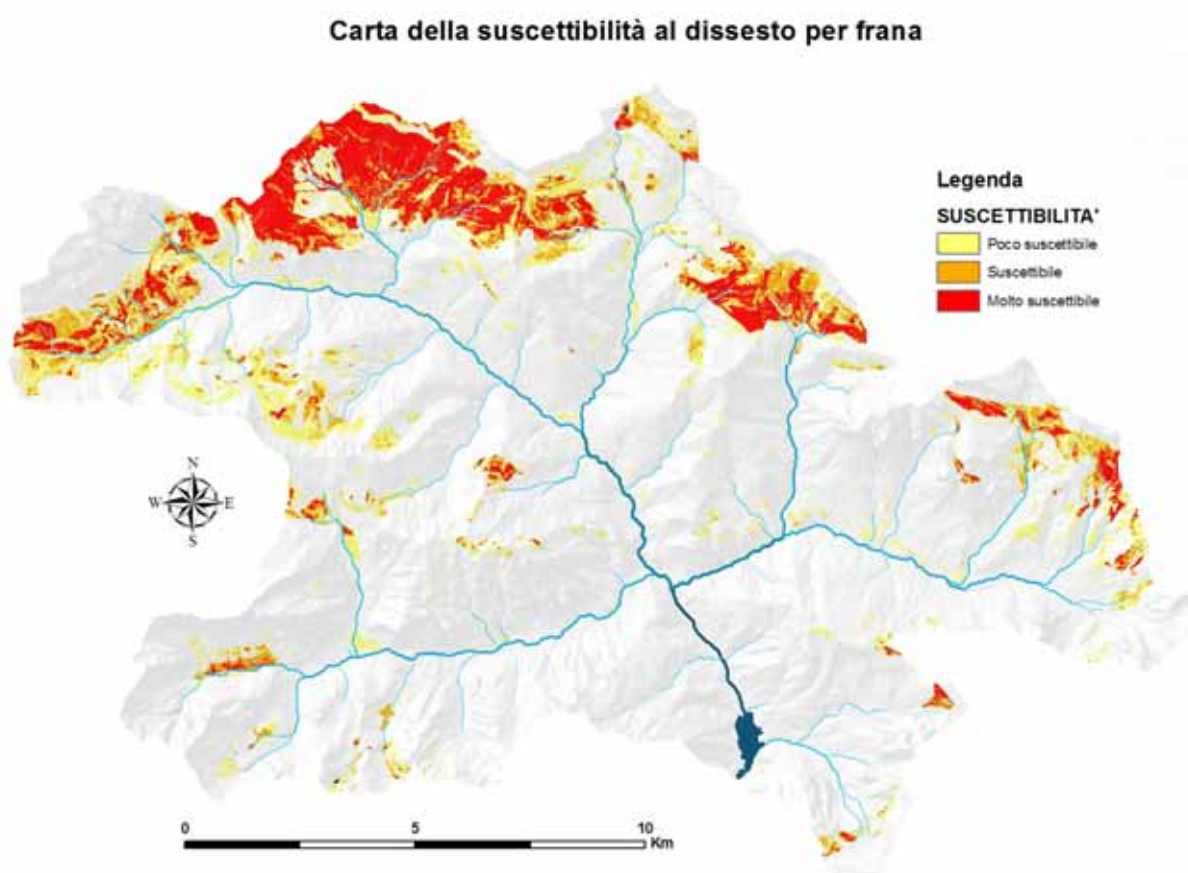


Figura 6.15 – Carta della suscettibilità al dissesto per frane da scivolamento

La carta della suscettibilità all'erosione di sponda viene riportata in figura 6.16. Essa risulta poco leggibile per la limitata estensione delle aree che hanno dato un risultato positivo; per questo motivo è stato fatto un'ingrandimento di una porzione di territorio localizzata nel bacino del Rio Molini.

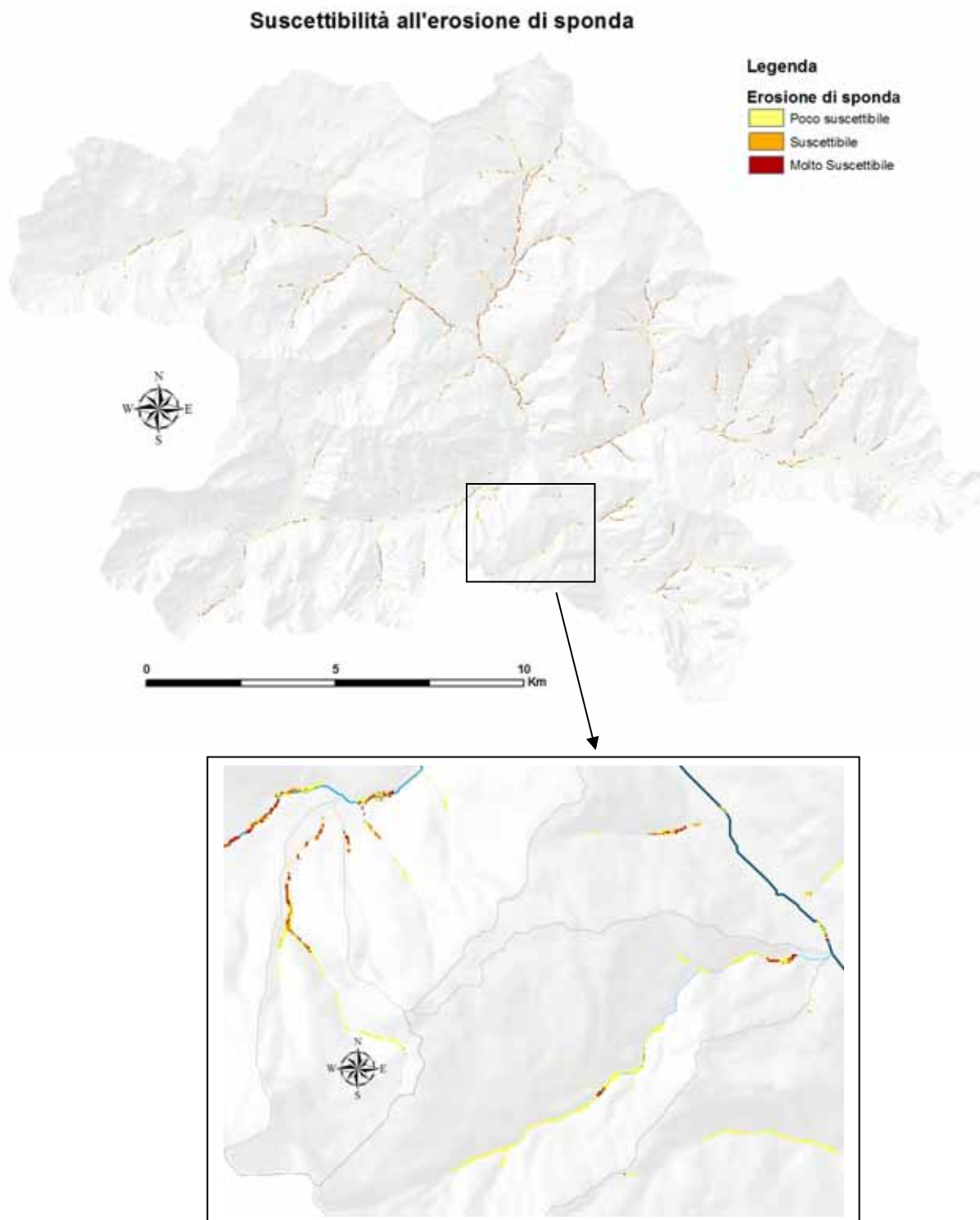


Figura 6.16 – Carta della suscettibilità al dissesto per erosione di sponda. Nel riquadro sottostante si riporta un'ingrandimento dell'area del Rio Molini.

6.2.4 Aree sorgente di legname

Il modello previsionale del legname in alveo proposto in questo lavoro si prefigge di essere uno strumento sufficientemente affidabile e semplice, valido sia per l'area di studio analizzata ma applicabile anche in altri territori. Per questo motivo si è scelto di utilizzare dei dati di input facilmente reperibili e disponibili su tutto il territorio della Regione Veneto. Per individuare le aree sorgenti di legname è indispensabile conoscere l'ubicazione e l'entità della superficie forestale; a tale scopo sono stati acquisiti i Piani Economici-Forestali dei comuni di Livinallongo del Col di Lana, Rocca Pietore, Colle S. Lucia, Selva di Cadore, Alleghe, Borca di Cadore e di S. Vito di Cadore. A partire da questi documenti è stata realizzata la mappa dei particellari forestali riportata in sezione 6.1 (figura 6.2). L'intersezione di questo "metadato" espresso come quantità di approvvigionamento dendrometrico (massa forestale su unità di superficie in m^3ha^{-1}) con la carta della suscettibilità ai dissesti ha permesso di ottenere la mappatura del bosco potenzialmente in dissesto. Le aree sensibili ai fenomeni da colata detritica, da scivolamento superficiale, e da erosioni di sponda sono state trattate congiuntamente creando tre scenari possibili:

- ✓ **Scenario 1:** derivato dall'intersezione delle aree ad alta suscettibilità ai dissesti per *debris flow*, per frana e per erosione di sponda con la massa forestale; si tratta dell'ipotesi più probabile in quanto si tratta di aree facilmente erodibili e molto propense all'innesco di colate, anche con eventi meteorici non eccezionali. Le erosioni di sponda hanno un'influenza notevole in questo primo scenario, perché rispetto agli altri movimenti di terreno sono più probabili, e più facilmente causano l'immissione di legname in alveo. Un'estesa area in dissesto è localizzata nell'altopiano del Chertz (quasi tutta l'area è interessata da frane per colamento lento), caratterizzato però, da assenza di vegetazione arborea (uso del suolo a prato o pascolo). Si può assumere, in via del tutto speculativa che questi dissesti abbiano tempi di ritorno inferiori a 10-20 anni.
- ✓ **Scenario 2:** ottenuto attraverso una sovrapposizione delle carte di media suscettibilità ai dissesti e la carta dei particellari forestali; caso intermedio in cui le aree che possono produrre materiale legnoso in alveo sono più estese rispetto alla precedente. In questo scenario aumenta notevolmente il contributo delle colate detritiche, che si attivano con eventi più rari, in particolare nelle aree di alta quota in cui si depositano le rocce erose dalle catene dolomitiche. In questo caso si ipotizza tempi di ritorno compresi tra i 20 e i 100 anni.
- ✓ **Scenario 3:** è il caso peggiore in cui tutte le aree propense ai dissesti (molto, mediamente e poco) sono attivate e determinano la rimozione ed il trasporto verso le reti idrografiche di tutta la vegetazione arborea in esse presenti. In questo caso le superfici in dissesto sono cinque volte più estese rispetto a quelle che si attivano nel primo scenario. Si ritiene che sia un evento

del tutto eccezionale derivato da fenomeni meteorologici rari, con tempi di ritorno piuttosto elevati (maggiore di 100-200 anni).

Questi scenari sono stati rappresentati in altrettante carte inserite in allegato (allegato 4), di cui si riporta un ingrandimento relativo allo scenario più parossistico (figura 6.17). Da questa simulazione è risultato che la superficie forestale totale potenzialmente in dissesto ha un'astensione di 4340 ha (circa il 17% della superficie totale), e grazie ai dati derivati dalle tabelle di gestione dei piani di assestamento forestale, è stata stimata una massa di legname potenzialmente rimovibile pari a 652297 m³; le erosioni di sponda rappresentano una piccola porzione di territorio in cui troviamo bosco in dissesto, circa 187 ha (0,7% sulla superficie totale), ma con i maggiori volumi di provvigione unitaria, che corrisponde ad un totale di 37550 m³ di materiale legnoso, circa il 7% della massa forestale in dissesto. In effetti, i soprassuoli più produttivi sono situati alle quote inferiori e prossimi ai collettori principali; l'affermazione trova conferma anche nell'immagine sotto riportata, che rappresenta una porzione del bacino idrografico del Fiorentina, una parte del Codalunga, la totalità del Cordon e del Code. Si osserva che lungo le reti idriche la provvigione di legname è quasi sempre superiore ai 200 m³ha⁻¹, mentre i valori inferiori si hanno a quote elevate.

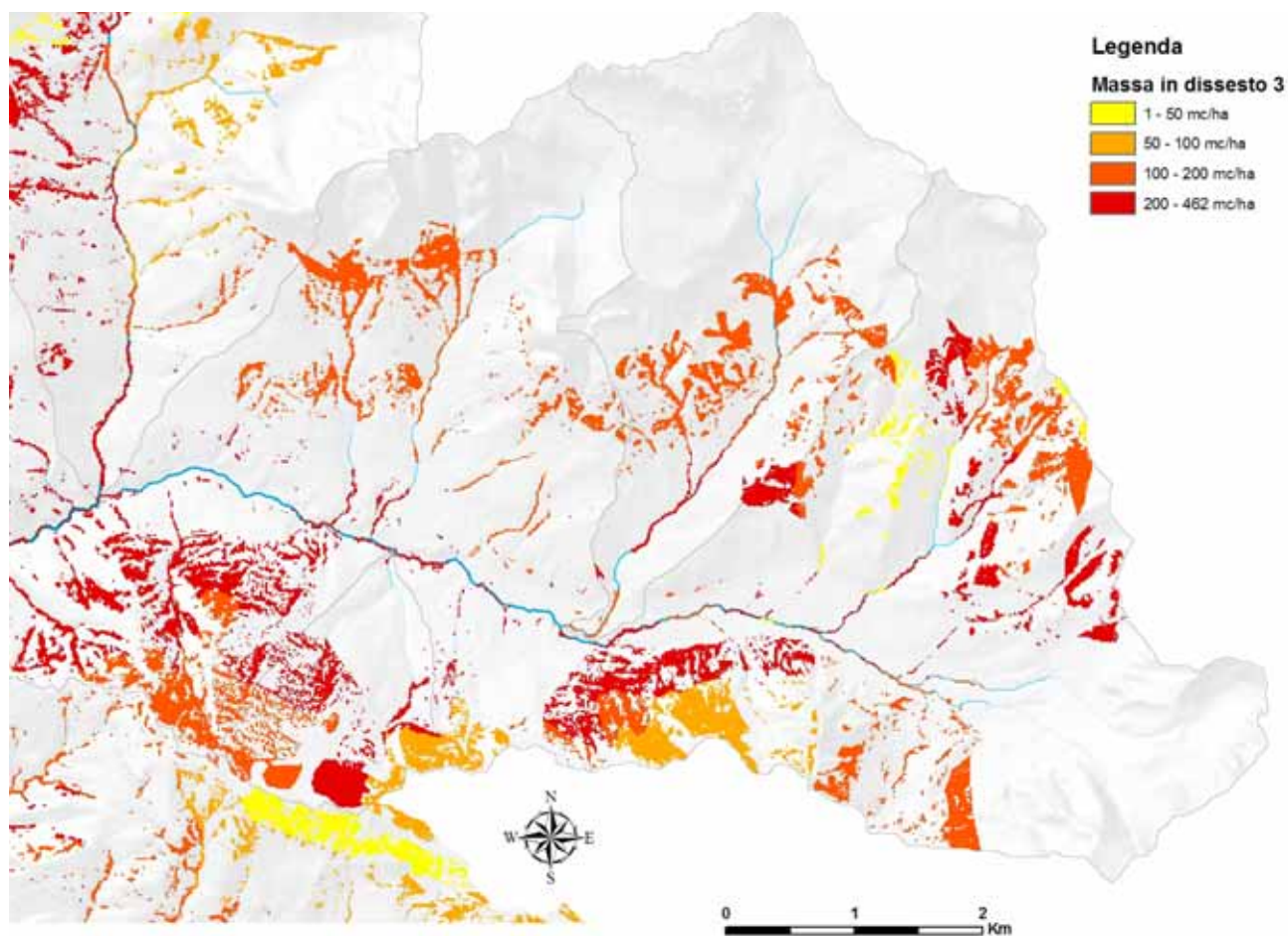


Figura 6.17 – Particolare della carta della superficie forestale in dissesto: scenario 3. L'area riportata è localizzata ad est del bacino (val Fiorentina). In allegato 4 è riportata la mappa.

I dati riassuntivi relativi ai tre scenari modellati sono riportati in tabella 6.1. Se consideriamo lo scenario intermedio, la superficie forestale potenzialmente dissestata è pari a 1234 ha, a cui corrispondono 172015 m³ di materiale; considerando invece il caso più probabile (aree con alta suscettibilità ai dissesti) l'estensione scende a 421 ha, circa l'1,7% di tutta la superficie del bacino idrografico (2,7% del soprassuolo), in cui si trovano 62163 m³ di possibili *large wood*, pari al 2,1% della massa forestale totale presente all'interno del bacino. Anche in questi scenari l'erosione di sponda ha un'influenza notevole in particolare per i bacini di ordine inferiore, che sono poco interessati da frane per scivolamento. Nel caso dell'evento più probabile le superfici forestali che sono situate in aree soggette a erosione di sponda sono il 14% del totale di bosco in dissesto (rispettivamente 58 e 421 ha), pari a 11958 m³ di legname, ovvero un quinto del materiale totale potenzialmente reclutabile dalle reti idriche. Oltre a ciò si deve considerare che per le erosioni spondali è più probabile l'immissione del materiale in alveo.

Difficilmente tutto il bosco in dissesto computato attraverso il sottomodello "reclutamento" può arrivare fino alle reti idrografiche, in quanto molte aree sono situate ad una distanza ragguardevole dai collettori, ed inoltre bisogna considerare la morfologia del territorio e la presenza di "ostacoli", che potrebbero essere rappresentati da vegetazione rimasta in piedi. Il passo successivo della modellazione riguarda proprio il calcolo della probabilità d'immissione in alveo (sottomodello "trasferimento versante").

	Superficie bosco potenzialmente in dissesto (ha)	Massa forestale potenzialmente in dissesto (m³)
Scenario 1	421	62163
Scenario 2	1234	172015
Scenario 3	4340	652297

Tabella 6.1 - Simulazione delle aree sorgente di legname potenzialmente reclutabile in alveo: estensione delle superfici forestali in dissesto (ha) e volume di legname corrispondente (m³).

6.3 Probabilità d'immissione del legname in alveo

Fin qui abbiamo visto come il sottomodello “reclutamento” sia stato in grado di mappare e quantificare il soprassuolo che potenzialmente può essere immesso in alveo. Il primo passaggio ha riguardato la determinazione delle aree suscettibili ai dissesti, e quindi sono stati creati tre possibili scenari di aree sorgenti di *large wood*. Questo materiale è situato in diverse aree anche piuttosto distanti dai collettori principali, e quindi difficilmente trasferibile all'interno dei collettori; questo processo è legato a diversi fattori, come la presenza di ostacoli, la morfologia del territorio, la dimensione degli elementi stessi, dagli eventi meteorici e anche dal tempo di trasferimento. In effetti, col passare degli anni il legname morto presente nei versanti che si muove più o meno velocemente verso i corsi d'acqua tende a subire un degradamento fino alla sua completa trasformazione in sostanza organica che ritorna nel terreno. La pendenza e la forma dei versanti (in particolare la concavità) sono di sicuro le variabili che più influiscono sul reclutamento; gli ostacoli che rallentano la traslazione possono essere rappresentati da rilievi di diverso genere ed in particolare dalla presenza di vegetazione arborea che è molto efficace anche nell'intercettazione e nell'arresto dei fenomeni franosi e di colata che si innescano a monte. La “modellazione” di tutti questi fenomeni nei loro molteplici aspetti e variabili è molto difficile, ma si può cercare di schematizzare i principali processi impostando delle funzioni che trasformano la superficie forestale “dissestata” in legname in alveo.

Nel sottomodello “trasferimento versante” (figura 6.4) la produzione di *large wood* è data dalla probabilità d'immissione in alveo della superficie forestale in dissesto che viene calcolata dalla funzione *slope decay*; l'implementazione di tale algoritmo è stata fatta attraverso un'estensione di ArcGIS® (toolbar plugin) sviluppata da Tarboton D.G. (2001), ovvero TauDEM® (Terrain Analysis Using Digital Elevation Models). Questo è un'insieme di strumenti per l'analisi del terreno (scaricabile e utilizzabile liberamente dal sito <http://hydrology.neng.usu.edu/taudem/>) che al suo interno contiene alcuni interessanti funzioni speciali per l'analisi del terreno tra cui la *flow distance* (distanza dalla rete idrografica lungo le linee di deflusso) e il *decayng accumulation*. Quest'ultimo è un operatore che calcola lo spostamento di una massa secondo la direzione del deflusso superficiale, riducendo la quantità di materia (decadimento di primo ordine). Il risultato di tale elaborazione è l'accumulo di massa lungo il percorso effettuato. Nel nostro caso, la massa è rappresentata dal soprassuolo in dissesto espresso come provvigione (m^3ha^{-1}), mentre la funzione di decadimento è stata ottenuta a partire dalla pendenza e dalla rete idrologica sintetica (*blue lines*). A livello operativo sono stati caricati i metadati della superficie forestale in dissesto (volume) relativi ai tre scenari, e un moltiplicatore che definisce il tasso di decadimento per ogni porzione di territorio analizzato. A partire dalla pendenza e dalla *flow accumulation* (area sottesa dalla rete

idrografica), è stata redatta una griglia (con lato di 10 m) al cui è riportato un valore compreso tra 0 e 1; tale valore rappresenta il moltiplicatore del tasso di decadimento. Maggiore è questo valore e maggiore è la quantità di legname che può passare alla cella successiva durante il suo tragitto verso la rete idrografica. Questo moltiplicatore deriva da una relazione direttamente proporzionale alla pendenza del territorio, pertanto le aree pianeggianti e quindi anche quelle prossime ai collettori presentano il più alto tasso di decadimento (minore valore del moltiplicatore). Nell'ingrandimento (figura 6.18) della mappa dello *slope decay* (allegato 5), sono state evidenziate in rosso le aree in cui il materiale legnoso ha più "difficoltà" a spostarsi verso il collettore (alto tasso di decadimento). Le zone in bianco rappresentano la rete idrografica, ottenuta impostando una soglia di area drenata (*threshold flow accumulation*) pari a 4 ha, e quindi molto estesa; in essa è stato impostato un valore di decadimento molto basso (moltiplicatore pari a 10^{-4}), pertanto è come se tutto il materiale che perviene in queste celle viene "bloccato" e non prosegue la sua strada verso valle lungo la direzione di deflusso. La traslazione del legname in alveo verrà effettuata successivamente dal sottomodello "trasferimento rete idrografica".

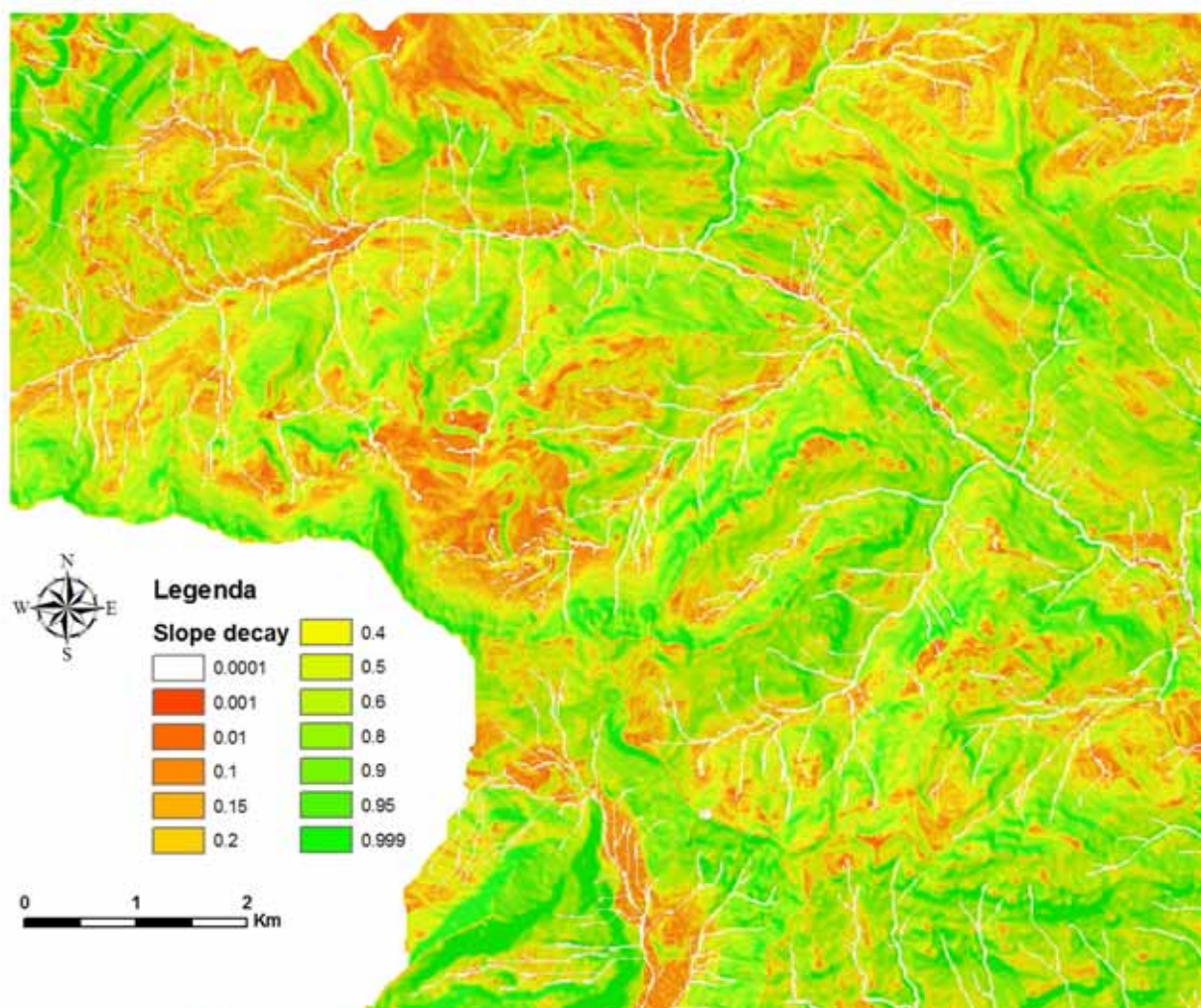


Figura 6.18 – Ingrandimento della carta dello *slope decay* utilizzata per modellare il trasferimento del legname dalle aree sorgente alla rete idrografica.

Dopo aver definito la funzione *slope decay*, il sottomodulo “trasferimento versante” provvede a calcolare quanto del materiale legnoso presente nelle aree sorgente, riesca a pervenire alla rete idrografica. Dai tre scenari prodotti nel sottomodulo “reclutamento” è stata simulata la traslazione, ottenendo altrettante mappe (allegato 6). Qui si riporta un particolare delle elaborazioni (figura 6.19) riferite ad un piccolo tributario del Rio Davedino; sono state evidenziate le aree sorgente di legname dello scenario 1 (derivato dalle zone fortemente suscettibili ai dissesti), ed il trasferimento di questo materiale verso le reti idriche (valori espressi come massa di legname su area $m^3 ha^{-1}$). Il legname aumenta notevolmente se vi sono più aree sorgente a monte, ma nel tragitto verso il collettore diminuisce progressivamente; la simulazione si arresta una volta che il materiale viene immesso in alveo. Il legname derivato da colate detritiche o erosioni di sponda che già si trova all'interno dei torrenti, passa direttamente al “sottomodulo rete idrografica” perché non viene considerato nella traslazione lungo i versanti.

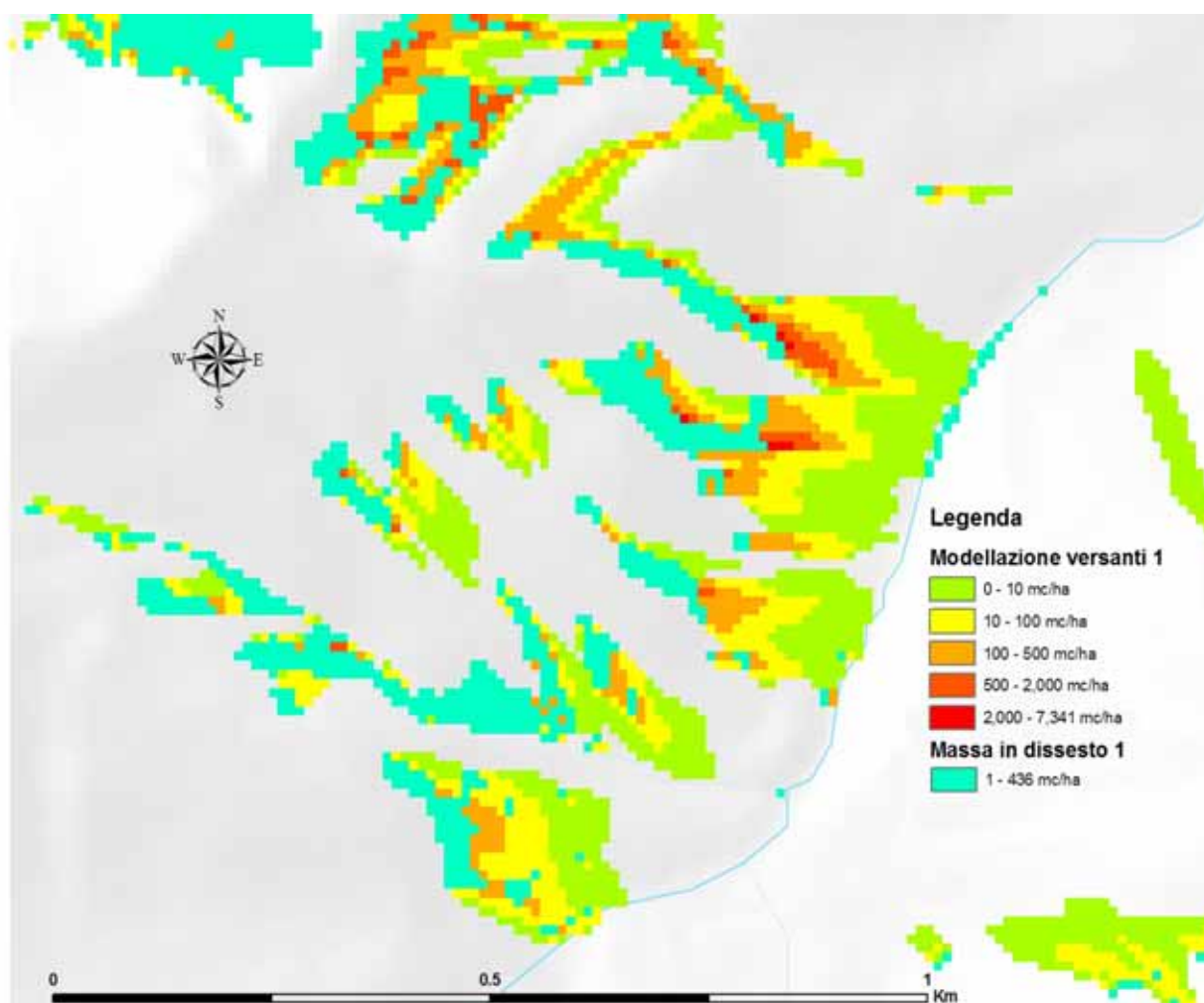


Figura 6.19 – Modellazione del trasferimento di legname lungo i versanti: ingrandimento dello scenario 1 localizzato in un piccolo tributario del Rio Davedino. In azzurro sono evidenziate le aree sorgente. Quantità di legname espresse in volumi areali ($m^3 ha^{-1}$)

6.4 Simulazione della traslazione del legname in alveo

L'ultima parte del modello proposto riguarda la traslazione del legname che può essere immesso in alveo (figura 6.4). Il sottomodello "trasferimento rete idrografica", a partire dai dati ottenuti attraverso la mappatura delle aree sorgente e la successiva simulazione del trasferimento verso la rete idrografica, provvede a calcolare la movimentazione del legname in alveo; la funzione che regola questo processo (*stream decay*) è ottenuta considerando la potenza della corrente in relazione alla larghezza dell'alveo a piene rive (*unit stream power index USPI*). E' stato dimostrato che questo indice ha una stretta relazione con la quantità di legname fluitato rilevato durante le campagne di misurazione (sez. 5.3.1); per l'applicazione del presente sottomodello lo *stream power index (SPI)* è stato definito a partire dall'equazione 18 e valutando il coefficiente della potenza a partire dai dati rilevati in campo (Flores et al, 2006); si ottiene così la seguente relazione:

$$SPI = S \cdot A^{0,38} \quad (22)$$

dove S è la pendenza, ed A è l'area drenata; il calcolo della larghezza dell'alveo a piene rive è stato fatto a partire dell'area drenata secondo la relazione ottenuta dalle misure fatte in campo per i torrenti analizzati (equazione 17). Si arriva quindi a definire l'*USPI* come segue:

$$USPI = \frac{S \cdot A^{0,38}}{3,844 \cdot A^{0,2135}} \quad (23)$$

Il tasso di decadimento lungo i collettori (*stream decay*) diminuisce all'aumentare dello *unit stream power*; si è provveduto al calcolo di questo indice per l'intera rete idrografica che sottende il bacino idrografico del Cordevole con sezione di chiusura ad Alleghe (impostando un valore soglia di area drenata pari a 4 ha). L'*USPI* è stato poi convertito nel moltiplicatore dello *stream decay*, ed inserito in una griglia dell'area di studio. Grazie a questa mappa è stato possibile determinare le zone di torrente in cui si possono formare degli accumuli di legname ed è stata modellato il trasferimento del materiale lungo le reti idrografiche.

Per ognuno dei tre scenari ipotizzati è stata simulata la quantità di legname che viene fluitato e che si deposita all'interno dei torrenti (area drenata superiore a 16 ha). Anche in questo caso il calcolo è stato fatto utilizzando le funzioni speciali di TauDEM[®], impostando come dati di partenza i volumi di legname traslati fino in alveo dal "sottomodello versante". Sono state prodotte tre diverse mappe di traslazione del legname in alveo (riportate in allegato 7), e grazie ad esse si è provveduto a calcolare la quantità di legname depositata in alveo simulata dal modello per i tredici torrenti analizzati in campo.

Per poter confrontare i dati con quelli ottenuti dalle campagne di misurazione (non tutti gli affluenti e solo parte dei collettori principali sono stati analizzati), i volumi di legname presenti nei

tratti di torrente indagati stati rapportati al totale della rete idrografica. In tabella 6.2 sono riassunte le quantità di legname simulato con i tre scenari e quello derivato dalle misurazioni in campo (reale). Si osserva che per lo scenario più probabile, il modello restituisce dei valori molto prossimi a quelli realmente presenti in alveo, ed in un solo caso sottostima la quantità di *LW* (rio della Miniera). Per i bacini di ordine maggiore (Alto Cordevole, Andraz, Pettorina) la simulazione evidenzia dei volumi di legname maggiore di quello reale (fino a tre volte), e questo è probabilmente dovuto all'azione antropica di manutenzione e sistemazione d'alveo che non è stata inclusa nel modello.

Legname in alveo (m^3)	Scenario 1	Scenario 2	Scenario 3	Reali
Alto Cordevole	5427	10932	26304	1578
Andraz	3441	6270	13161	1967
Bianco	72	295	1353	59
Codalunga	1075	2540	5720	182
Code	59	148	532	90
Cordon	566	1128	2106	180
Davedino	685	1693	4463	838
Della Miniera	18	47	241	62
Fiorentina	1724	4312	22061	1477
Molini	49	169	1302	58
Ornella	463	896	2148	97
Pettorina	820	2326	8240	217
Valbona	51.92	108	309	50

Tabella 6.2 - Simulazione del materiale legnoso in alveo: confronto tra i volumi calcolati per i tre scenari e il volume reale rapportate alla totale lunghezza della rete idrografica. Valori in m^3 .

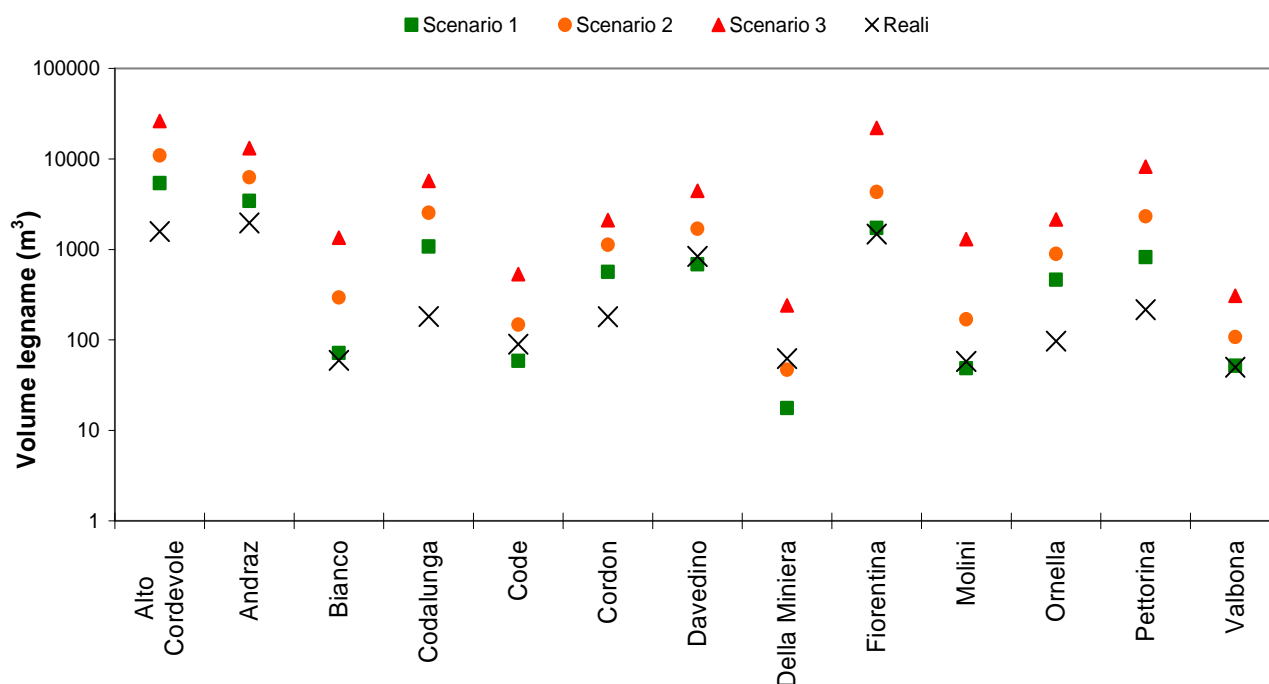


Figura 6.20 – Confronto tra i volumi di legname in alveo predetti dal modello (tre scenari), rispetto a quelli realmente presenti.

I dati relativi allo scenario intermedio e quello meno probabile (scenario 2 e 3) sono in media il doppio rispetto al precedente, ma è interessante osservare che questo aumento è maggiore per i bacini più piccoli (figura 6.20). In altre parole, nella simulazione di eventi estremi, è risultato che nei piccoli affluenti si attivano delle aree di produzione di legname in alveo non evidenziate con lo scenario più probabile. In termini relativi, sembra quindi che il rischio idrogeologico legato al materiale legnoso in alveo sia maggiore per i bacini idrografici di ordine inferiore.

Nel complesso si può affermare che il modello previsionale ha dato degli ottimi risultati, evidenziando con lo scenario più probabile, per tutti i bacini indagati, una quantità di legname in alveo entro lo stesso ordine di grandezza di quello attualmente presente (reale). Anche se i dati sono relativamente pochi per effettuare delle analisi statistiche, risulta che il valore simulato è ben correlato al valore atteso (R^2 pari a 0,72 e $p\text{-level} < 0,05$). Nel grafico sotto riportato si mette in relazione l' "indice di simulazione" (volume simulato su reale) con l'area drenata dei bacini: più i punti sono vicini alla linea tratteggiata centrale (valore predetto = valore simulato), maggiore è l'affidabilità della simulazione (figura 6.21). Quasi tutti gli indici sono compresi tra lo 0,5 e 5 (linee tratteggiate più chiare) e l'errore relativo è compreso tra 0,04 e 4,9 (media errore relativo = 1,2). Ciò sta a significare che con lo scenario 1 si sono individuate e modellate con una certa affidabilità le cause che determinano lo stato attuale. Successivamente alla piena del novembre 1966 le pulizie e le sistemazioni idraulcio-forestali hanno eliminato quasi tutto il legname presente in alveo, ed, in effetti, durante le campagne di misurazione sono stati rilevati pochissimi tronchi molto vecchi; dal '66 ad oggi, inoltre, non ci sono stati fenomeni di intensità elevata, tra i quali si possono ricordare gli eventi del 2002 che hanno avuto un tempo di ritorno stimabile al massimo in 10-20 anni. Si può

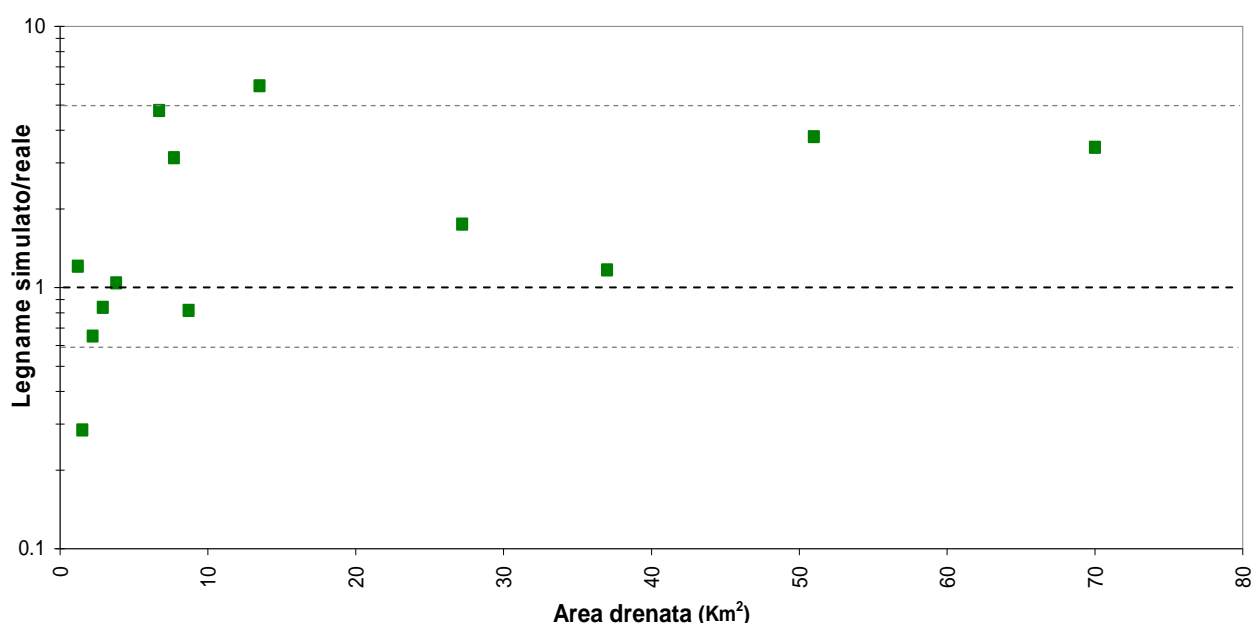


Figura 6.21 – Legname simulato rapportato a quello reale in funzione all'area drenata (scenario 1).

quindi ipotizzare che la simulazione della produzione e traslazione di legname in alveo, modella con il primo scenario eventi che hanno alte probabilità di accadimento ($Tr \approx 10-20$ anni), mentre i dati calcolati nei casi più pessimistici (scenario 2 e scenario 3), prevedano la quantità di legname che entra nei collettori in seguito a fenomeni statisticamente meno frequenti (Tr 2° scenario $\approx 20-100$ anni; Tr 3° scenario $\approx 100-200$ anni).

Il modello previsionale di legname in alveo si è rivelato particolarmente adatto per i bacini studiati, nei quali i processi predominanti che lo determinano sono legati alle frane per scivolamento, alle colate detritiche, ed alle erosioni spondali. Qualche difficoltà nella simulazione è evidenziata per aree drenate particolarmente esigue, in quanto il modello tende a sottostimare il volume a causa dei processi erosivi di sponda che sono stati riprodotti con difficoltà dal modello, e che evidentemente hanno un “peso” maggiore in questi torrenti rispetto ad altri fenomeni di reclutamento. Il problema è legato al calcolo delle aree suscettibili al dissesto per erosione di sponda, fatto con una esigua quantità di “punti di controllo”.

6.4.1 Variazioni longitudinali dei volumi di legname

Utilizzando il sottomodello “trasferimento rete idrografica”, a livello di collettore è possibile definire quali siano i tratti di torrente in cui il legname tende ad accumularsi. In figura 6.22 è stata riportata la carta della propensione all’accumulo per il bacino del torrente Davedino, sulla quale sono stati riportati anche i dati di legname rilevati in campo (barre orizzontali marroni): si osserva che le aree a più alta probabilità di accumulo presentano i volumi maggiori, tuttavia non c’è una corrispondenza soddisfacente. La modellazione della traslazione lungo le reti idriche è stata fatta solo considerando lo *unit stream power*, mentre nella realtà le cause che determinano l’accumulo e la fluitazione di legname possono essere molteplici. Per una corretta valutazione di questi processi si dovrebbe tenere in considerazione la dimensione relativa degli elementi e la morfologia del corso d’acqua, in particolare la presenza di impedimenti come restringimenti dati da versanti in roccia o grossi massi che tendono a formare degli accumuli in alveo.

Estendendo questo tipo di analisi sull’intero bacino idrografico del Cordevole chiuso al lago di Alleghe è stato possibile determinare quali siano le zone a più alto rischio di accumulo di legname (figura 6.23). Il torrente Andraz presenta un’estesa zona di accumulo nella parte inferiore del bacino, mentre per gli altri torrenti l’alta probabilità di accumulo è localizzata in aree più limitate. Nel torrente Pettorina e nei suoi affluenti non sono state evidenziate zone a rischio. Anche in questo caso per avere una simulazione più accurata si dovrebbero inserire nel modello alcuni dati relativi alla morfologia dei torrenti (in particolare restringimenti di sezione e presenza di ostruzioni) e alle dimensioni del legname potenzialmente reclutabile.

Modellazione propagazione legname in alveo

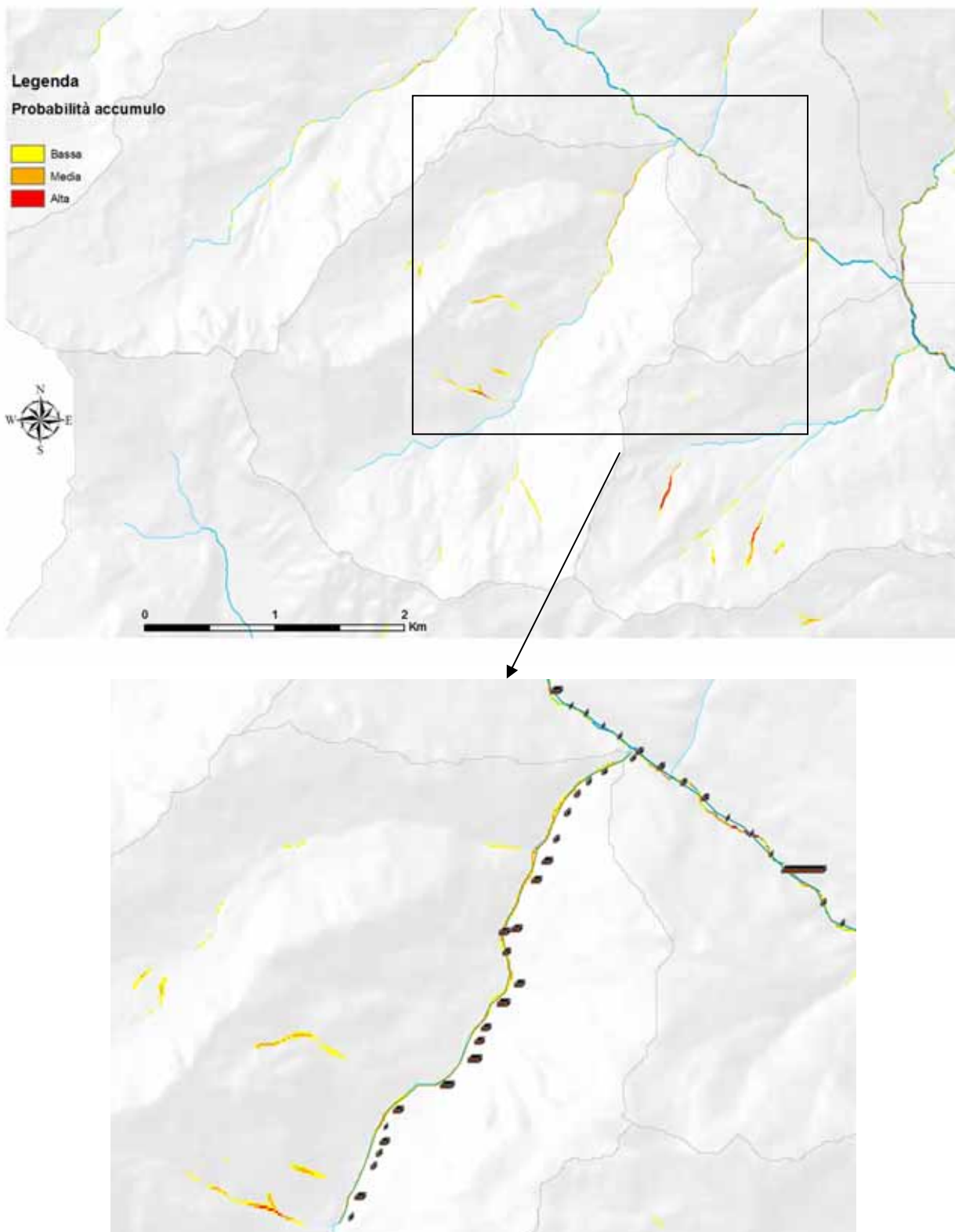


Figura 6.22 – Modellazione della propagazione del legname in alveo: probabilità di accumulo a confronto con la quantità di legname misurato in campo. L'area ingrandita si riferisce al bacino del torrente Davedino e parte dell'Alto Cordevole. Le barre orizzontali marroni indicano il volume di legname rilevato nei diversi tratti di torrente.

**Modellazione propagazione legname in alveo:
zone a rischio di accumulo di legname**

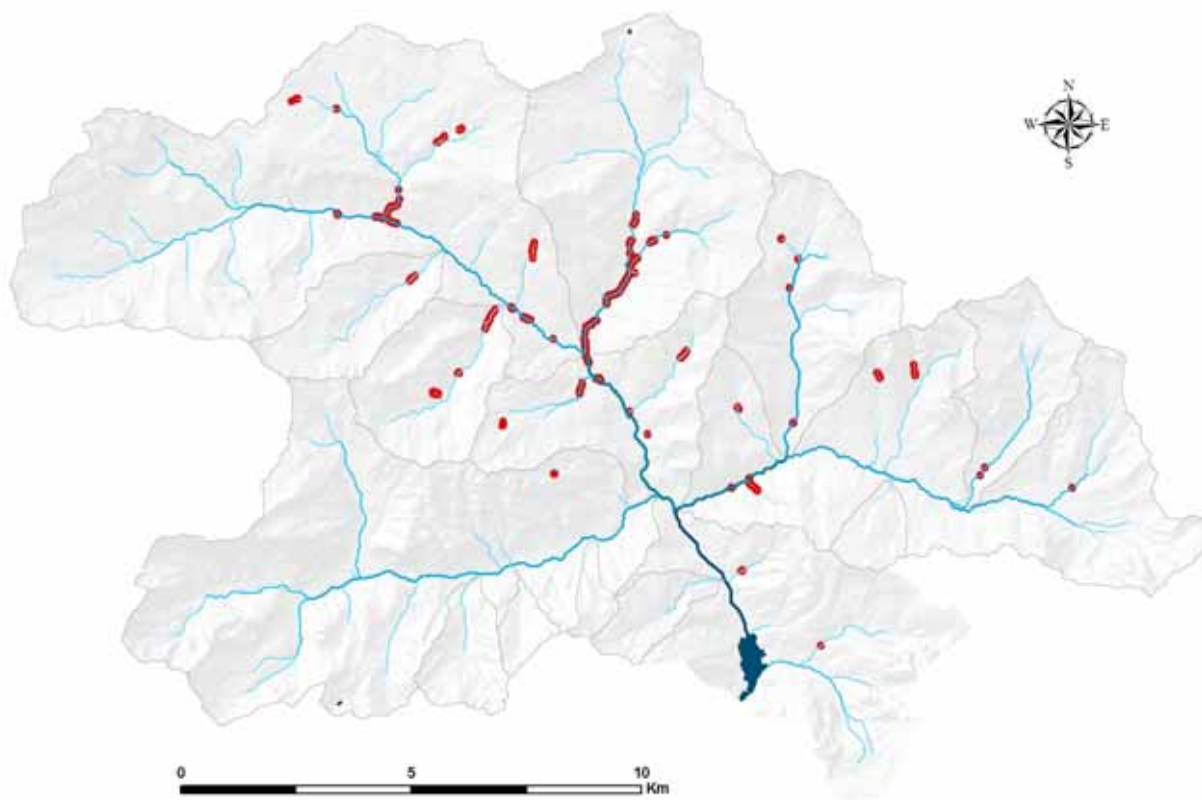


Figura 6.23 – Modellazione della propagazione del legname in alveo: zone a rischio di accumulo di legname.

7 – CONCLUSIONI

La presente attività di ricerca riguarda la produzione, la dinamica, e l'influenza morfologica del materiale legnoso presente nei torrenti dolomitici. Sono state effettuate delle campagne di misurazione su tredici torrenti appartenenti al bacino dell'Alto Cordevole, e i dati ottenuti sono stati successivamente elaborati. E' stato infine creato un modello su base GIS in grado di individuare la quantità di legname e prevedere la movimentazione lungo le reti idrografiche.

Lungo i collettori analizzati sono stati rinvenuti più di 9000 elementi legnosi. Da un punto di vista qualitativo è emerso che questo materiale nella maggioranza dei casi deriva da conifere, è situato in parte all'interno dell'alveo di piene rive (60%) ed in parte nella piana alluvionale (35%); presenta uno stato di degradazione quasi sempre avanzato, e più della metà tende a formare accumuli. Alcune analisi di dettaglio riguardanti gli effetti degli accumuli di legname hanno dimostrato che nel t. Davedino, queste formazioni bloccano un'ingente quantità di sedimento (167 m^3), e tendono a stabilizzare l'alveo formando delle sequenza a gradinata. Tale quantità di sedimento è circa $40 \text{ m}^3 \text{ km}^{-2}$ riferito all'area drenata del bacino, circa un quarto della produzione annua di sedimento evidenziata per l'intero bacino del Cordevole ad Alleghe ($180 \text{ m}^3 \text{ km}^{-2} \text{ anno}^{-1}$ dal 1933 al 1994). Le dimensioni mediane dei tronchi rilevati presentano diametri abbastanza simili fra i diversi bacini (0,08-0,13 m), mentre i processi d'immissione del materiale in alveo, e l'eventuale dislocazione lungo il canale, determinano una maggiore differenziazione della lunghezza, che varia da 0,79 a 3,75 m. E' stato calcolato che il rapporto lunghezza dei tronchi e larghezza del canale è maggiore per i bacini con area drenata inferiore ai $30\text{-}40 \text{ km}^2$, mentre nei torrenti di ordine maggiore vi è una maggiore probabilità di mobilitazione del legname. Il grado di congestione (rapporto tra le dimensioni del legname e dimensioni dell'alveo) è il parametro meglio correlato alla presenza di legname in alveo come indicato dall'analisi della covarianza. Essa dipende anche dalla capacità di movimentazione da parte della corrente espressa dallo *unit stream power*, in quanto risulta che il legname tende a fluitare quando questo indice è compreso tra 40 e 200. Questi aspetti, possono essere cause possibili della relazione inversa che sussiste tra volume areale di legname (espresso in funzione della superficie d'alveo) ed area drenata del bacino; tuttavia, la forte riduzione dei volumi legnosi nei corsi d'acqua più grandi è sicuramente ascrivibile al loro elevato grado di antropizzazione (abitati, strade) che comporta frequenti interventi di sistemazione idraulico-forestale e di rimozione della vegetazione e del legname in alveo.

E' importante sottolineare come volumi ingenti di legname possano essere presenti anche in bacini relativamente grandi. E' il caso del T. Andraz e del Ru Davedin, (rispettivamente di 27,2 e $8,7 \text{ Km}^2$ di area drenata) che presentano volumi superiori a $70 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, simili a quelli riscontrati in

bacini di 1-2 Km²). Le maggiori quantità di materiale legnoso presente nei collettori analizzati sembrano legate in particolare ai movimenti superficiali dei versanti (frane) ed in secondo luogo alle colate detritiche dei piccoli tributari che immettono in alveo numerose conifere anche di grandi dimensioni; la particolare morfologia di questi corsi d'acqua (grossi massi, versanti in roccia, cascate, ecc.), conseguenza diretta anche degli stessi processi di erosione e trasporto, limita fortemente la movimentazione del legname, che tende ad accumularsi nel corso degli anni. Altri fenomeni che concorrono alla formazione del legname in alveo sono legati alle erosioni di sponda, che reclutano le piante presenti nella piana alluvionale o nelle aree limitrofe.

Dal confronto dei dati ottenuti con valori presenti in letteratura derivati da bacini in condizioni di "quasi-naturalità" in regioni a clima temperato, si deduce come i corsi d'acqua analizzati, per molti versi rappresentativi dell'intero arco alpino europeo, presentino quantità di legname in alveo decisamente modeste, frutto delle alterazioni derivanti dalla secolare presenza umana in questi territori. Escludendo, infatti, i bacini in climi temperati pluviali, risulta probabile che i torrenti delle Dolomiti abbiano al momento volumi di materiale legnoso all'incirca compresi tra il 25% ed il 35% della quantità originariamente presente.

L'ultima fase dell'attività di ricerca è stata indirizzata alla messa a punto di uno strumento previsionale. Considerando le informazioni ed i dati ottenuti si è scelto di optare per un modello di analisi spaziale su base GIS che simuli distintamente i tre principali processi: 1) *reclutamento di LW*; 2) determinazione della *probabilità d'immissione in alveo*; 3) *movimentazione* del legname lungo la rete idrografica. Per il primo punto sono state mappate le sorgenti di legname potenzialmente reclutabile attraverso l'intersezione della carta dei particellari forestali e la carta della suscettibilità ai dissesti. La prima è stata ottenuta mediante digitalizzazione dei Piani Economici-Forestali, mentre per la seconda si è ricorso al metodo del *Weight of Evidence* (WofE). Attraverso questa metodologia sono stati creati tre diversi scenari possibili in relazione al diverso grado di suscettibilità ai dissesti per frane da scivolamento, colate detritiche ed erosioni di sponda. La simulazione dell'immissione in alveo è stata ottenuta applicando delle funzioni di propagazione e decadimento legate alla morfologia del territorio ed alla *flow distance* dalla rete idrografica. In maniera simile, è stata calcolata la propagazione del materiale lungo il collettore, in questo caso però, derivando il tasso di decadimento dallo *unit stream power*, calcolato per ogni tratto di torrente.

Il modello ha restituito delle mappe (una per ogni scenario simulato) di materiale legnoso depositato in alveo; da queste sono state evidenziate i tratti di torrente con più alta probabilità di accumulo, ed è stato calcolato il volume complessivo di *LW* presente nei tredici sottobacini indagati. Nel complesso si può affermare che il modello previsionale messo a punto ha dato dei

risultati soddisfacenti, evidenziando con lo scenario più probabile, per tutti i bacini indagati, una quantità di legname in alveo entro lo stesso ordine di grandezza di quello attualmente presente (errore relativo = 0,04-4,9; errore relativo medio = 1,2); si può pertanto affermare che sono individuate e modellate con una certa affidabilità le cause che determinano lo stato attuale il quale può associarsi a fenomeni meteorologici aventi tempo di ritorno < 10-20 anni. Si può ipotizzare pertanto che i volumi calcolati per gli altri scenari di più elevata propensione al dissesto si riferiscano a fenomeni con tempo di ritorno maggiore.

In definitiva, con questo lavoro è stato evidenziato che i collettori montani delle Alpi presentano allo stato attuale quantità molto modeste di materiale legnoso immagazzinato in alveo. Tale condizione deriva da vari secoli di gestione del territorio e della rete idrografica, che ha comportato sia la forte riduzione dell'immissione di legname (per stabilizzazione sponde e versanti e riduzione provvigione forestale) che l'aumento della sua "uscita" dal sistema fluviale (per la ridotta dimensione diametrica e la rimozione di accumuli). L'impatto di tali modifiche sulla morfologia e di conseguenza sull'assetto ecologico dei torrenti è sicuramente notevole, e finora esso è stato scarsamente considerato, mancando purtroppo nelle Alpi bacini di riferimento per condizioni di naturalità. La pratica delle pulizie d'alveo effettuate indiscriminatamente in ogni tratto è altamente nociva per gli ecosistemi torrentizi, e non risolve il problema della sicurezza idraulica in quanto durante eventi parossistici la grande maggioranza del legname perviene da nuovi dissesti a scala di versante; tali pratiche anzi possono instillare un falso senso di sicurezza nella popolazione e nei tecnici che può rivelarsi molto pericoloso.

Il modello proposto e messo a punto con questa attività di ricerca, ha le potenzialità per essere un valido supporto nella pianificazione della gestione del rischio idraulico in territorio montano, sia individuando i sottobacini caratterizzati da un'elevata pericolosità idraulica connessa al materiale legnoso, che evidenziando le aree sorgenti ed i tratti maggiormente a rischio di deposito eccessivo di legname. Una riqualificazione di lungo termine, basso costo ed alta efficacia dei torrenti alpini potrebbe essere attuata lasciando che i processi naturali accumulino materiale legnoso di grandi dimensioni negli alvei, provvedendo ad installare strutture "leggere" di ritenuta del legname nelle aree ad elevato rischio idraulico evidenziate con il modello. Si auspica che tale strumento susciti l'interesse degli enti competenti nella pianificazione territoriale, e che la ricerca prosegui con l'applicazione in altri ambiti territoriali, così da affinare e sviluppare ulteriormente questo lavoro.

8 – ALLEGATI

Allegato 1

Parametri morfometrici dei torrenti.

Di seguito si riportano i dati morfometrici relativi ai tredici torrenti analizzati suddivisi in tratti (337 tratti totali). A = area drenata (km²); L = lunghezza (m) Pr = larghezza alveo di piene rive (m); Pa = larghezza piana alluvionale (m); Tr = tirante di piene rive (m); P = pendenza (%); M = numero di massi con diametro medio superiore al tirante di piene rive; M/L = numero di massi in rapporto alla lunghezza del tratto (n°m⁻¹); Bf/Tr = grado di confinamento (larghezza alveo di piene rive in rapporto al tirante); USPI = *Unit stream power index* calcolata con l'equazione 18 e suddivisa per la larghezza di piene rive; SA = superficie alveo di piene rive (m²).

Torrente	Tratto	A Km ²	L m	Pr m	Pa m	Tr m	P %	M N°	M/L N°m ⁻¹	Bf/Tr	USPI	SA m ²
Bianco	1	1.20	69	5.5	9	0.45	12	8	6.7	12.22	24	380
Bianco	2	1.04	69	3.5	8	0.55	20	30	28.8	6.36	58	242
Bianco	3	0.98	67	4.5	9.5	0.50	42	28	28.6	9.00	92	302
Bianco	4	0.72	69	3.0	6	0.45	55	20	27.8	6.67	156	207
Bianco	5	0.63	70	3.0	8.5	0.40	60		0.0	7.50	159	210
Miniere	1	1.50	70	4.0	10	0.50	16	14	0.2	8.00	49	280
Miniere	2	1.44	70	3.0	8.5	0.40	15	23	0.3	7.50	60	210
Miniere	3	1.38	70	3.5	10	0.40	52		0.0	8.75	175	245
Code	1	2.13	65	6.9		0.55	17			12.55	35	449
Code	2	2.08	59	6.2		0.54	21			11.39	49	363
Code	3	2.07	80	5.5		0.65	21			8.38	55	436
Code	4	2.06	54	5.0		0.46	21			10.96	61	271
Code	5	1.21	37	4.8		0.35	24			13.71	55	178
Code	6	1.21	63	5.1		0.40	33			12.75	71	321
Code	7	1.19	73	4.7		0.53	23			8.98	53	346
Code	8	1.16	73	4.4		0.37	14			11.98	33	323
Code	9	1.07	46	4.5		0.32	15			14.30	35	208
Code	10	1.06	71	4.5		0.30	13			14.98	29	321
Code	11	0.96	89	5.0		0.37	18			13.63	35	445
Code	12	0.95	87	5.2		0.40	24			13.00	45	452
Code	13	0.88	49	4.7		0.55	38			8.55	76	230
Code	14	0.87	79	3.5		0.60	33			5.83	88	277
Code	15	0.78	79	3.5		0.60	33			5.83	83	277
Code	16	0.73	46	4.9		0.40	29			12.27	50	226
Code	17	0.72	102	5.5		0.40	33			13.75	51	561
Code	18	0.65	59	4.1		0.60	24			6.83	47	242
Code	19	0.53	65	3.8		0.48	30			7.94	57	248
Code	20	0.53	70	6.3		0.35	23			18.00	27	441
Code	21	0.30	62	4.8		0.40	31			11.88	35	295
Code	22	0.30	52	3.7		0.50	32			7.40	47	192
Code	23	0.29	47	3.8		0.45	47			8.44	66	179
Code	24	0.17	59	3.0		0.37	45			8.19	61	179
Molini	1	2.87	95	3.8		0.35	7			10.86	31	361
Molini	2	2.85	113	3.8		0.35	10			10.86	44	429
Molini	3	2.84	114	2.4		0.55	9			4.36	63	274
Molini	4	2.80	52	5.9		0.47	8			12.50	24	305
Molini	5	2.79	39	2.3		0.58	13			4.01	92	90
Molini	6	2.78	61	2.3		0.52	13			4.47	90	141

Torrente	Tratto	A Km ²	L m	Pr m	Pa m	Tr m	P %	M N°	M/L N°m ⁻¹	Bf/Tr	USPI	SA m ²
Molini	7	2.78	40	3.5		0.45	12			7.78	57	140
Molini	8	2.75	61	4.2		0.75	31			5.64	119	259
Molini	9	2.66	60	3.7		0.40	9			9.25	40	222
Molini	10	2.64	60	4.0		0.40	19			10.00	77	240
Molini	11	2.62	65	3.0		0.60	19			5.00	103	195
Molini	12	2.31	70	3.7		0.19	27			19.19	111	259
Molini	13	2.30	50	3.4		0.24	25			14.17	112	170
Molini	14	2.29	50	4.6		0.39	17			11.79	55	230
Molini	15	2.18	50	3.4		0.48	18			7.08	80	170
Molini	16	2.18	60	4.8		0.70	11			6.86	34	288
Molini	17	2.15	30	4.0		0.45	11			8.89	40	120
Molini	18	2.14	60	4.3		0.55	11			7.82	37	258
Molini	19	2.08	65	7.0		0.40	16			17.50	33	455
Molini	20	2.01	50	3.2		0.60	12			5.33	53	160
Molini	21	1.99	83	3.3		0.45	8			7.33	34	274
Molini	22	1.95	30	4.6		0.50	19			9.20	58	138
Molini	23	1.94	60	4.5		0.55	10			8.18	31	270
Molini	24	1.92	62	2.2		0.25	12			8.80	76	136
Molini	25	1.78	53	2.2		0.35	20			6.29	121	117
Molini	26	1.77	40	2.6		0.45	20			5.78	102	104
Molini	27	1.76	60	4.4		0.45	23			9.78	69	264
Molini	28	1.67	60	3.3		0.70	23			4.71	90	198
Molini	29	1.66	35	4.2		0.45	15			9.33	46	147
Molini	30	1.24	62	2.7		0.59	19			4.55	79	166
Molini	31	1.24	41	4.3		0.50	19			8.60	49	176
Molini	32	1.19	56	3.6		0.58	19			6.22	57	200
Molini	33	1.09	69	2.7		0.52	23			5.10	91	183
Molini	34	1.08	50	2.3		0.40	15			5.75	68	115
Molini	35	1.06	80	3.4		0.60	14			5.67	42	272
Valbona	1	3.80	80	9.0	12	0.40	15	29	0.4	22.50	32	720
Valbona	2	3.38	64	5.0	11	0.45	17	31	0.5	11.11	63	320
Valbona	3	3.22	70	8.5	16	0.45	31	32	0.5	18.89	65	595
Valbona	4	2.70	70	7.0	22	0.30	30	/		23.33	70	490
Valbona	5	1.93	70	3.5	5	0.30	35	/		11.67	139	245
Ornella	1	6.66	69	6.0	20	0.50	14	27	0.4	12.00	60	414
Ornella	2	6.37	71	5.5	16	0.40	17	36	0.5	13.75	78	391
Ornella	3	5.51	66	4.3	18	0.70	12	19	0.3	6.14	66	284
Ornella	4	4.90	70	4.5	12	0.45	17	35	0.5	10.00	84	315
Ornella	5	3.90	66	3.5	10	0.40	28	57	0.9	8.75	158	231
Ornella	6	3.03	68	3.0	7	0.30	18	21	0.3	10.00	104	204
Cordon	1	7.68	92	5.0		0.75	10			6.67	55	460
Cordon	2	7.66	90	5.6		0.65	7			8.62	32	504
Cordon	3	7.64	56	5.7		0.60	6			9.50	29	319
Cordon	4	7.63	49	5.8		0.65	7			8.92	33	284
Cordon	5	7.62	49	5.8		0.60	7			9.67	33	284
Cordon	6	7.62	78	5.9		0.58	8			10.26	35	460
Cordon	7	7.61	73	5.9		0.60	7			9.78	34	428
Cordon	8	7.54	70	6.0		0.55	5			10.91	21	420
Cordon	9	7.52	68	8.5		0.40	8			21.25	26	578
Cordon	10	7.52	70	5.1		0.60	10			8.50	54	357
Cordon	11	7.50	83	5.2		0.60	11			8.67	58	432
Cordon	12	7.46	48	6.3		0.50	12			12.60	52	302
Cordon	13	7.44	65	5.2		0.65	16			8.00	84	338
Cordon	14	7.38	55	5.7		0.50	12			11.40	57	314
Cordon	15	7.32	67	5.8		0.50	12			11.60	56	389
Cordon	16	7.29	72	5.0		0.70	12			7.14	65	360
Cordon	17	7.25	67	5.6		0.50	11			11.20	53	375
Cordon	18	7.21	88	8.8		0.30	5			29.17	15	770
Cordon	19	7.12	71	5.9		0.42	13			14.16	59	419
Cordon	20	7.08	80	5.4		0.52	14			10.45	67	432
Cordon	21	6.85	83	4.5		0.74	20			6.10	116	374
Cordon	22	6.82	64	5.9		0.45	13			13.11	55	378
Cordon	23	6.77	63	5.9		0.40	14			14.75	60	372
Cordon	24	5.84	60	5.2		0.60	9			8.67	42	312
Cordon	25	5.83	47	5.7		0.50	10			11.40	42	268
Cordon	26	5.83	47	5.0		0.70	13			7.14	63	235
Cordon	27	5.76	48	4.9		0.70	8			7.00	39	235
Cordon	28	5.76	53	4.9		0.70	8			7.00	39	260
Cordon	29	5.75	77	4.8		0.75	10			6.40	47	370

Allegati

Torrente	Tratto	A Km ²	L m	Pr m	Pa m	Tr m	P %	M N°	M/L N°m ⁻¹	Bf/Tr	USPI	SA m ²
Cordon	30	5.71	62	4.8		0.75	10			6.40	50	298
Cordon	31	5.69	50	4.7		0.75	8			6.27	41	235
Cordon	32	5.61	55	4.8		0.75	9			6.40	44	264
Cordon	33	5.58	67	4.2		0.75	11			5.60	62	281
Cordon	34	5.40	42	5.0		0.70	10			7.14	46	210
Cordon	35	5.38	55	5.0		0.70	9			7.14	42	275
Cordon	36	5.36	63	5.0		0.70	12			7.14	56	315
Cordon	37	5.36	56	5.1		0.70	12			7.29	54	286
Cordon	38	5.27	55	3.3		0.85	12			3.88	80	182
Cordon	39	5.20	91	4.6		0.70	9			6.57	45	419
Cordon	40	5.13	95	4.5		0.70	11			6.43	55	428
Cordon	41	5.07	56	3.9		0.75	11			5.20	64	218
Davedino	1	8.69	70	4.9	13	0.65	9	21		7.54	54	343
Davedino	2	8.69	54	5.3	12.7	0.70	7	11		7.57	38	289
Davedino	3	8.68	93	5.8	11	0.70	12	11		8.29	58	541
Davedino	4	8.66	79	6.7	12.4	0.80	15	6		8.38	65	528
Davedino	5	8.64	82	9.5	16.4	0.70	18	15		13.57	56	779
Davedino	6	8.55	142	4.9	11	0.65	10	6		7.54	61	693
Davedino	7	8.49	67	6.0	10	0.90	26	8		6.67	127	400
Davedino	8	8.45	25	8.7	14.6	0.75	14	0		11.60	47	214
Davedino	9	6.26	48	8.7	14.6	0.75	16	8		11.60	45	418
Davedino	10	6.19	95	6.1	16.7	0.70	24	22		8.71	96	582
Davedino	11	6.14	93	8.0	14.4	0.95	22	17		8.42	69	745
Davedino	12	5.99	101	5.6	12.1	0.80	17	23		7.00	75	567
Davedino	13	5.96	74	9.4	17	0.65	16	18		14.46	43	693
Davedino	14	5.91	94	7.7	14.2	0.50	11	13		15.40	36	721
Davedino	15	5.84	92	6.3	11	0.45	9	9		14.00	36	580
Davedino	16	5.79	84	8.1	17.5	0.50	10	10		16.20	28	683
Davedino	17	5.67	106	6.5	20	0.85	11	27		7.65	41	686
Davedino	18	5.59	116	5.9	16.5	0.80	13	17		7.38	51	685
Davedino	19	5.23	68	7.8	18.4	0.75	15	12		10.40	43	527
Davedino	20	5.13	77	8.5	25	0.70	16	6		12.14	42	657
Davedino	21	5.09	72	6.3	21	0.70	13	18		9.00	48	453
Davedino	22	4.93	89	6.3	13.2	0.80	15	19		7.88	52	558
Davedino	23	4.89	85	9.0	13.5	0.40	16	11		22.50	40	769
Davedino	24	4.87	70	5.0	24	0.65	15	14		7.69	67	348
Davedino	25	4.78	84	5.0	19	0.65	11	18		7.69	47	422
Davedino	26	4.58	76	4.5	15	0.65	21	22		6.92	98	343
Davedino	27	4.52	67	5.7	10.1	0.65	32	13		8.77	118	381
Davedino	28	4.47	66	5.5	13.3	0.75	21	17		7.33	81	362
Davedino	29	4.46	55	4.2	8.4	0.85	20	16		4.94	100	231
Davedino	30	4.44	57	8.4	15.7	0.55	28	12		15.27	71	475
Davedino	31	4.20	82	5.8	13.8	0.65	17	11		8.92	59	474
Davedino	32	4.14	43	6.5	16.5	0.55	20	15		11.82	62	282
Davedino	33	4.05	75	5.0	17.3	0.60	18	10		8.33	73	376
Davedino	34	4.02	81	6.0	13.1	0.70	26	28		8.57	88	485
Davedino	35	3.98	55	4.3	14.8	0.60	19	9		7.17	87	238
Davedino	36	3.95	52	5.1	11.4	0.75	20	22		6.80	78	264
Davedino	37	3.66	82	3.8	19.5	0.80	10	11		4.75	50	310
Codalunga	1	13.48	60	7.8	13	0.80	8	25	0.4	9.75	38	468
Codalunga	2	13.47	147	7.5	13	0.70	5	10	0.1	10.71	24	1103
Codalunga	3	13.42	44	7.2	19	0.70	5	13	0.3	10.29	25	317
Codalunga	4	13.41	43	8.0	18	0.60	8	14	0.3	13.33	37	344
Codalunga	5	13.36	45	10.0	16	0.70	6	12	0.3	14.29	22	445
Codalunga	6	13.34	40	6.5	14	0.60	6	6	0.2	10.83	34	260
Codalunga	7	13.33	87	6.0	15	0.70	10	35	0.4	8.57	58	522
Codalunga	8	13.30	78	5.3	26	0.80	8	14	0.2	6.63	55	413
Codalunga	9	13.13	70	6.8	20	0.60	10	20	0.3	11.33	53	476
Codalunga	10	13.14	51	7.0	20	0.70	7	11	0.2	10.00	36	357
Codalunga	11	13.11	123	7.5	13.5	0.70	7	35	0.3	10.71	31	923
Codalunga	12	12.96	59	6.4	13	0.50	5	8	0.1	12.80	25	378
Codalunga	13	12.85	124	8.5	18	0.60	8	46	0.4	14.17	34	1054
Codalunga	14	12.76	59	5.0	13.5	0.75	16	10	0.2	6.67	114	295
Codalunga	15	12.73	121	8.0	15	0.50	10	17	0.1	16.00	45	968
Codalunga	16	12.60	52	5.2	18	0.60	6	5	0.1	8.67	41	270
Codalunga	17	12.58	98	8.5	13.5	1.00	19	19	0.2	8.50	79	833
Codalunga	18	12.56	79	9.0	16	0.55	13	17	0.2	16.36	51	711
Codalunga	19	12.52	77	7.0	16	0.55	5	7	0.1	12.73	25	539
Codalunga	20	12.34	63	5.5	14	0.65	10	12	0.2	8.46	64	347

Torrente	Tratto	A Km ²	L m	Pr m	Pa m	Tr m	P %	M N°	M/L N°m ⁻¹	Bf/Tr	USPI	SA m ²
Codalunga	21	11.59	39	5.0	15	0.65	10	16	0.4	7.69	68	195
Codalunga	22	11.58	66	10.0	21.5	0.45	7	8	0.1	22.22	22	660
Codalunga	23	11.39	90	5.0	11	0.60	7	3	0.0	8.33	47	450
Codalunga	24	11.37	73	7.0	22	0.60	6	6	0.1	11.67	29	511
Codalunga	25	11.31	115	7.0	15	0.70	9	4	0.0	10.00	43	805
Codalunga	26	11.20	90	5.0	10	0.75	8	13	0.1	6.67	54	450
Codalunga	27	10.76	143	10.0	18	0.60	10	19	0.1	16.67	33	1430
Codalunga	28	10.68	56	4.0	20	0.45	11	22	0.4	8.89	90	224
Codalunga	29	10.48	58	5.5	13	0.50	14	9	0.2	11.00	82	319
Codalunga	30	10.43	153	4.5	10	0.50	14	28	0.2	9.00	100	689
Codalunga	31	10.31	85	6.5	14	0.40	10	10	0.1	16.25	49	553
Codalunga	32	9.72	110	5.0	16	0.45	7	9	0.1	11.11	44	550
Codalunga	33	9.22	187	6.0	12	0.45	13	27	0.1	13.33	66	1122
Codalunga	34	9.15	92	9.0	11	0.40	9	6	0.1	22.50	30	828
Codalunga	35	8.30	78	7.0	10	0.40	8	8	0.1	17.50	33	546
Codalunga	36	8.08	82	6.0	9	0.35	22	15	0.2	17.14	104	492
Codalunga	37	8.07	110	6.0	11	0.45	14	20	0.2	13.33	66	660
Codalunga	38	7.99	167	6.0	8	0.35	18	60	0.4	17.14	85	1002
Codalunga	39	5.13	89	6.0	9	0.40	8	20	0.2	15.00	30	534
Codalunga	40	5.10	117	4.5	12	0.35	15	15	0.1	12.86	75	527
Codalunga	41	4.99	160	4.0	8	0.40	9	30	0.2	10.00	50	640
Codalunga	42	4.89	240	3.5	7	0.35	28	45	0.2	10.00	177	840
Codalunga	43	4.28	265	4.0	13	0.35	21	27	0.1	11.43	109	1060
Andraz	1	27.24	100	11.0	24	0.65	11	27	0.3	16.92	52	1100
Andraz	2	26.28	99	9.0	13.5	0.60	7	30	0.3	15.00	40	891
Andraz	3	23.86	100	7.5	14	0.60	14	52	0.5	12.50	91	750
Andraz	4	16.45	100	7.0	11	0.50	18	20	0.2	14.00	104	700
Andraz	5	15.55	99	6.0	24	0.50	15	21	0.2	12.00	99	594
Andraz	6	8.49	100	6.8	15	0.40	16	11	0.1	17.00	69	680
Andraz	7	4.32	105	4.1	11	0.35	12	61	0.6	11.71	61	431
Pettorina	1	51.66	670	6.0		0.48	3			12.50	36	4020
Pettorina	2	49.08	172	10.3		0.60	4			17.15	29	1774
Pettorina	3	49.01	134	10.8		0.50	5			21.60	32	1447
Pettorina	4	48.94	237	8.2		0.65	2			12.62	17	1943
Pettorina	5	48.84	121	10.1		0.62	3			16.29	21	1222
Pettorina	6	48.42	147	10.2		0.80	5			12.71	35	1495
Pettorina	7	48.38	133	9.6		0.55	5			17.45	36	1277
Pettorina	8	47.90	92	7.5		0.30	3			25.00	28	690
Pettorina	9	47.60	69	12.0		0.40	4			30.00	23	829
Pettorina	10	46.12	219	12.1		0.50	3			24.20	17	2650
Pettorina	11	45.98	130	9.0		0.45	7			20.00	53	1170
Pettorina	12	45.77	128	9.2		0.53	5			17.31	38	1183
Pettorina	13	45.76	158	8.2		0.58	8			14.14	66	1296
Pettorina	14	44.94	72	11.8		0.60	3			19.67	17	844
Pettorina	15	44.89	140	7.1		0.73	9			9.73	85	994
Pettorina	16	44.00	115	8.7		0.60	12			14.50	91	1001
Pettorina	17	43.86	135	8.8		0.70	7			12.57	49	1188
Pettorina	18	43.14	87	6.0		0.85	13			7.06	142	520
Pettorina	19	43.14	114	9.0		1.10	15			8.18	109	1022
Pettorina	20	43.08	144	8.0		0.45	3			17.78	25	1152
Pettorina	21	43.04	168	7.0		0.55	5			12.73	47	1176
Pettorina	22	42.44	103	8.8		0.40	3			22.00	22	906
Pettorina	23	42.42	108	11.9		0.35	2			34.00	11	1285
Pettorina	24	42.27	223	9.2		0.50	3			18.40	21	2052
Pettorina	25	42.15	313	8.0		0.65	2			12.31	16	2504
Pettorina	26	39.21	327	9.8		0.35	2			28.00	13	3205
Pettorina	27	37.21	245	8.0		0.55	3			14.55	19	1960
Pettorina	28	36.93	195	9.5		0.60	3			15.83	19	1853
Pettorina	29	32.71	480	8.2		0.60	4			13.67	28	3936
Pettorina	30	31.40	325	5.6		0.90	7			6.22	70	1820
Pettorina	31	30.73	630	5.7		0.60	10			9.50	92	3591
Pettorina	32	26.65	246	4.5		0.73	11			6.16	126	1107
Pettorina	33	26.51	190	7.0		0.55	8			12.73	59	1330
Pettorina	34	26.39	172	4.9		0.45	5			10.89	52	843
Pettorina	35	26.06	118	6.9		0.40	4			17.25	30	814
Pettorina	36	25.96	167	6.3		0.85	2			7.41	16	1052
Pettorina	37	25.59	100	6.2		0.30	2			20.67	16	620
Pettorina	38	25.57	170	4.4		0.40	3			11.00	34	748
Pettorina	39	25.42	166	4.9		0.40	3			12.25	26	813

Allegati

Torrente	Tratto	A Km ²	L m	Pr m	Pa m	Tr m	P %	M N°	M/L N°m ⁻¹	Bf/Tr	USPI	SA m ²
Pettorina	40	15.43	150	5.5		0.55	5			10.00	36	825
Pettorina	41	15.34	55	5.2		0.60	3			8.67	23	286
Pettorina	42	15.32	289	4.6		1.20	20			3.83	170	1329
Pettorina	43	13.90	89	4.7		0.55	6			8.55	48	418
Pettorina	44	13.42	235	4.8		0.46	5			10.39	38	1125
Pettorina	45	13.34	221	5.3		0.43	7			12.33	48	1171
Pettorina	46	13.21	95	6.8		0.65	6			10.46	32	646
Fiorentina	1	36.03	120	18.0		0.60	2			30.00	7	2160
Fiorentina	2	35.48	160	21.8		0.50	4			43.68	10	3494
Fiorentina	3	35.35	180	16.0		0.65	3			24.62	11	2880
Fiorentina	4	35.11	80	18.0		0.60	3			30.00	10	1440
Fiorentina	5	34.90	158	12.0		0.85	3			14.12	15	1896
Fiorentina	6	34.85	147	15.7		0.56	4			27.99	17	2315
Fiorentina	7	34.71	130	16.0		0.55	5			29.09	18	2080
Fiorentina	8	34.30	127	10.0		0.80	5			12.50	29	1270
Fiorentina	9	32.55	90	16.0		0.55	4			29.09	14	1440
Fiorentina	10	32.52	104	12.0		0.70	4			17.14	19	1248
Fiorentina	11	32.49	125	16.0		0.55	7			29.09	25	2000
Fiorentina	12	27.66	134	16.0		0.55	4			29.09	12	2144
Fiorentina	13	27.62	220	15.0		0.55	3			27.27	11	3300
Fiorentina	14	25.30	98	10.0		0.75	3			13.33	15	980
Fiorentina	15	25.27	130	16.0		0.55	3			29.09	9	2080
Fiorentina	16	25.18	110	10.0		0.80	5			12.50	25	1100
Fiorentina	17	24.94	97	10.0		0.70	3			14.29	15	970
Fiorentina	18	24.36	67	10.3		0.70	3			14.71	14	690
Fiorentina	19	24.32	72	10.2		0.75	3			13.60	15	734
Fiorentina	20	24.29	96	11.0		0.50	7			22.00	31	1056
Fiorentina	21	23.93	99	12.0		0.50	10			24.00	41	1188
Fiorentina	22	23.89	111	8.9		0.65	5			13.69	27	988
Fiorentina	23	23.43	83	10.0		0.65	9			15.38	44	830
Fiorentina	24	23.04	113	9.6		0.63	6			15.34	28	1086
Fiorentina	25	22.93	110	10.3		0.60	4			17.17	19	1133
Fiorentina	26	22.74	81	8.5		0.65	4			13.08	22	689
Fiorentina	27	22.43	121	8.4		0.65	3			12.88	17	1013
Fiorentina	28	22.43	111	7.0		0.70	3			10.00	20	777
Fiorentina	29	14.74	71	7.8		0.65	3			12.00	15	554
Fiorentina	30	14.46	119	8.8		0.62	3			14.22	13	1053
Fiorentina	31	14.46	65	11.0		0.55	4			20.00	14	715
Fiorentina	32	14.44	112	11.0		0.55	3			20.00	10	1232
Fiorentina	33	14.25	95	7.5		0.65	5			11.54	25	713
Fiorentina	34	13.28	95	7.8		0.60	6			13.00	28	741
Fiorentina	35	13.26	111	7.1		0.57	6			12.34	31	783
Fiorentina	36	13.25	131	9.0		0.55	6			16.36	24	1179
Fiorentina	37	13.23	60	13.0		0.35	7			37.14	20	780
Fiorentina	38	13.21	75	12.0		0.35	7			34.29	21	900
Fiorentina	39	13.17	61	12.0		0.35	8			34.29	24	732
Fiorentina	40	13.16	131	12.0		0.35	8			34.29	24	1572
Fiorentina	41	13.04	91	9.8		0.40	9			24.41	33	888
Fiorentina	42	12.94	105	7.8		0.48	6			16.25	28	824
Fiorentina	43	12.88	90	7.0		0.50	3			14.00	15	630
Fiorentina	44	12.81	84	7.3		0.45	3			16.22	15	613
Fiorentina	45	12.07	73	7.3		0.45	3			16.22	14	533
Fiorentina	46	11.78	109	7.3		0.45	3			16.22	14	796
Fiorentina	47	11.72	113	7.3		0.45	3			16.22	14	825
Fiorentina	48	10.47	78	7.5		0.45	3			16.67	13	585
Fiorentina	49	10.47	71	7.3		0.45	3			16.22	13	518
Fiorentina	50	10.37	60	6.5		0.50	2			13.00	10	390
Fiorentina	51	10.37	87	7.5		0.45	4			16.67	17	653
Alto Cordevole	1	69.20	141	8.0	23	0.50	3	9	0.1	16.00	29	1129
Alto Cordevole	2	68.54	113	12.9	19.5	0.95	1	5	0.0	13.58	5	1459
Alto Cordevole	3	68.50	149	8.1	22	0.90	2	11	0.1	9.00	16	1204
Alto Cordevole	4	68.39	127	11.0	30	1.15	3	22	0.2	9.57	19	1392
Alto Cordevole	5	68.27	157	9.0	11	0.60	1	21	0.1	15.00	11	1417
Alto Cordevole	6	68.06	148	8.0	12	0.70	2	12	0.1	11.43	18	1186
Alto Cordevole	7	67.77	123	7.5	11	0.70	2	28	0.2	10.71	22	922
Alto Cordevole	8	67.50	125	9.8	15	0.65	3	29	0.2	15.08	24	1221
Alto Cordevole	9	67.19	139	11.0	30	1.15	3	34	0.2	9.57	25	1533
Alto Cordevole	10	65.95	117	8.4	21.1	0.60	3	19	0.2	14.00	29	987
Alto Cordevole	11	65.93	115	15.0	25	0.50	4	13	0.1	30.00	21	1725

Torrente	Tratto	A Km ²	L m	Pr m	Pa m	Tr m	P %	M N°	M/L N°m ⁻¹	Bf/Tr	USPI	SA m ²
Alto Cordevole	12	57.16	92	9.6	19.7	0.50	2	13	0.1	19.20	19	886
Alto Cordevole	13	57.10	84	8.4	27	0.75	3	12	0.1	11.20	28	702
Alto Cordevole	14	57.04	85	9.4	38	0.40	1	8	0.1	23.50	7	796
Alto Cordevole	15	56.99	81	7.3	17.1	0.20	2	6	0.1	36.50	17	593
Alto Cordevole	16	56.80	92	8.5	13	0.40	2	5	0.1	21.25	19	782
Alto Cordevole	17	56.72	74	10.5	17.8	0.33	2	6	0.1	31.82	11	777
Alto Cordevole	18	56.70	64	8.7	13.4	0.30	1	4	0.1	29.00	13	553
Alto Cordevole	19	56.59	74	8.5	36.5	0.43	2	19	0.3	19.77	20	630
Alto Cordevole	20	56.42	71	8.8	18.8	0.85	2	35	0.5	10.35	18	621
Alto Cordevole	21	56.37	61	7.8	23.9	0.58	2	30	0.5	13.45	18	479
Alto Cordevole	22	56.32	87	7.8	47.2	0.57	2	35	0.4	13.68	17	680
Alto Cordevole	23	56.21	79	6.8	14.8	0.48	2	25	0.3	14.06	22	536
Alto Cordevole	24	56.03	60	7.9	16.2	0.84	4	25	0.4	9.40	35	478
Alto Cordevole	25	55.82	69	9.3	18.4	0.42	2	42	0.6	22.14	18	646
Alto Cordevole	26	55.71	81	6.3	22.1	0.53	4	38	0.5	11.89	49	511
Alto Cordevole	27	54.71	80	9.2	24.1	0.44	5	31	0.4	20.80	41	728
Alto Cordevole	28	56.61	65	7.0	26	0.75	6	24	0.4	9.33	59	455
Alto Cordevole	29	54.59	73	8.7	38.9	0.57	3	36	0.5	15.26	22	632
Alto Cordevole	30	54.49	111	6.9	25.1	0.45	3	64	0.6	15.33	27	763
Alto Cordevole	31	54.35	98	8.2	23.5	0.50	2	54	0.5	16.40	22	806
Alto Cordevole	32	54.31	70	6.8	18	0.55	2	36	0.5	12.36	26	476
Alto Cordevole	33	54.26	103	6.6	25.3	0.86	6	48	0.5	7.67	67	680
Alto Cordevole	34	54.11	105	6.4	19.7	0.78	4	18	0.2	8.21	47	669

Allegato 2

Caratteri qualitativi del legname in alveo.

A seguire sono riportati alcune caratteristiche qualitative del legname rinvenuto all'interno dei torrenti monitorati. Alcuni dati non sono disponibili per tutti i torrenti. Tc = numero di tronchi; Cp = numero di ceppaie; De = materiale all'interno dell'alveo a piene rive (m³); Fl = elementi fluitati (m³); Acc = legname aggregato (m³); Fr = materiale derivato per frana (m³); Sp = legname immesso in alveo in seguito ad erosioni spondali (m³); Ve = legname con degradazione avanzata (m³).

Torrente	Tratto	Tc n°	Cp n°	De m ³	Fl m ³	Acc m ³	Fr m ³	Sp m ³	Ve m ³
Bianco	1	0	0	0.00	0	0	0	0	0
Bianco	2	12	2	0.36	0.17	0.06	0.00	0.07	0.31
Bianco	3	21	2	0.60	0.75	0.05	0.00	0.01	0.75
Bianco	4	27	7	4.31	0.86	2.10	0.12	0.00	8.01
Bianco	5	6	0	0.04	0.06	0.00	0.00	0.00	0.06
-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
Miniere	1	49	8	0.63	0.19	0.65	0.00	0.18	0.36
Miniere	2	44	6	0.68	0.62	0.32	0.00	0.24	0.96
Miniere	3	66	11	3.47	1.41	2.51	0.00	0.00	4.66
-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
Code	1	43	18	1.15		0.66	0.00	0.00	1.21
Code	2	52	23	0.39		1.58	0.00	0.00	1.77
Code	3	39	11	1.02		5.12	0.00	0.00	5.60
Code	4	46	14	1.24		1.49	0.00	0.00	2.34
Code	5	47	4	0.75		0.50	0.00	0.00	0.68
Code	6	38	7	0.89		0.13	0.00	0.00	1.02
Code	7	48	2	1.91		0.64	0.00	0.00	3.43
Code	8	49	9	1.82		1.99	0.00	0.00	4.33
Code	9	24	5	0.93		0.81	0.00	0.00	1.38
Code	10	10	4	0.24		0.02	0.00	0.00	0.24
Code	11	42	7	0.82		0.24	0.00	0.00	0.69
Code	12	32	4	1.03		0.00	0.00	0.00	1.04
Code	13	0	0	0.00		0.00	0.00	0.00	0.00
Code	14	3	0	0.00		0.00	0.00	0.00	0.15
Code	15	0	0	0.00		0.00	0.00	0.00	0.00
Code	16	24	13	1.05		0.40	0.00	0.00	1.26
Code	17	82	14	3.39		1.63	0.00	0.00	7.79
Code	18	7	0	0.03		0.00	0.00	0.00	0.03
Code	19	18	5	0.75		0.00	0.00	0.00	1.13
Code	20	22	5	0.68		0.16	0.00	0.00	1.69
Code	21	39	7	0.17		0.12	0.00	0.00	0.64
Code	22	11	0	0.03		0.18	0.00	0.00	0.02
Code	23	14	0	0.06		0.03	0.00	0.00	0.27
Code	24	11	0	0.36		0.01	0.00	0.00	0.75
-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
Molini	1	13	2	0.35	0.37	0.00	0.00	0.00	0.12
Molini	2	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Molini	3	19	3	0.09	0.05	0.00	0.00	2.02	0.03
Molini	4	30	4	0.15	0.25	0.00	0.00	0.15	0.08
Molini	5	40	1	0.02	0.71	0.00	0.00	0.15	0.24
Molini	6	32	5	0.19	0.20	0.00	0.00	0.08	0.17
Molini	7	8	1	0.96	0.20	0.00	0.00	0.97	0.00
Molini	8	36	1	1.91	0.32	0.00	0.00	2.30	0.04
Molini	9	13	2	1.05	1.08	0.00	0.00	0.00	0.00
Molini	10	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Molini	11	17	3	0.18	0.30	0.00	0.00	0.07	0.14
Molini	12	13	0	0.33	0.20	0.00	0.00	0.06	0.00
Molini	13	6	1	0.10	0.08	0.00	0.00	0.01	0.02
Molini	14	5	6	3.75	0.23	0.00	0.00	3.50	0.01
Molini	15	10	1	1.14	0.15	0.00	0.00	1.19	0.08
Molini	16	18	2	0.96	0.96	0.00	0.00	0.20	0.88

Torrente	Tratto	Tc n°	Cp n°	De m³	Fl m³	Acc m³	Fr m³	Sp m³	Ve m³
Molini	17	14	2	1.45	0.18	0.00	0.00	1.06	0.04
Molini	18	11	0	0.42	0.26	0.00	0.00	0.21	0.00
Molini	19	21	2	0.83	0.92	0.00	0.00	0.06	0.37
Molini	20	6	0	0.09	0.12	0.00	0.00	0.00	0.00
Molini	21	17	0	0.13	0.30	0.00	0.00	0.60	0.03
Molini	22	7	0	0.09	0.09	0.00	0.00	0.01	0.00
Molini	23	28	0	0.22	0.27	0.00	0.00	0.42	0.00
Molini	24	25	1	0.28	0.37	0.00	0.00	1.42	0.00
Molini	25	17	1	0.29	0.61	0.00	0.00	0.06	0.00
Molini	26	31	0	1.82	0.42	0.00	0.00	6.08	0.53
Molini	27	29	0	0.61	0.27	0.00	0.00	1.01	0.12
Molini	28	31	1	0.87	0.97	0.00	0.00	0.26	0.61
Molini	29	15	0	0.55	0.54	0.00	0.00	0.23	0.41
Molini	30	16	0	0.44	0.05	0.00	0.00	0.57	0.11
Molini	31	19	1	0.17	0.56	0.00	0.00	0.48	0.20
Molini	32	8	0	0.29	0.30	0.00	0.00	0.01	0.00
Molini	33	24	0	1.20	0.23	0.00	0.00	1.37	0.96
Molini	34	12	0	0.23	0.25	0.00	0.00	0.03	0.11
Molini	35	18	1	0.09	0.21	0.00	0.00	0.09	0.18
Valbona	1	1	0	0.02	0.02	0.00	0.00	0.00	0.02
Valbona	2	4	2	0.12	0.05	0.00	0.00	0.01	0.18
Valbona	3	29	8	2.09	1.31	2.43	0.04	1.69	0.96
Valbona	4	10	0	0.20	0.19	0.08	0.00	0.00	0.19
Valbona	5	6	0	0.00	0.03	0.00	0.00	0.01	0.02
Ornella	1	23	6	0.51	0.29	0.52	0.00	0.28	0.09
Ornella	2	4	2	0.00	0.01	0.00	0.00	0.06	0.01
Ornella	3	22	8	1.43	1.20	1.36	0.02	0.16	1.39
Ornella	4	14	11	0.10	0.10	0.06	0.00	0.09	0.16
Ornella	5	16	5	1.89	0.36	0.04	0.08	1.11	0.28
Ornella	6	6	2	0.14	0.11	0.09	0.00	0.02	0.10
Cordon	1	14	3	0.27		0.09	0.00	0.00	0.29
Cordon	2	3	0	0.00		0.00	0.00	0.00	0.03
Cordon	3	6	2	0.22		0.18	0.00	0.00	0.33
Cordon	4	5	1	0.08		0.08	0.00	0.00	0.09
Cordon	5	3	3	0.02		0.00	0.00	0.00	0.04
Cordon	6	12	3	0.14		0.05	0.00	0.00	0.24
Cordon	7	25	6	1.00		0.45	0.00	0.00	1.13
Cordon	8	7	1	0.40		0.00	0.00	0.00	0.40
Cordon	9	5	0	0.09		0.00	0.00	0.00	0.76
Cordon	10	3	2	0.04		0.00	0.00	0.00	0.03
Cordon	11	1	0	0.01		0.00	0.00	0.00	0.01
Cordon	12	11	2	1.05		0.00	0.00	0.00	1.05
Cordon	13	5	0	0.29		0.12	0.00	0.00	0.29
Cordon	14	22	2	1.00		0.01	0.00	0.00	0.23
Cordon	15	17	1	1.07		0.72	0.00	0.00	1.39
Cordon	16	32	4	1.76		0.00	0.00	0.00	1.70
Cordon	17	9	2	0.17		0.00	0.00	0.00	0.17
Cordon	18	5	0	0.07		0.13	0.00	0.00	0.23
Cordon	19	61	12	1.54		0.00	0.00	0.00	5.01
Cordon	20	25	4	0.17		0.15	0.00	0.00	0.62
Cordon	21	33	0	0.98		0.19	0.00	0.00	7.40
Cordon	22	14	2	0.65		1.19	0.00	0.00	0.97
Cordon	23	44	16	0.17		0.00	0.00	0.00	3.92
Cordon	24	3	0	0.07		0.43	0.00	0.00	0.52
Cordon	25	13	4	1.29		0.00	0.00	0.00	0.54
Cordon	26	4	0	0.17		0.00	0.00	0.00	0.96
Cordon	27	3	1	0.01		0.04	0.00	0.00	0.11
Cordon	28	5	3	0.21		0.00	0.00	0.00	0.25
Cordon	29	13	0	0.00		0.00	0.00	0.00	0.32
Cordon	30	3	0	0.06		0.00	0.00	0.00	0.19
Cordon	31	6	0	0.00		0.00	0.00	0.00	0.06
Cordon	32	8	1	0.39		0.17	0.00	0.00	0.41
Cordon	33	9	0	0.05		0.00	0.00	0.00	0.18
Cordon	34	3	0	0.13		0.00	0.00	0.00	0.21
Cordon	35	7	0	0.11		0.00	0.00	0.00	0.56
Cordon	36	14	1	0.32		0.90	0.00	0.00	1.25
Cordon	37	15	4	0.61		0.97	0.00	0.00	0.52
Cordon	38	42	12	0.49		1.08	0.00	0.00	3.55
Cordon	39	8	4	0.32		0.11	0.00	0.00	0.67

Allegati

Torrente	Tratto	Tc n°	Cp n°	De m ³	FI m ³	Acc m ³	Fr m ³	Sp m ³	Ve m ³
Cordon	40	24	8	0.08		0.00	0.00	0.00	0.12
Cordon	41	10	2	0.33		0.28	0.00	0.00	0.61
Davedino	1		0	0.11	0.27	0.14	0.02	0.12	0.30
Davedino	2		2	0.11	0.11	0.00	0.34	0.00	0.06
Davedino	3		18	3.05	1.84	0.87	0.23	0.01	4.09
Davedino	4		13	4.00	2.99	3.76	0.19	0.03	6.25
Davedino	5		6	1.86	1.85	1.40	0.12	0.00	2.06
Davedino	6		8	1.66	0.42	0.82	0.29	0.00	2.18
Davedino	7		5	3.16	0.20	2.01	0.28	0.00	2.05
Davedino	8		0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Davedino	9		11	2.10	2.37	2.21	0.01	0.08	2.96
Davedino	10		14	3.34	3.84	1.08	0.09	0.00	3.36
Davedino	11		29	5.03	3.31	5.42	0.22	0.23	6.05
Davedino	12		55	23.36	6.08	25.55	0.20	7.73	20.12
Davedino	13		43	10.70	4.52	4.25	0.01	7.94	13.20
Davedino	14		43	9.48	2.66	3.47	0.14	3.48	6.81
Davedino	15		23	7.26	1.15	3.70	0.14	4.08	4.57
Davedino	16		25	7.63	2.12	6.09	0.22	1.45	5.14
Davedino	17		17	3.85	4.67	0.54	0.02	0.61	5.52
Davedino	18		19	5.18	1.97	2.61	0.01	3.48	2.87
Davedino	19		13	0.77	0.71	0.50	0.00	0.45	0.92
Davedino	20		35	7.11	5.25	3.14	0.05	1.48	7.84
Davedino	21		16	3.66	1.39	0.00	0.04	2.27	2.40
Davedino	22		12	1.81	1.98	1.47	0.01	0.96	2.88
Davedino	23		36	5.94	5.83	2.77	0.01	1.22	7.69
Davedino	24		19	3.19	3.22	0.51	0.00	0.12	3.09
Davedino	25		33	10.60	8.64	7.38	0.00	2.78	12.18
Davedino	26		29	4.68	2.26	1.65	0.03	0.71	7.54
Davedino	27		19	3.09	2.87	1.48	0.03	0.00	2.74
Davedino	28		12	2.13	2.28	0.00	0.00	0.00	3.62
Davedino	29		7	0.97	1.18	0.00	0.09	0.12	1.71
Davedino	30		8	1.00	1.27	0.00	0.00	0.09	1.54
Davedino	31		8	1.68	0.35	0.00	0.27	0.00	2.10
Davedino	32		9	0.82	0.82	0.30	0.03	0.00	0.89
Davedino	33		21	0.94	0.76	0.52	0.00	0.17	1.38
Davedino	34		3	0.73	0.61	0.00	0.04	0.14	0.76
Davedino	35		1	0.49	0.56	0.10	0.09	0.00	0.44
Davedino	36		6	0.71	0.21	0.07	0.00	0.26	0.86
Davedino	37		2	0.53	0.47	0.00	0.00	0.00	0.60
Codalunga	1	9	1	3.62	3.35	0.00	0.00	0.33	0.00
Codalunga	2	36	6	2.39	3.61	0.00	0.00	0.04	0.42
Codalunga	3	9	1	0.15	0.18	0.00	0.00	0.78	0.17
Codalunga	4	31	1	1.98	0.86	0.00	0.00	1.36	0.05
Codalunga	5	50	1	1.75	0.06	0.00	0.00	1.92	0.11
Codalunga	6	46	1	2.86	0.65	0.00	0.00	2.36	0.16
Codalunga	7	29	2	9.84	0.39	0.00	0.00	9.83	0.54
Codalunga	8	24	2	1.14	0.24	0.00	0.00	1.07	0.38
Codalunga	9	15	0	0.39	0.03	0.00	0.00	0.37	0.22
Codalunga	10	19	0	0.08	0.01	0.00	0.00	0.18	0.01
Codalunga	11	37	1	0.86	0.43	0.00	0.00	0.81	0.54
Codalunga	12	47	0	0.22	0.03	0.00	0.00	0.91	0.17
Codalunga	13	27	0	0.63	0.37	0.00	0.00	0.54	0.30
Codalunga	14	6	1	0.43	0.16	0.00	0.00	0.33	0.22
Codalunga	15	22	1	0.33	0.30	0.00	0.00	0.09	0.23
Codalunga	16	14	1	0.06	0.12	0.00	0.00	0.00	0.11
Codalunga	17	34	2	0.53	0.31	0.00	0.00	0.33	0.26
Codalunga	18	3	0	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01
Codalunga	19	7	1	0.03	0.07	0.00	0.00	0.09	0.09
Codalunga	20	2	0	0.01	0.01	0.00	0.00	0.02	0.01
Codalunga	21	2	1	0.05	0.01	0.00	0.00	0.04	0.01
Codalunga	22	14	1	0.06	0.23	0.00	0.00	0.00	0.23
Codalunga	23	7	1	0.15	0.21	0.00	0.00	0.15	0.36
Codalunga	24	2	3	0.00	0.23	0.00	0.00	0.00	0.23
Codalunga	25	12	0	0.48	0.48	0.00	0.00	0.01	0.48
Codalunga	26	13	2	0.03	0.06	0.00	0.00	0.21	0.17
Codalunga	27	11	5	0.36	1.16	0.00	0.00	0.00	1.12
Codalunga	28	5	0	0.33	0.34	0.00	0.00	0.00	0.34
Codalunga	29	10	1	0.31	0.40	0.00	0.00	0.00	0.40
Codalunga	30	16	1	0.70	1.34	0.00	0.00	0.00	1.34

Torrente	Tratto	Tc n°	Cp n°	De m³	Fl m³	Acc m³	Fr m³	Sp m³	Ve m³
Codalunga	31	2	0	0.03	0.04	0.00	0.00	0.00	0.04
Codalunga	32	11	0	0.09	0.13	0.00	0.00	0.00	0.13
Codalunga	33	15	0	0.16	0.16	0.00	0.00	0.03	0.16
Codalunga	34	5	1	0.07	0.05	0.00	0.00	0.02	0.05
Codalunga	35	3	0	0.01	0.02	0.00	0.00	0.00	0.02
Codalunga	36	3	1	0.61	0.61	0.00	0.00	0.00	0.61
Codalunga	37	4	2	0.09	0.93	0.00	0.00	0.01	0.93
Codalunga	38	8	1	0.29	0.15	0.00	0.00	0.14	0.29
Codalunga	39	7	2	0.35	0.32	0.00	0.00	0.33	0.65
Codalunga	40	7	1	0.06	0.52	0.00	0.00	0.00	0.52
Codalunga	41	11	2	0.73	0.86	0.00	0.00	0.00	0.86
Codalunga	42	12	1	0.64	0.55	0.00	0.00	0.14	0.69
Codalunga	43	3	1	0.27	0.26	0.00	0.00	0.02	0.26
Andraz	1	20	7	1.19	0.61	0.46	0.00	0.61	0.38
Andraz	2	12	5	1.21	1.21	0.55	0.00	0.00	0.62
Andraz	3	28	20	24.94	0.89	24.55	0.34	0.11	0.74
Andraz	4	8	2	3.63	0.32	2.15	0.00	2.92	0.56
Andraz	5	16	4	0.67	0.03	0.35	0.00	0.68	0.16
Andraz	6	17	9	4.27	0.36	4.33	0.12	2.58	2.15
Andraz	7	9	2	0.48	0.17	0.30	0.00	0.30	0.34
Pettorina	1	149	15	0.39					0.49
Pettorina	2	50	1	0.22					0.07
Pettorina	3	41	1	0.09					0.06
Pettorina	4	37	1	1.00					0.14
Pettorina	5	15	1	0.06					0.05
Pettorina	6	69	6	1.77					2.06
Pettorina	7	34	2	0.28					0.04
Pettorina	8	36	2	2.29					0.07
Pettorina	9	29	4	1.19					0.79
Pettorina	10	72	5	0.85					0.45
Pettorina	11	32	1	0.10					0.06
Pettorina	12	55	2	0.65					0.37
Pettorina	13	43	0	0.30					0.45
Pettorina	14	26	2	0.16					0.21
Pettorina	15	43	3	0.56					0.33
Pettorina	16	18	0	0.10					0.05
Pettorina	17	24	1	0.39					0.18
Pettorina	18	10	0	0.18					0.18
Pettorina	19	13	2	0.14					0.02
Pettorina	20	12	0	0.03					0.02
Pettorina	21	50	3	0.08					0.30
Pettorina	22	97	10	1.09					0.53
Pettorina	23	21	3	0.09					0.06
Pettorina	24	36	2	0.14					0.09
Pettorina	25	29	1	0.33					0.19
Pettorina	26	17	0	0.04					0.03
Pettorina	27	14	0	0.10					0.07
Pettorina	28	0	0	0.00					0.00
Pettorina	29	2	0	0.22					0.22
Pettorina	30	7	2	0.17					0.22
Pettorina	31	36	2	0.38					0.26
Pettorina	32	19	0	0.19					0.04
Pettorina	33	10	0	0.02					0.03
Pettorina	34	2	0	0.01					0.00
Pettorina	35	35	2	0.48					0.29
Pettorina	36	1	0	0.00					0.00
Pettorina	37	3	0	0.03					0.00
Pettorina	38	7	1	0.08					0.03
Pettorina	39	5	2	0.07					0.00
Pettorina	40	9	0	0.00					0.00
Pettorina	41	0	0	0.00					0.00
Pettorina	42	21	0	0.26					0.15
Pettorina	43	7	0	0.31					0.29
Pettorina	44	7	0	0.02					0.01
Pettorina	45	3	0	0.04					0.01
Pettorina	46	9	0	0.07					0.06
Fiorentina	1	9	1	0.19		0.09	0.00	0.00	0.19
Fiorentina	2	121	6	2.24		0.52	0.00	0.00	2.24
Fiorentina	3	37	4	0.56		0.15	0.00	0.00	0.62

Allegati

Torrente	Tratto	Tc n°	Cp n°	De m ³	FI m ³	Acc m ³	Fr m ³	Sp m ³	Ve m ³
Fiorentina	4	40	4	1.11		0.41	0.00	0.00	1.11
Fiorentina	5	109	4	3.71		2.24	0.00	0.00	3.74
Fiorentina	6	91	9	2.22		0.89	0.00	0.00	2.23
Fiorentina	7	26	2	1.25		0.75	0.00	0.00	1.25
Fiorentina	8	66	3	1.62		0.57	0.00	0.00	1.80
Fiorentina	9	86	8	2.30		1.03	0.00	0.00	2.30
Fiorentina	10	58	3	2.33		2.10	0.00	0.00	2.47
Fiorentina	11	115	15	7.32		5.20	0.00	0.00	7.34
Fiorentina	12	65	11	3.12		0.62	0.00	0.00	4.64
Fiorentina	13	42	11	3.50		0.54	0.00	0.00	3.25
Fiorentina	14	20	1	2.33		0.00	0.00	0.00	2.33
Fiorentina	15	61	11	4.70		3.12	0.00	0.00	2.97
Fiorentina	16	23	12	1.99		0.33	0.00	0.00	1.77
Fiorentina	17	7	0	0.21		0.03	0.00	0.00	0.21
Fiorentina	18	18	1	0.84		0.34	0.00	0.00	1.50
Fiorentina	19	8	1	0.51		0.00	0.00	0.00	0.51
Fiorentina	20	53	4	8.53		17.20	0.00	0.00	19.89
Fiorentina	21	21	8	5.18		4.66	0.00	0.00	5.27
Fiorentina	22	20	5	1.55		0.07	0.00	0.00	1.59
Fiorentina	23	13	6	0.89		0.00	0.00	0.00	1.07
Fiorentina	24	17	2	0.58		0.13	0.00	0.00	0.76
Fiorentina	25	9	3	0.21		0.00	0.00	0.00	0.21
Fiorentina	26	12	5	0.31		0.00	0.00	0.00	0.25
Fiorentina	27	9	3	0.16		0.00	0.00	0.00	0.13
Fiorentina	28	1	0	0.00		0.00	0.00	0.00	0.00
Fiorentina	29	3	0	0.03		0.00	0.00	0.00	0.03
Fiorentina	30	10	4	0.29		0.00	0.00	0.00	0.29
Fiorentina	31	8	0	0.22		0.00	0.00	0.00	0.08
Fiorentina	32	6	0	0.08		0.00	0.00	0.00	0.08
Fiorentina	33	8	0	0.06		0.01	0.00	0.00	0.16
Fiorentina	34	26	5	0.87		0.33	0.00	0.00	0.72
Fiorentina	35	44	6	1.35		0.62	0.00	0.00	1.84
Fiorentina	36	16	2	0.41		0.26	0.00	0.00	0.41
Fiorentina	37	4	1	0.08		0.00	0.00	0.00	0.08
Fiorentina	38	15	0	0.54		0.00	0.00	0.00	0.56
Fiorentina	39	9	1	0.23		0.00	0.00	0.00	1.18
Fiorentina	40	37	7	2.42		1.36	0.00	0.00	4.45
Fiorentina	41	41	4	1.71		5.60	0.00	0.00	4.04
Fiorentina	42	23	3	2.13		0.00	0.00	0.00	2.23
Fiorentina	43	3	1	0.27		0.00	0.00	0.00	0.31
Fiorentina	44	2	0	0.01		0.00	0.00	0.00	0.01
Fiorentina	45	1	0	0.00		0.00	0.00	0.00	0.00
Fiorentina	46	3	0	0.00		0.00	0.00	0.00	0.00
Fiorentina	47	3	0	0.00		0.00	0.00	0.00	0.00
Fiorentina	48	5	0	0.01		0.00	0.00	0.00	0.07
Fiorentina	49	6	1	0.06		0.00	0.00	0.00	0.05
Fiorentina	50	3	0	0.18		0.00	0.00	0.00	0.18
Fiorentina	51	5	0	0.12		0.00	0.00	0.00	0.11
Alto Cordevole	1	3	0	0.01	0.02	0.00	0.00	0.00	0.01
Alto Cordevole	2	21	0	0.38	0.17	0.01	0.00	0.00	0.16
Alto Cordevole	3	21	3	0.53	0.59	0.02	0.00	0.00	0.20
Alto Cordevole	4	44	9	9.89	1.46	17.76	0.18	0.10	7.75
Alto Cordevole	5	4	0	0.05	0.02	0.00	0.00	0.07	0.09
Alto Cordevole	6	2	0	0.19	0.19	0.00	0.00	0.04	0.19
Alto Cordevole	7		0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Alto Cordevole	8	59	18	1.04	0.91	0.70	0.03	0.02	1.31
Alto Cordevole	9	60	11	1.38	1.98	1.64	0.00	0.09	2.07
Alto Cordevole	10	30	6	0.58	0.60	0.42	0.13	0.00	1.50
Alto Cordevole	11	68	21	1.04	2.54	1.98	0.00	0.02	2.12
Alto Cordevole	12	5	0	0.16	0.11	0.00	0.00	0.02	0.02
Alto Cordevole	13	3	0	0.07	0.06	0.07	0.00	0.01	0.01
Alto Cordevole	14	14	0	0.15	0.01	0.00	0.00	0.14	0.07
Alto Cordevole	15	3	1	0.11	0.00	0.12	0.00	0.00	0.00
Alto Cordevole	16	64	12	1.53	0.62	1.26	0.15	0.00	2.07
Alto Cordevole	17	7	3	0.66	0.66	0.00	0.00	0.01	0.65
Alto Cordevole	18	4	1	0.12	0.13	0.00	0.00	0.00	0.02
Alto Cordevole	19	8	0	0.06	0.02	0.00	0.00	0.00	0.12
Alto Cordevole	20	3	1	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.02
Alto Cordevole	21	6	0	1.67	0.02	0.00	0.00	0.00	0.12

Torrente	Tratto	Tc n°	Cp n°	De m³	Fl m³	Acc m³	Fr m³	Sp m³	Ve m³
Alto Cordevole	22	19	3	0.06	0.53	0.98	0.00	0.00	0.57
Alto Cordevole	23	6	2	0.78	0.01	0.78	0.00	0.04	0.82
Alto Cordevole	24	1	1	0.03	0.03	0.00	0.00	0.00	0.03
Alto Cordevole	25	3	1	0.01	0.01	0.00	0.00	0.12	0.12
Alto Cordevole	26	34	12	0.77	1.08	0.66	0.00	0.16	2.42
Alto Cordevole	27	39	4	0.72	0.68	0.39	0.00	0.00	0.74
Alto Cordevole	28	45	15	2.65	3.38	2.70	0.00	0.10	3.83
Alto Cordevole	29	16	3	0.22	0.56	0.12	0.00	0.00	0.50
Alto Cordevole	30	15	3	0.11	0.28	0.16	0.00	0.01	0.28
Alto Cordevole	31	22	6	0.53	0.37	0.51	0.00	0.00	0.37
Alto Cordevole	32	3	3	0.00	0.04	0.00	0.00	0.00	0.02
Alto Cordevole	33	14	17	0.82	0.88	0.12	0.00	0.00	1.57
Alto Cordevole	34	32	4	0.59	0.90	0.44	0.00	0.07	1.13

Allegato 3

Quantità e dimensioni del legname in alveo.

Nella tabella riportata in seguito si riportano le quantità di legname rinvenuto all'interno dell'alveo e le dimensioni caratteristiche medie per ogni tratto analizzato. LW = numero di elementi; VLW = volume totale del legname (m³); V/SA = volume in rapporto alle dimensioni dell'alveo (m³ha⁻¹); N/SA = numerosità in rapporto alle dimensioni dell'alveo (n°ha⁻¹); D₅₀ = diametro medio dei tronchi (m); D₈₄ = diametro 84-esimo quantile dei tronchi (m); L₅₀ = lunghezza mediana dei tronchi (m); L₈₄ = lunghezza 84-esimo quantile dei tronchi (m); Tr = tirante (m); Pr = larghezza alveo di piene rive (m).

Torrente	Tratto	LW n°	VLW m ³	V/SA m ³ ha ⁻¹	N/SA n°ha ⁻¹	D ₅₀ m	D ₈₄ m	L ₅₀ m	L ₈₄ m	D ₅₀ /Tr	D ₈₄ /Tr	L ₅₀ /Pr	L ₈₄ /Pr
Bianco	1	0	0	0	0								
Bianco	2	14	0.4	15	580	0.12	0.25	1.1	3.1	0.2	0.5	0.3	0.9
Bianco	3	23	0.8	26	763	0.08	0.17	1.2	3.7	0.2	0.3	0.3	0.8
Bianco	4	34	8.0	388	1643	0.12	0.23	1.2	3.7	0.3	0.5	0.4	1.2
Bianco	5	6	0.1	5	286	0.27	0.56	2.0	7.3	0.7	1.4	0.7	2.4

Miniere	1	57	0.9	33	2036	0.08	0.12	0.6	3.5	0.2	0.2	0.2	0.9
Miniere	2	50	1.1	54	2381	0.11	0.20	0.7	2.7	0.3	0.5	0.2	0.9
Miniere	3	77	4.8	196	3143	0.14	0.25	0.6	4.0	0.3	0.6	0.2	1.1

Code	1	46	1.7	38	1025	0.10	0.26	0.8	3.1	0.2	0.5	0.1	0.4
Code	2	54	2.4	65	1487	0.12	0.20	0.8	3.9	0.2	0.4	0.1	0.6
Code	3	45	5.8	133	1032	0.14	0.28	0.9	3.9	0.2	0.4	0.2	0.7
Code	4	50	3.8	141	1846	0.09	0.12	0.6	3.2	0.2	0.3	0.1	0.6
Code	5	48	1.3	75	2703	0.11	0.16	1.3	4.8	0.3	0.5	0.3	1.0
Code	6	42	1.1	35	1307	0.12	0.22	1.2	6.2	0.3	0.6	0.2	1.2
Code	7	49	3.7	106	1417	0.11	0.23	0.7	3.5	0.2	0.4	0.1	0.7
Code	8	56	4.5	140	1735	0.10	0.22	0.8	2.5	0.3	0.6	0.2	0.6
Code	9	29	1.4	66	1394	0.08	0.28	0.5	2.0	0.2	0.9	0.1	0.4
Code	10	14	0.2	7	436	0.17	0.26	0.4	1.9	0.5	0.9	0.1	0.4
Code	11	49	0.8	18	1101	0.12	0.20	0.9	4.9	0.3	0.5	0.2	1.0
Code	12	36	1.2	26	796	0.11	0.24	1.1	6.0	0.3	0.6	0.2	1.2
Code	13	0	0.0	0	0					0.0	0.0	0.0	0.0
Code	14	3	0.1	5	108	0.06	0.07	1.6	2.6	0.1	0.1	0.5	0.7
Code	15	0	0.0	0	0					0.0	0.0	0.0	0.0
Code	16	25	8.9	395	1107	0.09	0.30	1.1	3.4	0.2	0.8	0.2	0.7
Code	17	90	7.8	139	1604	0.08	0.21	1.0	3.2	0.2	0.5	0.2	0.6
Code	18	7	0.0	1	289	0.07	0.08	1.2	3.3	0.1	0.1	0.3	0.8
Code	19	19	1.9	76	765	0.07	0.10	1.2	4.1	0.1	0.2	0.3	1.1
Code	20	24	4.3	98	544	0.07	0.13	1.5	8.0	0.2	0.4	0.2	1.3
Code	21	44	1.8	62	1494	0.07	0.12	3.5	9.1	0.2	0.3	0.7	1.9
Code	22	11	0.2	12	572	0.08	0.16	3.8	10.7	0.2	0.3	1.0	2.9
Code	23	14	0.3	17	784	0.23	0.29	7.9	20.0	0.5	0.6	2.1	5.3
Code	24	11	0.8	42	613	0.19	0.25	6.0	11.9	0.5	0.7	2.0	3.9

Molini	1	15	0.4	11	416	0.08	0.13	0.5	2.0	0.2	0.4	0.1	0.5
Molini	2	0	0.0	0	0					0.0	0.0	0.0	0.0
Molini	3	22	2.1	76	804	0.06	0.10	0.6	1.7	0.1	0.2	0.3	0.7
Molini	4	34	0.4	13	1115	0.08	0.13	0.5	2.0	0.2	0.3	0.1	0.3
Molini	5	41	1.2	135	4540	0.08	0.13	1.0	5.5	0.1	0.2	0.4	2.4
Molini	6	38	0.3	22	2693	0.07	0.14	0.5	1.9	0.1	0.3	0.2	0.8
Molini	7	9	1.2	84	643	0.14	0.27	1.0	3.0	0.3	0.6	0.3	0.9
Molini	8	38	3.9	150	1467	0.11	0.17	1.3	10.0	0.1	0.2	0.3	2.4
Molini	9	15	1.1	49	676	0.14	0.23	0.8	4.0	0.4	0.6	0.2	1.1
Molini	10	0	0.0	0	0					0.0	0.0	0.0	0.0
Molini	11	20	0.4	19	1026	0.06	0.12	0.8	4.0	0.1	0.2	0.3	1.3
Molini	12	13	0.4	14	502	0.07	0.13	0.8	5.0	0.4	0.7	0.2	1.4

Torrente	Tratto	LW n°	VLW m ³	V/SA m ³ ha ⁻¹	N/SA n°ha ⁻¹	D ₅₀ m	D ₈₄ m	L ₅₀ m	L ₈₄ m	D ₅₀ /Tr	D ₈₄ /Tr	L ₅₀ /Pr	L ₈₄ /Pr
Molini	13	7	0.1	6	412	0.08	0.63	0.8	7.7	0.3	2.6	0.2	2.3
Molini	14	11	3.9	171	478	0.26	0.50	0.8	4.0	0.7	1.3	0.2	0.9
Molini	15	11	1.3	78	647	0.32	0.65	0.8	3.0	0.7	1.4	0.2	0.9
Molini	16	21	1.2	40	729	0.16	0.23	0.7	3.0	0.2	0.3	0.1	0.6
Molini	17	16	1.5	126	1333	0.09	0.20	1.0	4.0	0.2	0.4	0.3	1.0
Molini	18	11	0.5	18	426	0.07	0.27	0.6	4.4	0.1	0.5	0.1	1.0
Molini	19	23	1.0	22	505	0.13	0.16	0.6	2.5	0.3	0.4	0.1	0.4
Molini	20	6	0.1	7	375	0.11	0.20	0.5	3.0	0.2	0.3	0.2	0.9
Molini	21	17	0.9	33	621	0.12	0.21	0.5	5.5	0.3	0.5	0.2	1.7
Molini	22	7	0.1	8	507	0.07	0.14	0.6	1.5	0.1	0.3	0.1	0.3
Molini	23	28	0.7	26	1037	0.10	0.14	0.7	3.0	0.2	0.3	0.2	0.7
Molini	24	26	1.8	132	1906	0.10	0.20	0.6	4.3	0.4	0.8	0.3	1.9
Molini	25	18	0.7	58	1544	0.12	0.19	1.1	4.0	0.3	0.5	0.5	1.8
Molini	26	31	6.5	625	2981	0.14	0.22	1.0	8.0	0.3	0.5	0.4	3.1
Molini	27	29	1.3	48	1098	0.12	0.20	1.0	3.6	0.3	0.4	0.2	0.8
Molini	28	32	1.2	62	1616	0.14	0.28	0.6	3.0	0.2	0.4	0.2	0.9
Molini	29	15	0.8	52	1020	0.12	0.18	1.5	6.0	0.3	0.4	0.4	1.4
Molini	30	16	0.6	38	965	0.15	0.21	0.1	7.0	0.2	0.4	0.0	2.6
Molini	31	20	1.0	59	1134	0.15	0.22	1.0	6.0	0.3	0.4	0.2	1.4
Molini	32	8	0.3	16	400	0.08	0.10	0.5	1.8	0.1	0.2	0.1	0.5
Molini	33	24	1.6	88	1310	0.09	0.21	1.0	4.0	0.2	0.4	0.4	1.5
Molini	34	12	0.3	24	1043	0.09	0.18	1.3	3.0	0.2	0.5	0.6	1.3
Molini	35	19	0.3	11	699	0.07	0.13	0.7	2.5	0.1	0.2	0.2	0.7
Valbona	1	1	0.0	0	14					0.0	0.0	0.0	0.0
Valbona	2	6	0.2	6	188	0.10	0.15	0.4	5.3	0.2	0.3	0.1	1.1
Valbona	3	37	4.2	70	622	0.13	0.21	1.4	6.1	0.3	0.5	0.2	0.7
Valbona	4	10	0.2	4	204	0.08	0.18	0.7	3.1	0.3	0.6	0.1	0.4
Valbona	5	6	0.0	2	245	0.06	0.14	0.5	2.9	0.2	0.5	0.1	0.8
Ornella	1	29	0.6	14	700	0.07	0.10	1.5	4.6	0.1	0.2	0.3	0.8
Ornella	2	6	0.1	2	154	0.10	0.13	0.9	1.5	0.3	0.3	0.2	0.3
Ornella	3	30	1.5	53	1057	0.07	0.12	0.9	1.7	0.1	0.2	0.2	0.4
Ornella	4	25	0.2	6	794	0.10	0.16	0.7	3.1	0.2	0.4	0.2	0.7
Ornella	5	21	1.9	83	909	0.06	0.08	1.2	5.5	0.2	0.2	0.3	1.6
Ornella	6	8	0.2	8	392	0.11	0.50	0.7	4.2	0.4	1.7	0.2	1.4
Cordon	1	17	0.3	6	370	0.08	0.12	0.5	1.7	0.1	0.2	0.1	0.3
Cordon	2	3	0.0	1	60	0.05	0.11	1.3	2.1	0.1	0.2	0.2	0.4
Cordon	3	8	0.3	11	251	0.11	0.22	1.3	3.7	0.2	0.4	0.2	0.6
Cordon	4	6	0.1	3	211	0.09	0.23	1.0	2.1	0.1	0.4	0.2	0.4
Cordon	5	4	0.0	1	141	0.12	0.13	0.7	1.2	0.2	0.2	0.1	0.2
Cordon	6	14	1.2	25	304	0.10	0.25	1.0	4.1	0.2	0.4	0.2	0.7
Cordon	7	30	1.2	29	700	0.10	0.14	1.2	5.6	0.2	0.2	0.2	1.0
Cordon	8	8	0.4	9	190	0.15	0.26	1.2	3.0	0.3	0.5	0.2	0.5
Cordon	9	5	1.2	20	87	0.20	0.23	1.0	12.7	0.5	0.6	0.1	1.5
Cordon	10	4	0.0	1	112	0.05	0.05	0.7	3.2	0.1	0.1	0.1	0.6
Cordon	11	1	0.0	0	23					0.0	0.0	0.0	0.0
Cordon	12	12	1.1	35	397	0.11	0.30	0.8	3.2	0.2	0.6	0.1	0.5
Cordon	13	6	0.3	9	178	0.19	0.30	0.9	5.1	0.3	0.5	0.2	1.0
Cordon	14	23	1.0	33	734	0.11	0.26	1.0	2.5	0.2	0.5	0.2	0.4
Cordon	15	19	1.4	36	489	0.06	0.25	1.0	1.8	0.1	0.5	0.2	0.3
Cordon	16	33	1.8	49	917	0.17	0.22	0.9	3.1	0.2	0.3	0.2	0.6
Cordon	17	9	0.2	5	240	0.12	0.13	0.9	3.4	0.2	0.3	0.2	0.6
Cordon	18	6	0.2	3	78	0.11	0.16	1.5	5.7	0.4	0.5	0.2	0.7
Cordon	19	63	5.7	136	1504	0.11	0.21	1.4	5.7	0.3	0.5	0.2	1.0
Cordon	20	26	1.1	26	602	0.09	0.18	1.2	4.3	0.2	0.3	0.2	0.8
Cordon	21	34	7.4	198	910	0.14	0.21	1.6	11.8	0.2	0.3	0.4	2.6
Cordon	22	14	1.5	39	371	0.09	0.18	1.3	5.1	0.2	0.4	0.2	0.9
Cordon	23	49	4.0	107	1318	0.11	0.19	1.2	5.8	0.3	0.5	0.2	1.0
Cordon	24	3	0.5	17	96	0.09	0.10	1.3	2.7	0.2	0.2	0.3	0.5
Cordon	25	15	1.5	57	560	0.11	0.15	0.9	5.1	0.2	0.3	0.2	0.9
Cordon	26	4	1.0	41	170	0.15	0.25	1.5	18.6	0.2	0.4	0.3	3.7
Cordon	27	3	0.1	5	128	0.12	0.16	1.8	4.2	0.2	0.2	0.4	0.9
Cordon	28	7	0.4	16	270	0.13	0.23	2.6	8.8	0.2	0.3	0.5	1.8
Cordon	29	15	0.3	9	406	0.07	0.12	1.4	3.8	0.1	0.2	0.3	0.8
Cordon	30	3	0.2	6	101	0.10	0.23	1.3	4.1	0.1	0.3	0.3	0.9
Cordon	31	6	0.1	3	255	0.08	0.14	0.8	2.2	0.1	0.2	0.2	0.5
Cordon	32	8	0.4	15	303	0.12	0.15	1.2	8.3	0.2	0.2	0.3	1.7
Cordon	33	10	0.2	9	355	0.07	0.09	2.8	5.3	0.1	0.1	0.7	1.3
Cordon	34	3	0.2	10	143	0.11	0.13	4.7	9.1	0.2	0.2	0.9	1.8
Cordon	35	7	0.6	20	255	0.12	0.15	2.6	8.1	0.2	0.2	0.5	1.6

Torrente	Tratto	LW n°	VLW m³	V/SA m³ha ⁻¹	N/SA n°ha ⁻¹	D ₅₀ m	D ₈₄ m	L ₅₀ m	L ₈₄ m	D ₅₀ /Tr	D ₈₄ /Tr	L ₅₀ /Pr	L ₈₄ /Pr
Cordon	36	15	1.3	40	476	0.12	0.16	2.1	7.1	0.2	0.2	0.4	1.4
Cordon	37	16	1.2	41	560	0.11	0.16	1.8	7.5	0.2	0.2	0.4	1.5
Cordon	38	44	3.6	196	2424	0.08	0.14	1.2	7.7	0.1	0.2	0.4	2.3
Cordon	39	11	0.7	16	263	0.10	0.16	1.2	6.7	0.1	0.2	0.3	1.5
Cordon	40	26	0.6	14	608	0.10	0.16	0.9	4.2	0.1	0.2	0.2	0.9
Cordon	41	10	0.8	37	458	0.10	0.18	0.9	10.1	0.1	0.2	0.2	2.6
Davedino	1	18	0.4	12	524	0.07	0.10	0.8	4.2	0.1	0.2	0.2	0.8
Davedino	2	8	2.9	99	277	0.10	0.22	3.5	7.2	0.1	0.3	0.7	1.4
Davedino	3	55	5.3	98	1017	0.09	0.17	1.1	5.5	0.1	0.2	0.2	0.9
Davedino	4	62	7.3	137	1174	0.15	0.24	1.0	4.5	0.2	0.3	0.1	0.7
Davedino	5	42	2.8	36	539	0.12	0.20	1.4	3.4	0.2	0.3	0.1	0.4
Davedino	6	32	2.2	32	461	0.12	0.20	0.9	2.5	0.2	0.3	0.2	0.5
Davedino	7	17	3.2	81	425	0.11	0.18	0.8	3.2	0.1	0.2	0.1	0.5
Davedino	8			0	0					0.0	0.0	0.0	0.0
Davedino	9	42	3.2	77	1005	0.13	0.17	0.8	6.1	0.2	0.2	0.1	0.7
Davedino	10	56	5.2	89	962	0.13	0.24	0.9	4.4	0.2	0.3	0.2	0.7
Davedino	11	80	9.1	123	1074	0.15	0.26	1.1	5.0	0.2	0.3	0.1	0.6
Davedino	12	221	31.0	546	3897	0.13	0.20	0.9	5.0	0.2	0.3	0.2	0.9
Davedino	13	134	13.6	196	1933	0.10	0.18	0.9	4.8	0.2	0.3	0.1	0.5
Davedino	14	94	10.3	143	1303	0.13	0.21	0.9	5.4	0.3	0.4	0.1	0.7
Davedino	15	57	8.5	147	982	0.11	0.20	1.2	3.5	0.2	0.4	0.2	0.6
Davedino	16	59	9.3	137	864	0.09	0.16	0.7	3.4	0.2	0.3	0.1	0.4
Davedino	17	53	5.6	82	773	0.10	0.19	0.8	2.8	0.1	0.2	0.1	0.4
Davedino	18	55	5.6	82	803	0.15	0.21	1.1	4.5	0.2	0.3	0.2	0.8
Davedino	19	45	1.2	22	854	0.09	0.15	1.0	4.7	0.1	0.2	0.1	0.6
Davedino	20	116	8.1	123	1765	0.14	0.21	1.0	5.3	0.2	0.3	0.1	0.6
Davedino	21	29	4.1	91	640	0.08	0.14	0.6	4.0	0.1	0.2	0.1	0.6
Davedino	22	44	3.0	53	788	0.14	0.24	0.8	4.5	0.2	0.3	0.1	0.7
Davedino	23	100	7.7	100	1300	0.11	0.19	0.8	3.5	0.3	0.5	0.1	0.4
Davedino	24	45	3.3	96	1292	0.13	0.19	0.8	2.9	0.2	0.3	0.2	0.6
Davedino	25	170	12.2	290	4031	0.11	0.20	0.9	3.5	0.2	0.3	0.2	0.7
Davedino	26	83	7.6	223	2423	0.12	0.21	1.3	6.8	0.2	0.3	0.3	1.5
Davedino	27	45	3.5	93	1181	0.21	0.28	1.9	12.0	0.3	0.4	0.3	2.1
Davedino	28	28	3.6	100	774	0.20	0.33	1.2	6.5	0.3	0.4	0.2	1.2
Davedino	29	28	1.8	79	1212	0.15	0.24	1.7	9.0	0.2	0.3	0.4	2.1
Davedino	30	26	1.7	35	547	0.18	0.32	1.8	11.5	0.3	0.6	0.2	1.4
Davedino	31	20	2.1	45	422	0.19	0.22	2.2	15.0	0.3	0.3	0.4	2.6
Davedino	32	22	0.9	32	780	0.14	0.35	0.8	2.5	0.3	0.6	0.1	0.4
Davedino	33	45	1.4	37	1195	0.19	0.30	1.2	7.0	0.3	0.5	0.2	1.4
Davedino	34	23	0.9	18	474	0.22	0.29	1.6	3.6	0.3	0.4	0.3	0.6
Davedino	35	10	0.7	31	420	0.15	0.31	1.0	3.3	0.3	0.5	0.2	0.8
Davedino	36	23	1.0	39	870	0.18	0.26	1.2	6.8	0.2	0.3	0.2	1.3
Davedino	37	27	0.7	21	870	0.20	0.31	0.6	2.7	0.3	0.4	0.2	0.7
Codalunga	1	12	3.7	79	256	0.11	0.16	2.2	8.0	0.1	0.2	0.3	1.0
Codalunga	2	46	3.6	33	417	0.07	0.11	1.1	5.8	0.1	0.2	0.1	0.8
Codalunga	3	10	1.0	30	316	0.11	0.25	1.9	11.0	0.2	0.4	0.3	1.5
Codalunga	4	33	2.2	64	959	0.07	0.13	1.5	9.1	0.1	0.2	0.2	1.1
Codalunga	5	53	2.0	44	1191	0.08	0.11	0.9	12.0	0.1	0.2	0.1	1.2
Codalunga	6	49	3.0	115	1885	0.07	0.12	3.3	8.0	0.1	0.2	0.5	1.2
Codalunga	7	35	10.2	196	670	0.09	0.33	1.4	9.5	0.1	0.5	0.2	1.6
Codalunga	8	28	1.3	32	677	0.05	0.09	1.1	5.5	0.1	0.1	0.2	1.0
Codalunga	9	15	0.4	8	315	0.07	0.14	1.8	5.0	0.1	0.2	0.3	0.7
Codalunga	10	19	0.2	5	532	0.05	0.07	2.5	5.0	0.1	0.1	0.4	0.7
Codalunga	11	41	1.2	13	444	0.07	0.11	1.7	11.0	0.1	0.2	0.2	1.5
Codalunga	12	47	0.9	25	1245	0.07	0.09	3.0	8.0	0.1	0.2	0.5	1.3
Codalunga	13	31	0.9	9	294	0.06	0.13	0.9	9.6	0.1	0.2	0.1	1.1
Codalunga	14	7	0.5	17	237	0.07	0.10	0.7	11.0	0.1	0.1	0.1	2.2
Codalunga	15	25	0.4	4	258	0.06	0.11	0.9	5.0	0.1	0.2	0.1	0.6
Codalunga	16	15	0.1	5	555	0.05	0.11	0.8	1.5	0.1	0.2	0.1	0.3
Codalunga	17	36	0.6	8	432	0.06	0.12	1.0	4.0	0.1	0.1	0.1	0.5
Codalunga	18	3	0.0	0	42	0.06	0.10	0.7	2.0	0.1	0.2	0.1	0.2
Codalunga	19	8	0.2	3	148	0.10	0.12	1.0	6.3	0.2	0.2	0.1	0.9
Codalunga	20	2	0.0	1	58	0.08	0.09	1.5	8.0	0.1	0.1	0.3	1.5
Codalunga	21	3	0.0	2	154	0.09	0.09	1.1	10.0	0.1	0.1	0.2	2.0
Codalunga	22	16	0.2	3	242	0.10	0.14	0.6	1.2	0.2	0.3	0.1	0.1
Codalunga	23	8	0.4	8	178	0.11	0.12	0.9	2.5	0.2	0.2	0.2	0.5
Codalunga	24	5	0.2	5	98	0.09	0.11	1.3	2.1	0.2	0.2	0.2	0.3
Codalunga	25	12	0.5	6	149	0.09	0.27	1.2	3.1	0.1	0.4	0.2	0.4
Codalunga	26	16	0.3	6	356	0.05	0.06	1.9	4.0	0.1	0.1	0.4	0.8

Torrente	Tratto	LW n°	VLW m ³	V/SA m ³ ha ⁻¹	N/SA n°ha ⁻¹	D ₅₀ m	D ₈₄ m	L ₅₀ m	L ₈₄ m	D ₅₀ /Tr	D ₈₄ /Tr	L ₅₀ /Pr	L ₈₄ /Pr
Codalunga	27	16	1.2	8	112	0.06	0.09	0.5	3.2	0.1	0.2	0.1	0.3
Codalunga	28	5	0.3	15	223	0.10	0.70	0.4	1.5	0.2	1.6	0.1	0.4
Codalunga	29	14	0.4	13	439	0.10	0.23	0.7	1.2	0.2	0.5	0.1	0.2
Codalunga	30	17	1.3	19	247	0.11	0.38	0.6	2.1	0.2	0.8	0.1	0.5
Codalunga	31	3	0.0	1	54	0.09	0.11	1.3	1.6	0.2	0.3	0.2	0.2
Codalunga	32	11	0.1	2	200	0.09	0.19	0.6	3.0	0.2	0.4	0.1	0.6
Codalunga	33	16	0.2	2	143	0.06	0.16	0.9	3.8	0.1	0.4	0.2	0.6
Codalunga	34	6	0.1	1	72	0.07	0.07	0.9	8.0	0.2	0.2	0.1	0.9
Codalunga	35	3	0.0	0	55	0.07	0.09	1.1	2.1	0.2	0.2	0.2	0.3
Codalunga	36	4	0.6	12	81	0.07	0.09	1.2	1.6	0.2	0.3	0.2	0.3
Codalunga	37	6	0.9	14	91	0.14	0.17	1.3	3.0	0.3	0.4	0.2	0.5
Codalunga	38	9	0.3	3	90	0.11	0.14	0.9	2.2	0.3	0.4	0.2	0.4
Codalunga	39	9	0.6	12	169	0.27	0.31	1.2	1.9	0.7	0.8	0.2	0.3
Codalunga	40	8	0.5	10	152	0.12	0.23	0.8	1.4	0.3	0.7	0.2	0.3
Codalunga	41	13	0.9	13	203	0.14	0.36	0.9	2.6	0.4	0.9	0.2	0.7
Codalunga	42	13	0.7	8	155	0.15	0.32	1.0	3.2	0.4	0.9	0.3	0.9
Codalunga	43	4	0.3	3	38	0.12	0.18	4.6	5.4	0.3	0.5	1.2	1.4
Andraz	1	27	1.2	11	245	0.13	0.15	1.0	5.0	0.2	0.2	0.1	0.5
Andraz	2	17	1.2	14	191	0.13	0.24	1.4	5.3	0.2	0.4	0.2	0.6
Andraz	3	48	25.6	342	640	0.11	0.20	1.5	6.5	0.2	0.3	0.2	0.9
Andraz	4	10	3.8	54	143	0.10	0.16	1.1	6.0	0.2	0.3	0.2	0.9
Andraz	5	20	0.7	12	337	0.11	0.15	1.1	3.8	0.2	0.3	0.2	0.6
Andraz	6	26	4.4	65	382	0.25	0.45	3.5	20.0	0.6	1.1	0.5	2.9
Andraz	7	11	0.5	11	256	0.19	0.31	5.4	10.0	0.5	0.9	1.3	2.4
Pettorina	1	160	1.2	3	398	0.07	0.13	0.4	1.1	0.1	0.3	0.1	0.2
Pettorina	2	51	0.4	2	288	0.07	0.12	0.5	2.4	0.1	0.2	0.0	0.2
Pettorina	3	42	0.6	4	290	0.09	0.15	0.5	1.8	0.2	0.3	0.0	0.2
Pettorina	4	38	1.0	5	196	0.09	0.13	0.5	2.0	0.1	0.2	0.1	0.2
Pettorina	5	16	0.1	1	131	0.06	0.11	0.5	5.1	0.1	0.2	0.1	0.5
Pettorina	6	72	3.0	20	482	0.08	0.21	0.6	2.9	0.1	0.3	0.1	0.3
Pettorina	7	36	1.0	7	282	0.08	0.15	0.8	3.0	0.1	0.3	0.1	0.3
Pettorina	8	38	3.2	47	551	0.07	0.10	0.9	3.7	0.2	0.3	0.1	0.5
Pettorina	9	33	1.4	17	398	0.08	0.18	0.4	1.3	0.2	0.5	0.0	0.1
Pettorina	10	77	1.6	6	291	0.11	0.19	0.6	1.3	0.2	0.4	0.0	0.1
Pettorina	11	33	0.2	1	282	0.09	0.13	0.4	1.5	0.2	0.3	0.0	0.2
Pettorina	12	57	1.1	10	482	0.11	0.17	0.6	1.8	0.2	0.3	0.1	0.2
Pettorina	13	43	0.8	6	332	0.08	0.21	0.5	1.6	0.1	0.4	0.1	0.2
Pettorina	14	28	0.4	4	332	0.08	0.13	0.5	1.0	0.1	0.2	0.0	0.1
Pettorina	15	46	0.9	9	463	0.07	0.15	0.4	1.2	0.1	0.2	0.1	0.2
Pettorina	16	18	0.1	1	180	0.10	0.15	0.6	1.8	0.2	0.3	0.1	0.2
Pettorina	17	25	0.4	3	210	0.09	0.12	0.5	3.0	0.1	0.2	0.1	0.3
Pettorina	18	10	0.2	4	192	0.09	0.29	0.5	0.8	0.1	0.3	0.1	0.1
Pettorina	19	14	0.3	3	137	0.11	0.18	0.3	1.4	0.1	0.2	0.0	0.2
Pettorina	20	12	0.0	0	104	0.08	0.10	0.5	0.8	0.2	0.2	0.1	0.1
Pettorina	21	52	0.7	6	442	0.08	0.19	0.6	1.6	0.1	0.3	0.1	0.2
Pettorina	22	106	2.2	24	1169	0.07	0.14	0.5	2.5	0.2	0.4	0.1	0.3
Pettorina	23	24	0.3	2	187	0.07	0.10	0.4	0.8	0.2	0.3	0.0	0.1
Pettorina	24	38	1.0	5	185	0.07	0.10	0.5	1.4	0.1	0.2	0.1	0.2
Pettorina	25	30	0.5	2	120	0.07	0.21	0.4	1.4	0.1	0.3	0.1	0.2
Pettorina	26	17	0.1	0	53	0.07	0.11	0.5	1.3	0.2	0.3	0.0	0.1
Pettorina	27	14	0.1	1	71	0.10	0.13	0.5	1.3	0.2	0.2	0.1	0.2
Pettorina	28	0	0.0	0	0					0.0	0.0	0.0	0.0
Pettorina	29	2	0.2	1	5	0.28	0.42	0.3	1.6			0.0	0.2
Pettorina	30	9	0.2	1	49	0.09	0.20	0.5	0.8	0.1	0.2	0.1	0.2
Pettorina	31	38	0.4	1	106	0.09	0.16	0.6	1.4	0.1	0.3	0.1	0.3
Pettorina	32	19	0.2	2	172	0.10	0.19	0.6	2.4	0.1	0.3	0.1	0.5
Pettorina	33	10	0.2	2	75	0.08	0.11	0.5	1.4	0.1	0.2	0.1	0.2
Pettorina	34	2	0.0	0	24					0.0	0.0	0.0	0.0
Pettorina	35	37	0.5	6	454	0.10	0.19	0.4	1.3	0.3	0.5	0.1	0.2
Pettorina	36	1	0.0	0	10					0.0	0.0	0.0	0.0
Pettorina	37	3	0.0	1	48	0.13	0.15	0.5	1.1	0.4	0.5	0.1	0.2
Pettorina	38	8	0.1	1	107	0.11	0.19	0.4	0.7	0.3	0.5	0.1	0.2
Pettorina	39	7	0.1	1	86	0.09	0.11	0.8	1.7	0.2	0.3	0.2	0.3
Pettorina	40	9	0.1	2	109	0.14	0.14	0.4	1.6	0.3	0.3	0.1	0.3
Pettorina	41	0	0.0	0	0					0.0	0.0	0.0	0.0
Pettorina	42	21	0.3	2	158	0.10	0.16	0.7	1.6	0.1	0.1	0.1	0.4
Pettorina	43	7	0.3	7	167	0.06	0.11	0.6	1.1	0.1	0.2	0.1	0.2
Pettorina	44	7	0.1	0	62	0.08	0.15	0.7	0.9	0.2	0.3	0.1	0.2
Pettorina	45	3	0.0	0	26	0.14	0.16	0.9	1.1	0.3	0.4	0.2	0.2

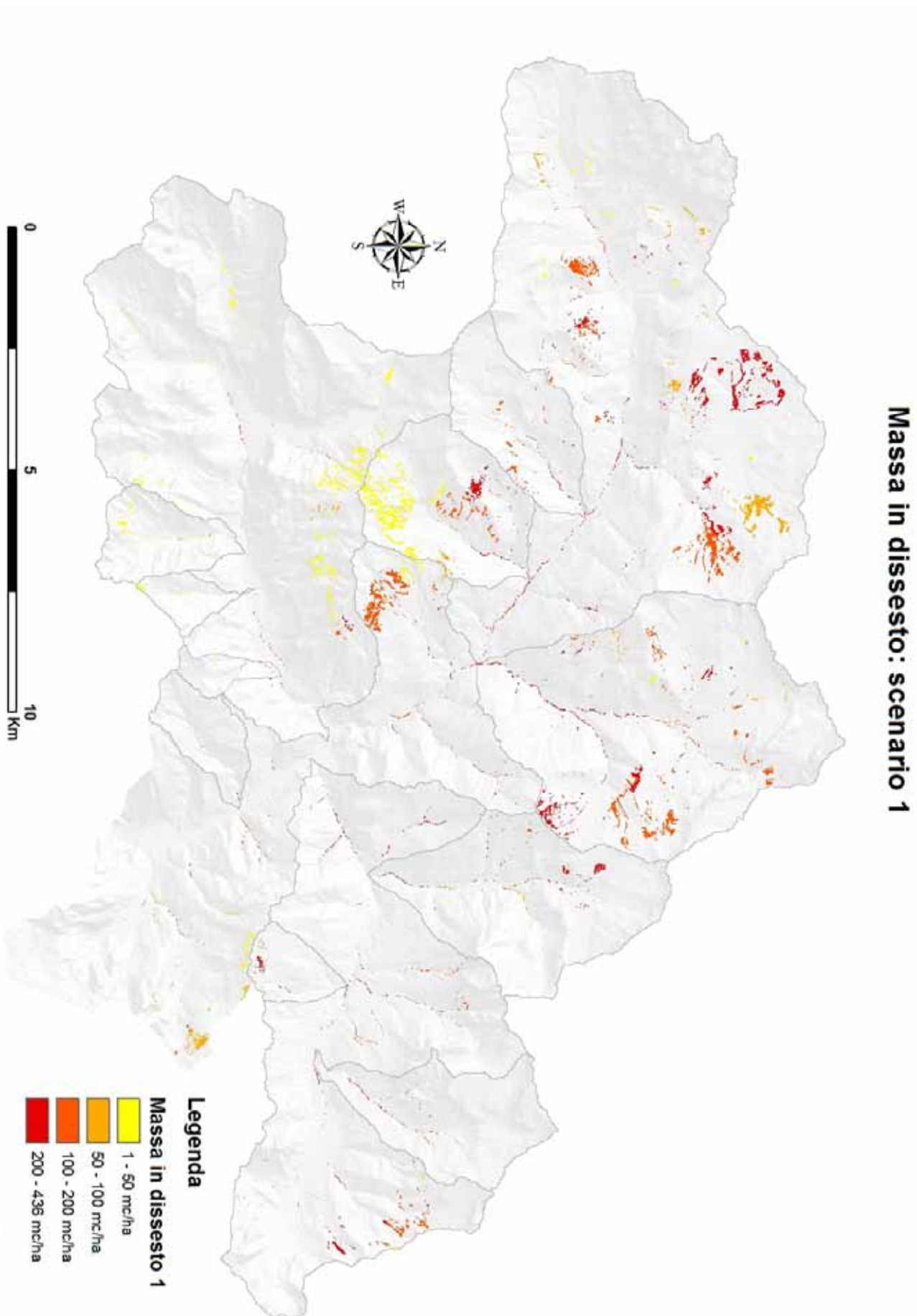
Torrente	Tratto	LW n°	VLW m³	V/SA m³ha ⁻¹	N/SA n°ha ⁻¹	D ₅₀ m	D ₈₄ m	L ₅₀ m	L ₈₄ m	D ₅₀ /Tr	D ₈₄ /Tr	L ₅₀ /Pr	L ₈₄ /Pr
Pettorina	46	9	0.1	2	139	0.13	0.25	0.5	1.2	0.2	0.4	0.1	0.2
Fiorentina	1	10	0.2	1	46	0.12	0.22	0.9	3.1	0.2	0.4	0.1	0.2
Fiorentina	2	124	2.2	6	355	0.10	0.15	0.9	2.6	0.2	0.3	0.0	0.1
Fiorentina	3	41	0.6	2	142	0.09	0.15	0.7	2.7	0.1	0.2	0.0	0.2
Fiorentina	4	44	1.1	8	306	0.10	0.14	1.0	3.1	0.2	0.2	0.1	0.2
Fiorentina	5	113	3.8	20	596	0.09	0.17	1.0	2.8	0.1	0.2	0.1	0.2
Fiorentina	6	100	2.2	10	432	0.10	0.14	0.9	2.3	0.2	0.2	0.1	0.1
Fiorentina	7	28	1.2	6	135	0.13	0.19	0.9	2.1	0.2	0.3	0.1	0.1
Fiorentina	8	69	1.8	14	543	0.11	0.15	1.1	2.9	0.1	0.2	0.1	0.3
Fiorentina	9	90	2.3	16	625	0.09	0.15	0.9	3.4	0.2	0.3	0.1	0.2
Fiorentina	10	61	2.5	20	489	0.12	0.22	0.9	3.3	0.2	0.3	0.1	0.3
Fiorentina	11	123	7.3	37	615	0.10	0.18	1.1	5.8	0.2	0.3	0.1	0.4
Fiorentina	12	68	4.9	23	317	0.10	0.17	0.9	4.0	0.2	0.3	0.1	0.3
Fiorentina	13	42	3.9	12	127	0.10	0.24	1.7	8.9	0.2	0.4	0.1	0.6
Fiorentina	14	21	2.3	24	214	0.11	0.30	1.0	5.7	0.1	0.4	0.1	0.6
Fiorentina	15	67	4.7	23	322	0.11	0.21	0.9	4.1	0.2	0.4	0.1	0.3
Fiorentina	16	31	2.0	18	282	0.11	0.22	1.5	7.4	0.1	0.3	0.2	0.7
Fiorentina	17	7	0.2	2	72	0.07	0.08	1.4	4.2	0.1	0.1	0.1	0.4
Fiorentina	18	19	1.5	22	275	0.10	0.35	1.1	4.9	0.1	0.5	0.1	0.5
Fiorentina	19	9	0.5	7	123	0.13	0.18	1.1	6.1	0.2	0.2	0.1	0.6
Fiorentina	20	57	19.9	188	540	0.20	0.34	2.0	11.3	0.4	0.7	0.2	1.0
Fiorentina	21	27	5.3	45	227	0.11	0.29	0.9	3.8	0.2	0.6	0.1	0.3
Fiorentina	22	22	1.8	18	223	0.13	0.20	1.2	8.2	0.2	0.3	0.1	0.9
Fiorentina	23	18	1.1	13	217	0.13	0.24	1.0	3.1	0.2	0.4	0.1	0.3
Fiorentina	24	19	0.8	7	175	0.12	0.23	1.0	2.3	0.2	0.4	0.1	0.2
Fiorentina	25	10	0.2	2	88	0.05	0.12	0.9	5.6	0.1	0.2	0.1	0.5
Fiorentina	26	13	0.3	5	189	0.09	0.12	0.8	7.8	0.1	0.2	0.1	0.9
Fiorentina	27	9	0.4	4	89	0.08	0.19	1.2	4.5	0.1	0.3	0.1	0.5
Fiorentina	28	1	0.1	1	13					0.0	0.0	0.0	0.0
Fiorentina	29	3	0.0	0	54	0.05	0.12	1.2	1.8	0.1	0.2	0.2	0.2
Fiorentina	30	14	0.3	3	133	0.14	0.23	1.0	1.7	0.2	0.4	0.1	0.2
Fiorentina	31	8	0.2	3	112	0.10	0.20	0.6	2.9	0.2	0.4	0.1	0.3
Fiorentina	32	6	0.1	1	49	0.08	0.15	0.5	2.6	0.1	0.3	0.0	0.2
Fiorentina	33	8	0.2	2	112	0.08	0.12	1.2	3.6	0.1	0.2	0.2	0.5
Fiorentina	34	29	1.2	16	391	0.09	0.24	0.8	3.1	0.2	0.4	0.1	0.4
Fiorentina	35	50	1.8	24	639	0.08	0.14	1.2	3.3	0.1	0.2	0.2	0.5
Fiorentina	36	18	0.4	3	153	0.11	0.14	0.6	1.7	0.2	0.3	0.1	0.2
Fiorentina	37	5	0.1	1	64	0.11	0.12	0.6	3.7	0.3	0.3	0.0	0.3
Fiorentina	38	15	0.6	6	167	0.11	0.23	1.2	3.1	0.3	0.7	0.1	0.3
Fiorentina	39	10	1.2	16	137	0.13	0.21	1.2	12.7	0.4	0.6	0.1	1.1
Fiorentina	40	43	6.1	39	274	0.10	0.22	1.2	13.7	0.3	0.6	0.1	1.1
Fiorentina	41	45	6.9	78	507	0.12	0.20	1.6	10.3	0.3	0.5	0.2	1.1
Fiorentina	42	26	2.2	27	316	0.13	0.26	1.2	3.9	0.3	0.5	0.2	0.5
Fiorentina	43	4	0.3	5	63	0.12	0.39	1.5	3.1	0.2	0.8	0.2	0.4
Fiorentina	44	2	0.0	0	33	0.09	0.12	0.5	0.5	0.2	0.3	0.1	0.1
Fiorentina	45	1	0.0	0	19					0.0	0.0	0.0	0.0
Fiorentina	46	4	0.1	1	50	0.13	0.15	1.0	2.5	0.3	0.3	0.1	0.3
Fiorentina	47	4	0.1	1	48	0.05	0.21	0.8	1.4	0.1	0.5	0.1	0.2
Fiorentina	48	5	0.1	1	85	0.06	0.20	0.5	1.8	0.1	0.4	0.1	0.2
Fiorentina	49	6	0.1	1	116	0.06	0.15	0.9	2.8	0.1	0.3	0.1	0.4
Fiorentina	50	3	0.2	5	77	0.15	0.38	1.0	4.1	0.3	0.8	0.2	0.6
Fiorentina	51	5	0.1	2	77	0.05	0.16	0.9	5.2	0.1	0.4	0.1	0.7
Alto Cordevole	1	3	0.0	0	27	0.07	0.10	0.8	4.0	0.1	0.2	0.1	0.5
Alto Cordevole	2	21	0.5	3	144	0.07	0.14	0.5	3.2	0.1	0.1	0.0	0.2
Alto Cordevole	3	24	0.8	7	199	0.07	0.12	1.5	4.9	0.1	0.1	0.2	0.6
Alto Cordevole	4	53	25.5	183	381	0.18	0.30	1.6	11.0	0.2	0.3	0.1	1.0
Alto Cordevole	5	4	0.1	1	28	0.10	0.11	2.2	4.0	0.2	0.2	0.2	0.4
Alto Cordevole	6	2	0.2	2	17	0.19	0.24	3.1	4.3	0.3	0.3	0.4	0.5
Alto Cordevole	7			0	0					0.0	0.0	0.0	0.0
Alto Cordevole	8	77	2.1	17	631	0.08	0.15	0.7	4.0	0.1	0.2	0.1	0.4
Alto Cordevole	9	71	2.1	14	463	0.09	0.16	0.9	2.9	0.1	0.1	0.1	0.3
Alto Cordevole	10	36	1.6	16	365	0.09	0.18	0.8	3.9	0.2	0.3	0.1	0.5
Alto Cordevole	11	89	2.6	15	516	0.10	0.18	0.6	2.4	0.2	0.4	0.0	0.2
Alto Cordevole	12	5	0.2	2	56	0.09	0.18	1.4	5.8	0.2	0.4	0.1	0.6
Alto Cordevole	13	3	0.1	1	43	0.10	0.14	0.8	3.3	0.1	0.2	0.1	0.4
Alto Cordevole	14	14	0.2	2	176	0.06	0.08	1.4	4.1	0.2	0.2	0.2	0.4
Alto Cordevole	15	4	0.1	2	67	0.07	0.13	0.7	7.9	0.4	0.7	0.1	1.1
Alto Cordevole	16	76	3.0	38	972	0.09	0.18	0.5	2.7	0.2	0.5	0.1	0.3
Alto Cordevole	17	10	0.7	9	129	0.07	0.10	0.4	2.5	0.2	0.3	0.0	0.2

Torrente	Tratto	LW n°	VLW m ³	V/SA m ³ ha ⁻¹	N/SA n°ha ⁻¹	D₅₀ m	D₈₄ m	L₅₀ m	L₈₄ m	D₅₀/Tr	D₈₄/Tr	L₅₀/Pr	L₈₄/Pr
Alto Cordevole	18	5	0.1	2	90	0.06	0.11	0.5	1.7	0.2	0.4	0.1	0.2
Alto Cordevole	19	8	0.1	2	127	0.06	0.08	0.7	4.2	0.1	0.2	0.1	0.5
Alto Cordevole	20	4	0.1	1	64	0.07	0.08	0.9	5.8	0.1	0.1	0.1	0.7
Alto Cordevole	21	6	1.8	37	125	0.13	0.37	1.4	15.4	0.2	0.6	0.2	2.0
Alto Cordevole	22	22	1.5	22	323	0.07	0.11	1.4	4.7	0.1	0.2	0.2	0.6
Alto Cordevole	23	8	0.8	15	149	0.08	0.11	0.6	4.6	0.2	0.2	0.1	0.7
Alto Cordevole	24	2	0.0	1	42	0.05	0.05	3.1	3.1	0.1	0.1	0.4	0.4
Alto Cordevole	25	4	0.1	2	62	0.07	0.10	0.5	1.1	0.2	0.2	0.1	0.1
Alto Cordevole	26	46	2.6	51	900	0.09	0.21	0.7	3.2	0.2	0.4	0.1	0.5
Alto Cordevole	27	43	0.8	11	591	0.07	0.11	0.8	3.4	0.2	0.3	0.1	0.4
Alto Cordevole	28	60	3.8	84	1319	0.11	0.18	1.1	4.0	0.1	0.2	0.2	0.6
Alto Cordevole	29	19	0.6	9	301	0.11	0.14	0.8	3.5	0.2	0.2	0.1	0.4
Alto Cordevole	30	18	0.3	4	236	0.08	0.14	0.7	2.4	0.2	0.3	0.1	0.3
Alto Cordevole	31	28	0.6	8	347	0.08	0.11	0.9	3.7	0.2	0.2	0.1	0.4
Alto Cordevole	32	6	0.6	13	126	0.10	0.11	0.7	2.1	0.2	0.2	0.1	0.3
Alto Cordevole	33	31	1.9	28	456	0.08	0.13	0.9	2.4	0.1	0.2	0.1	0.4
Alto Cordevole	34	36	1.3	19	538	0.10	0.18	0.8	3.4	0.1	0.2	0.1	0.5

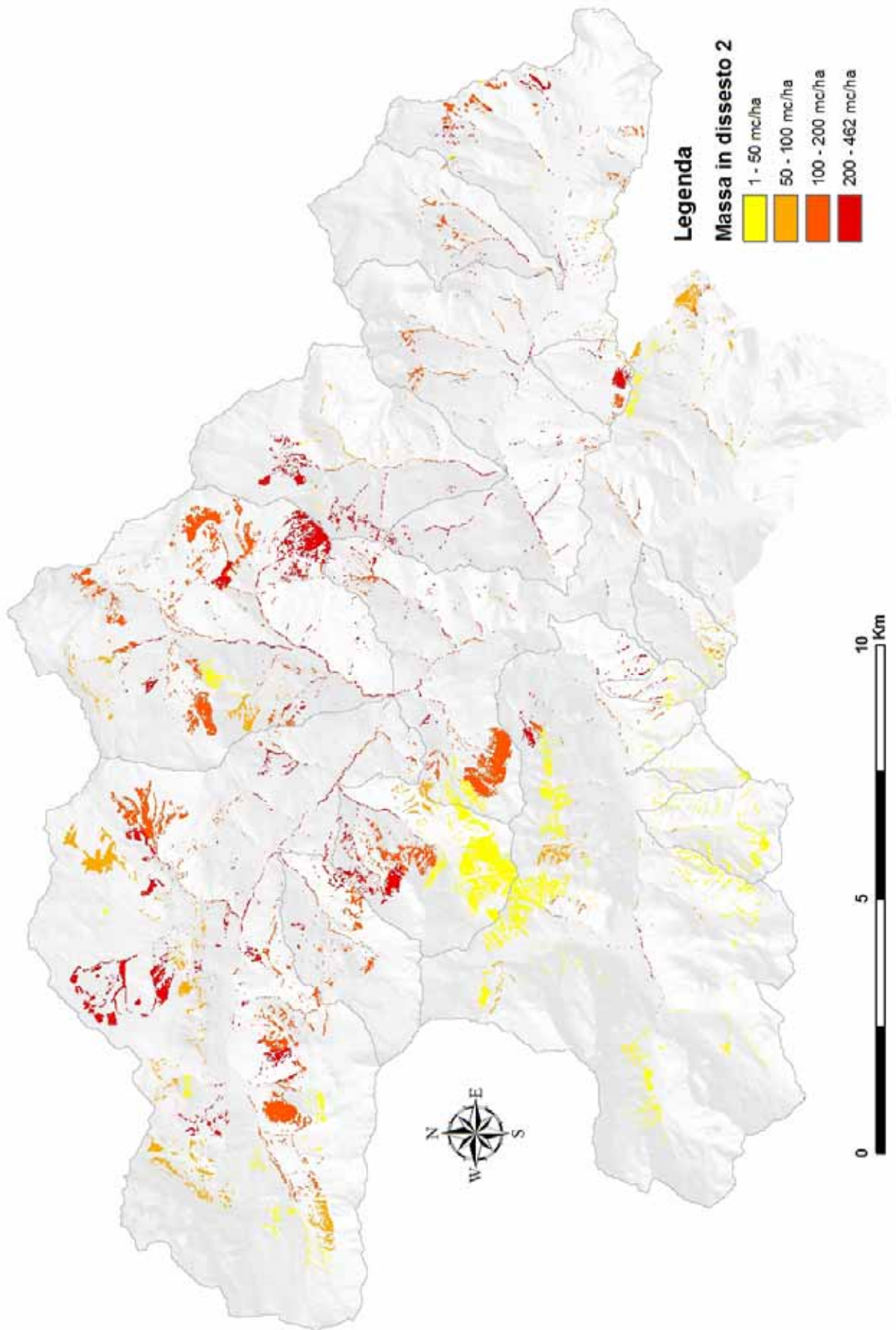
Allegato 4

Mappe delle aree sorgenti di legname.

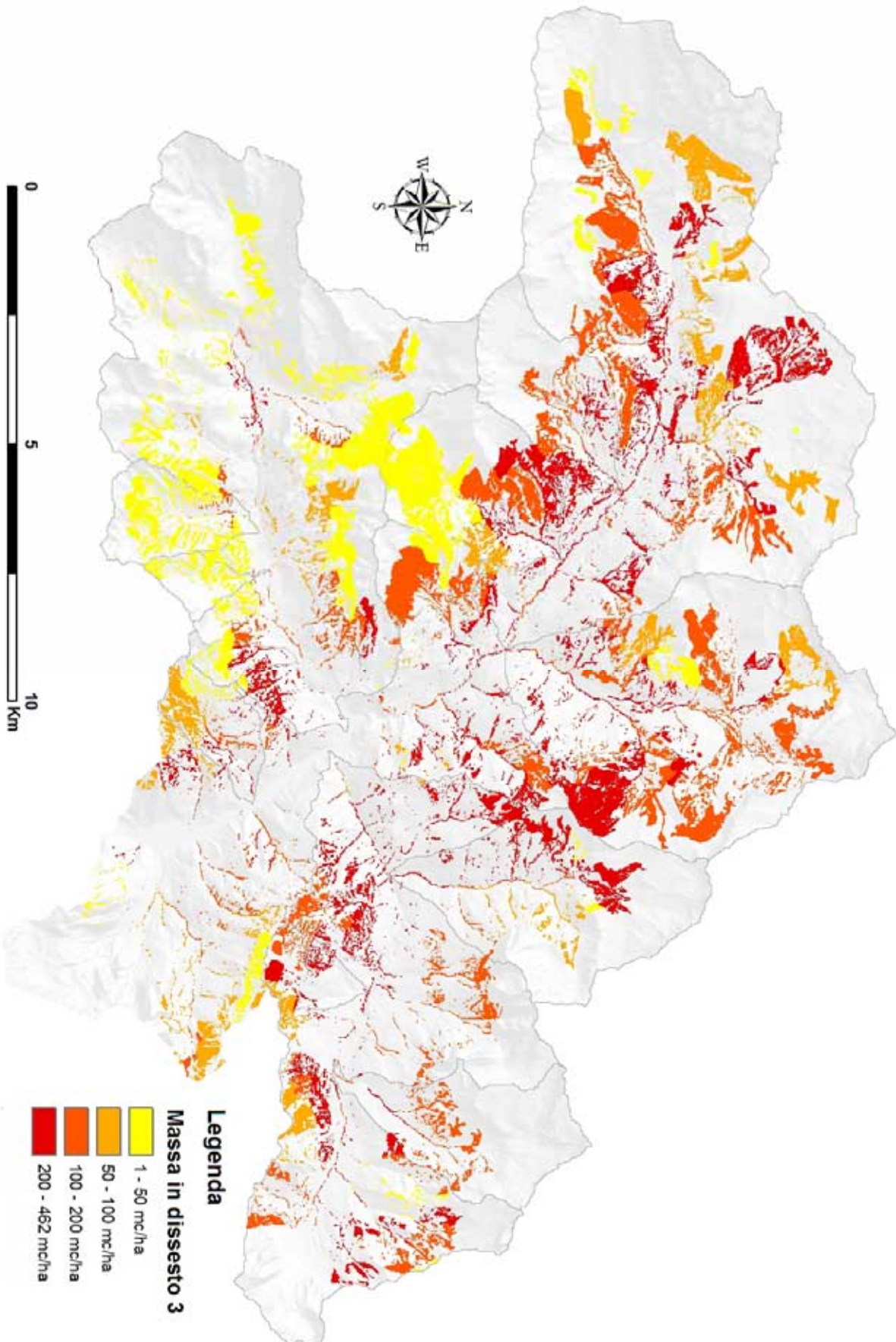
Il modello previsionale su base GIS proposto provvede alla localizzazione e quantificazione delle aree sorgente di possibile *LW*. Tale elaborazione è stata ottenuta attraverso l'intersezione delle carte della suscettibilità ai dissesti per frana, colata detritica ed erosione spondale (figure 6.14, 6.15 e 6.16) e la carta dei particellari forestali (figura 6.2). Sono stati creati tre scenari diversi in relazione alle varie classi di suscettibilità. Di seguito si riportano queste carte dallo scenario 1 (più probabile) allo scenario 3 (caso peggiore).



Massa in dissesto: scenario 2



Massa in dissesto: scenario 3

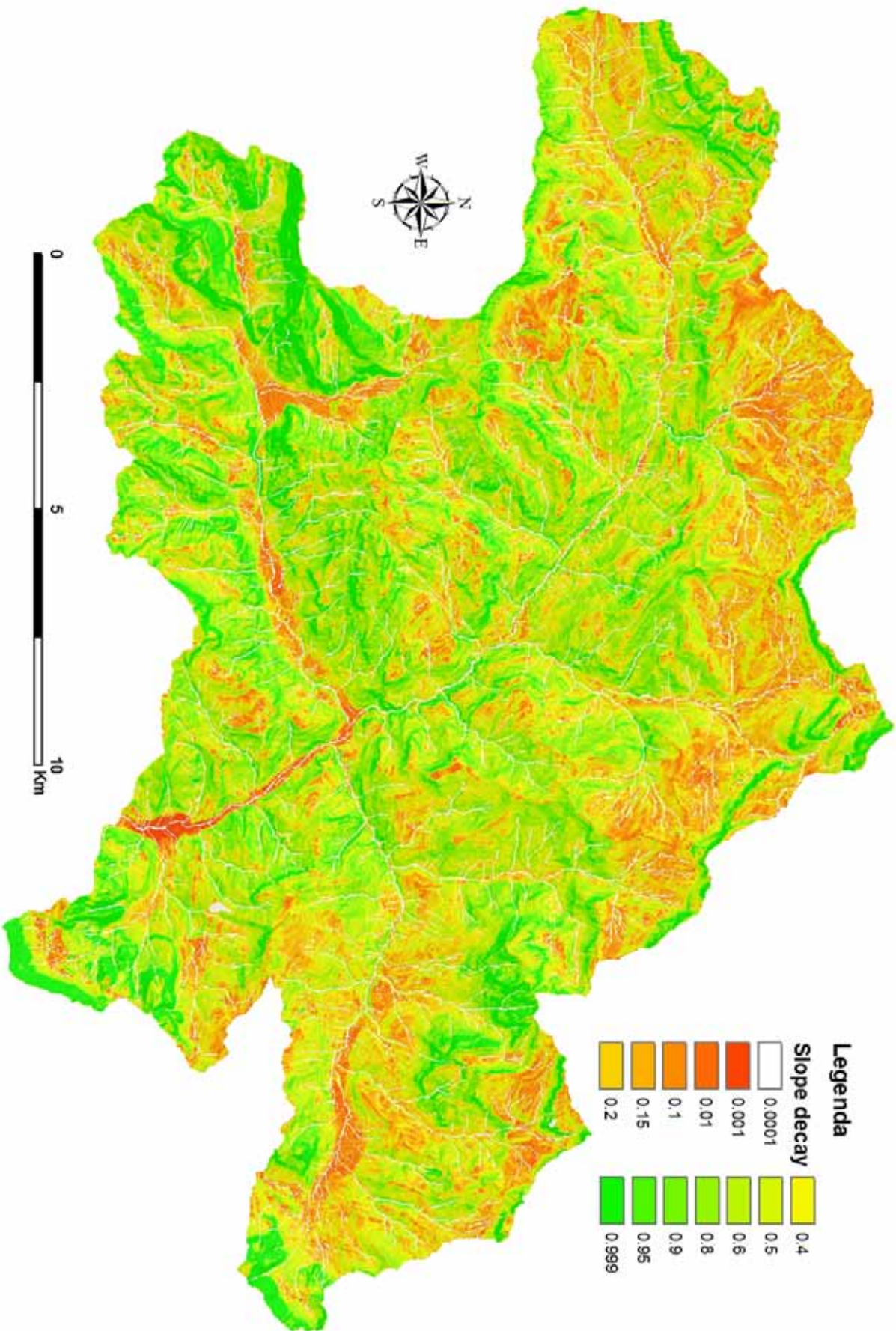


Allegato 5

Mappa dello *slope decay*.

Nel sottomodello “trasferimento versanti” viene simulato il trasferimento del legname dalle aree sorgenti alla rete idrica. Tale processo è regolato da un tasso di decadimento di primo ordine definito su scala spaziale per tutto il bacino del Cordevole. Più alto è il valore del moltiplicatore (*slope decay*) e maggiore la quantità di legname che viene traslata verso la rete idrica.

Mappa del decadimento di versante

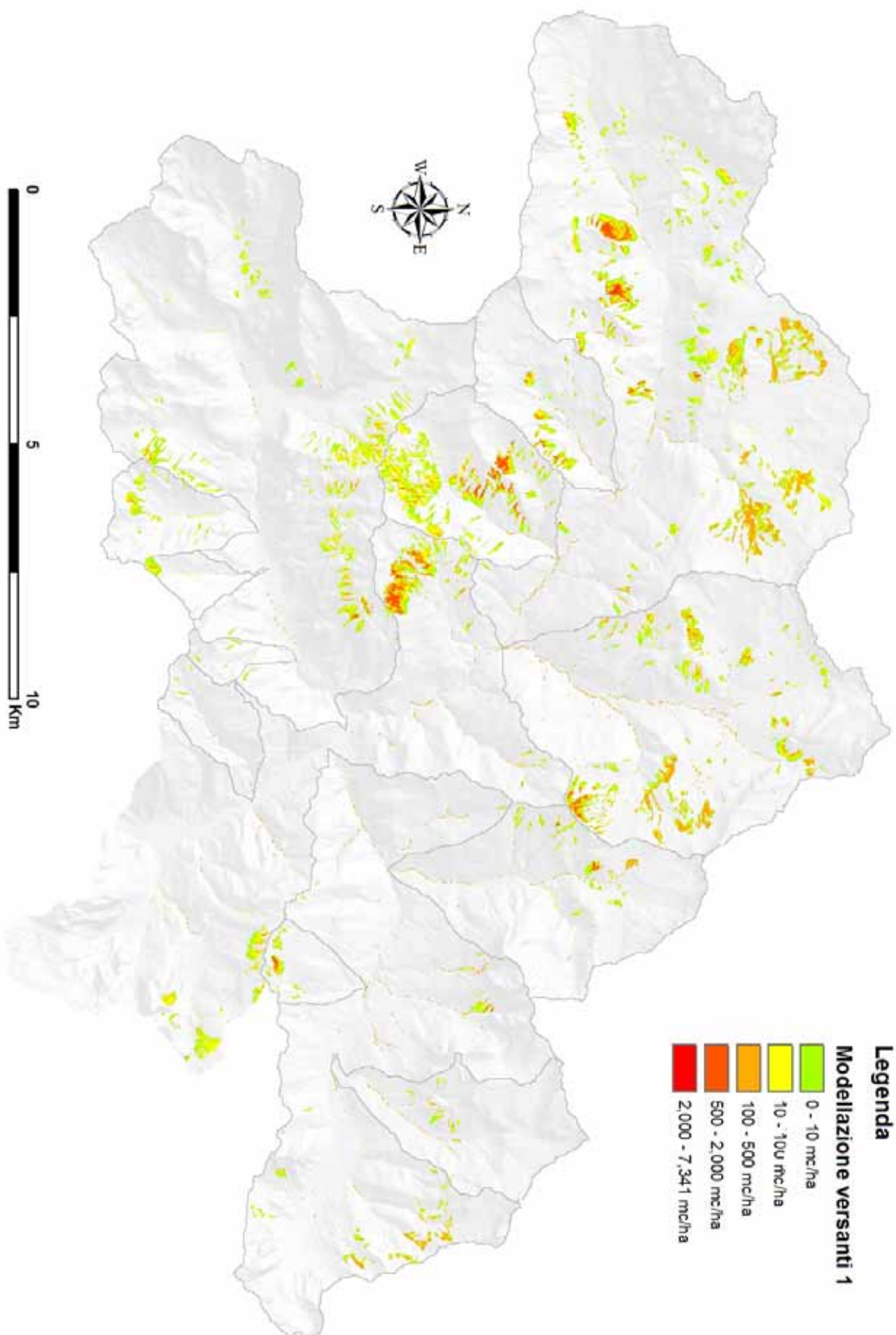


Allegato 6

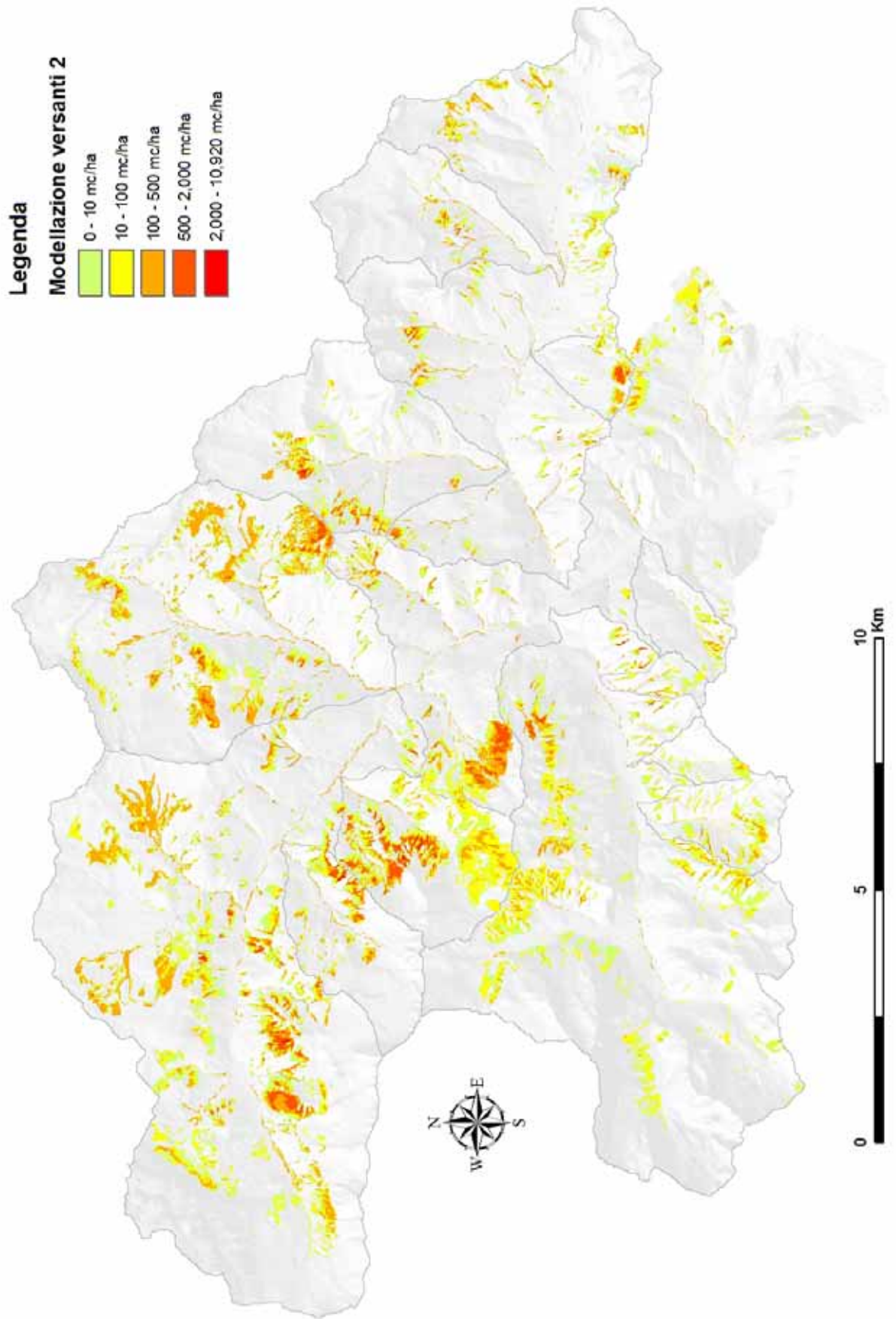
Mappe del trasferimento del legname lungo i versanti.

Dopo aver definito la funzione *slope decay*, il sottomodello “trasferimento versante” provvede a calcolare quanto del materiale legnoso presente nelle aree sorgente, riesca a pervenire alla rete idrografica. Dai tre scenari prodotti nel sottomodello “reclutamento” è stata simulata la traslazione, ottenendo altrettante mappe.

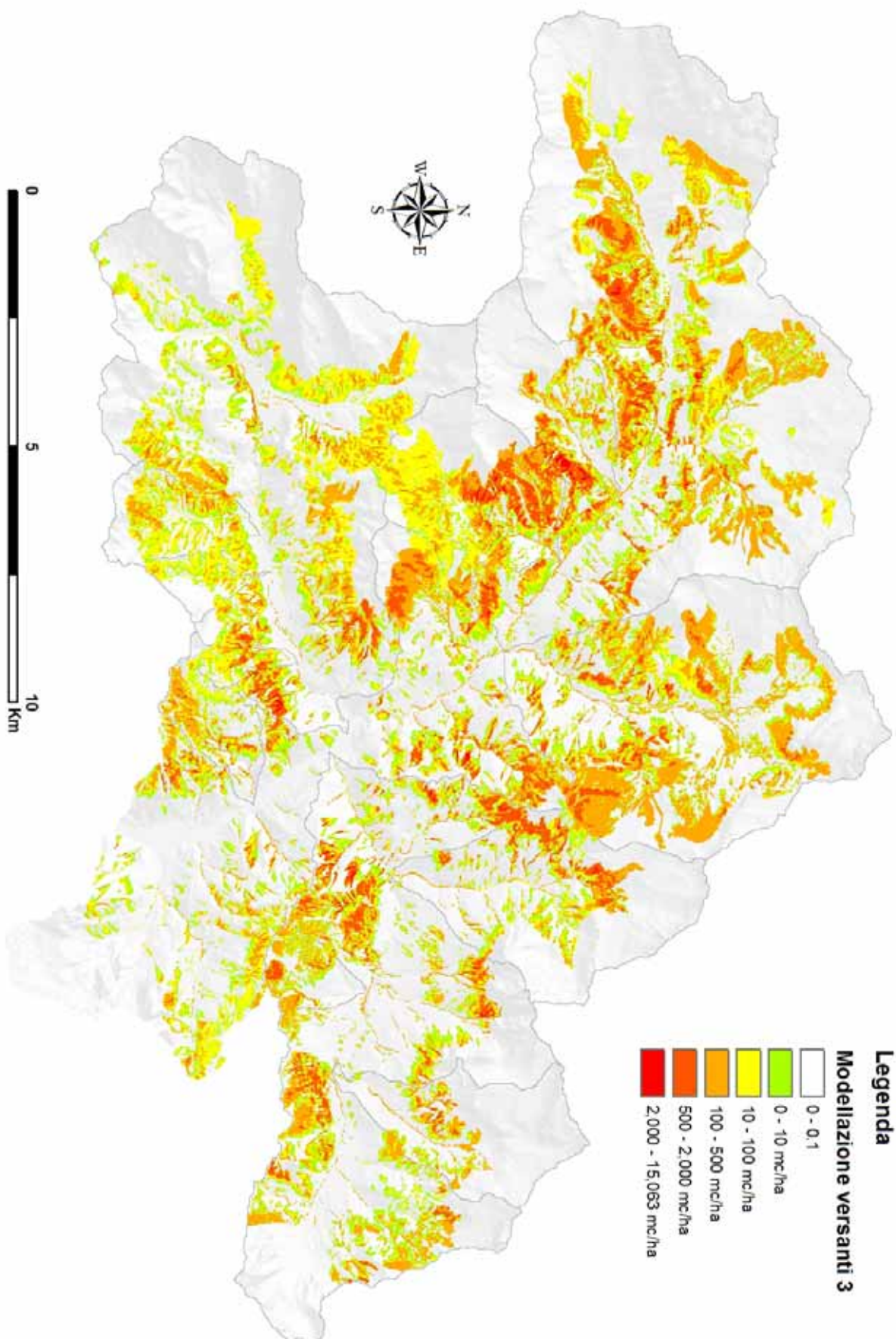
Modellazione legname lungo i versanti: scenario 1



Modellazione legname lungo i versanti: scenario 2



Modellazione legname lungo i versanti: scenario 3

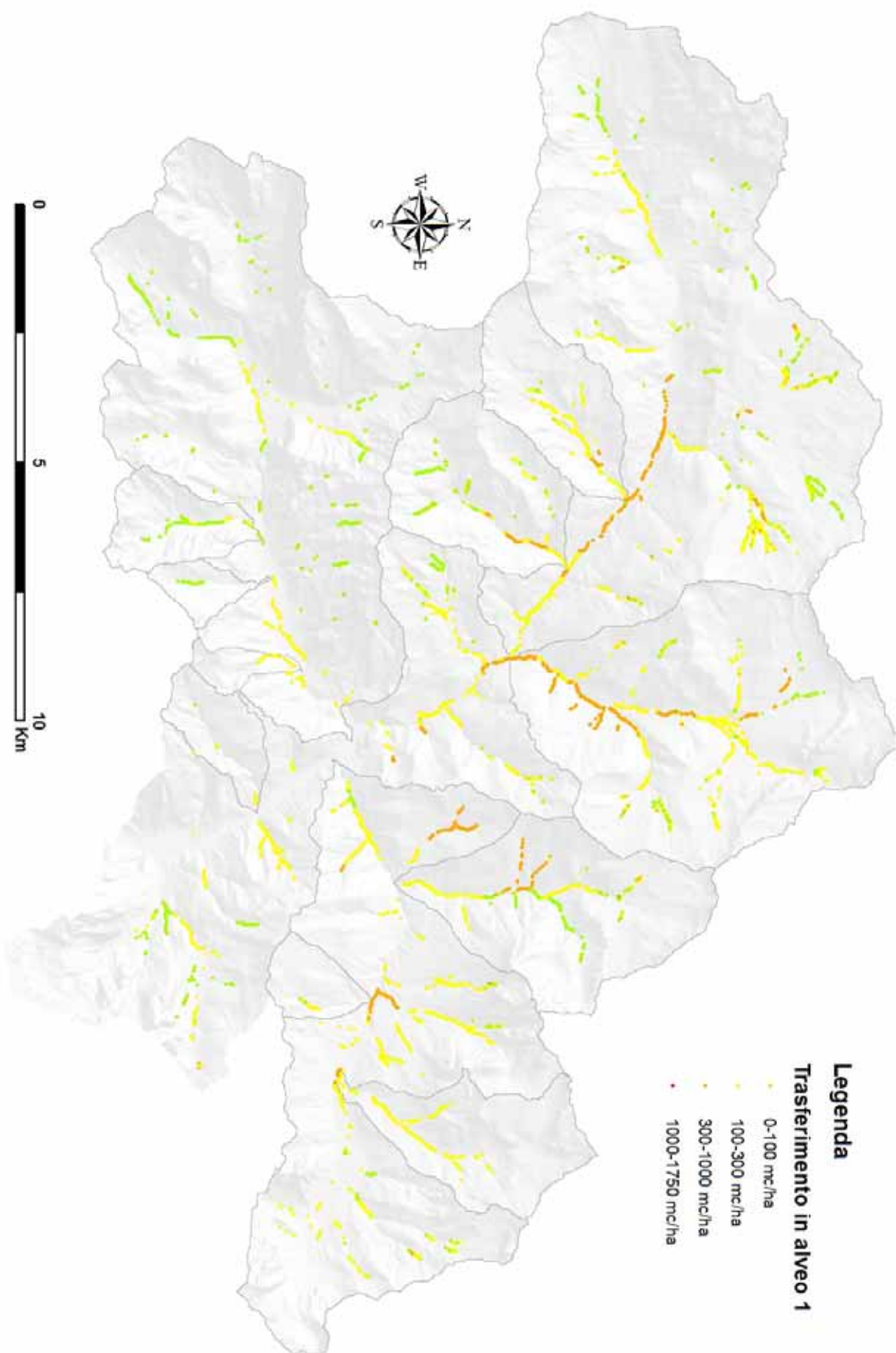


Allegato 7

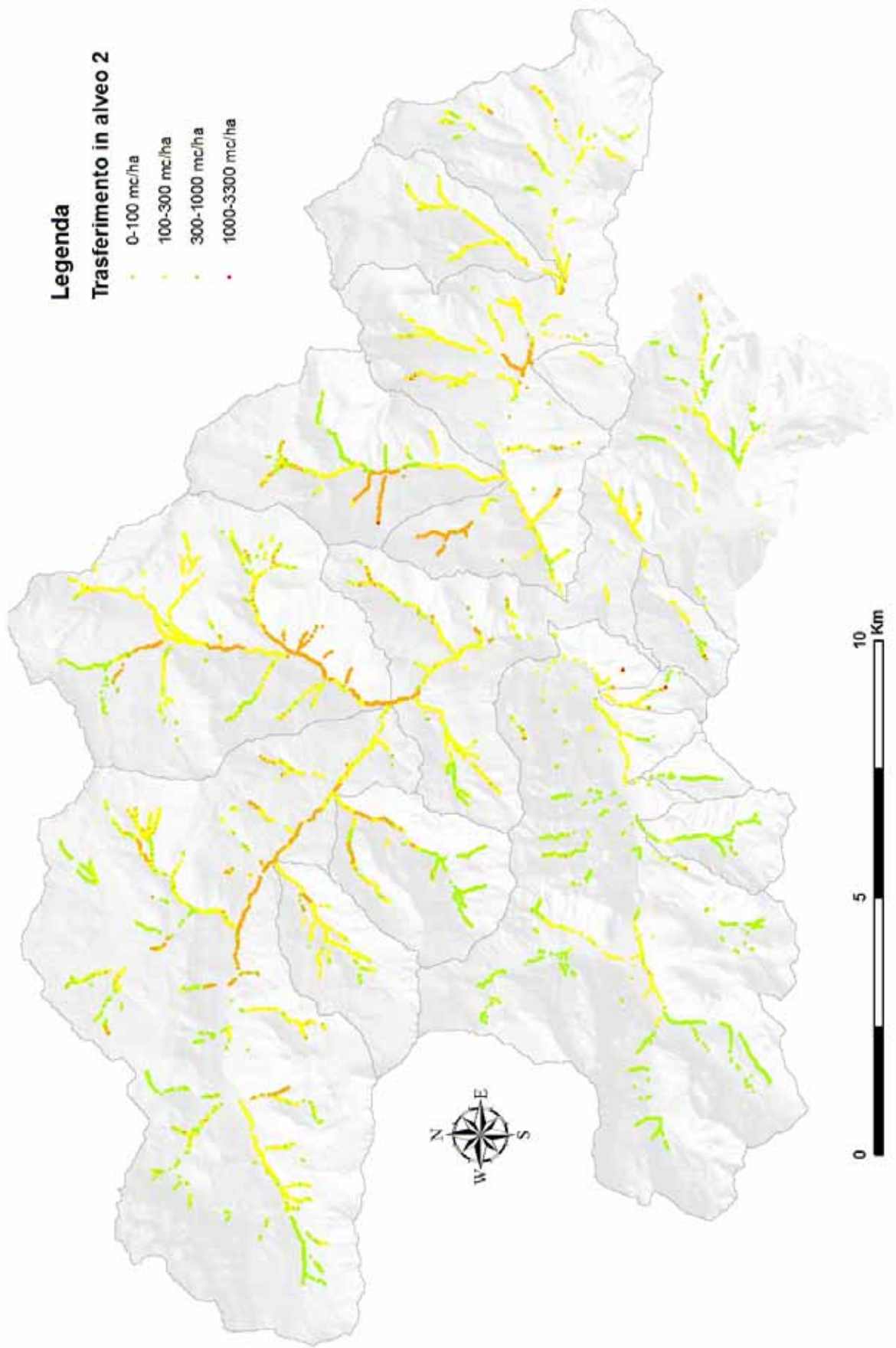
Mappe del trasferimento del legname in alveo.

Per ognuno dei tre scenari ipotizzati è stata simulata la quantità di legname che viene fluitato e che si deposita all'interno dei torrenti. Nelle mappe a seguire sono riportate le quantità simulate di legname in alveo in relazione ai tre scenari ipotizzati.

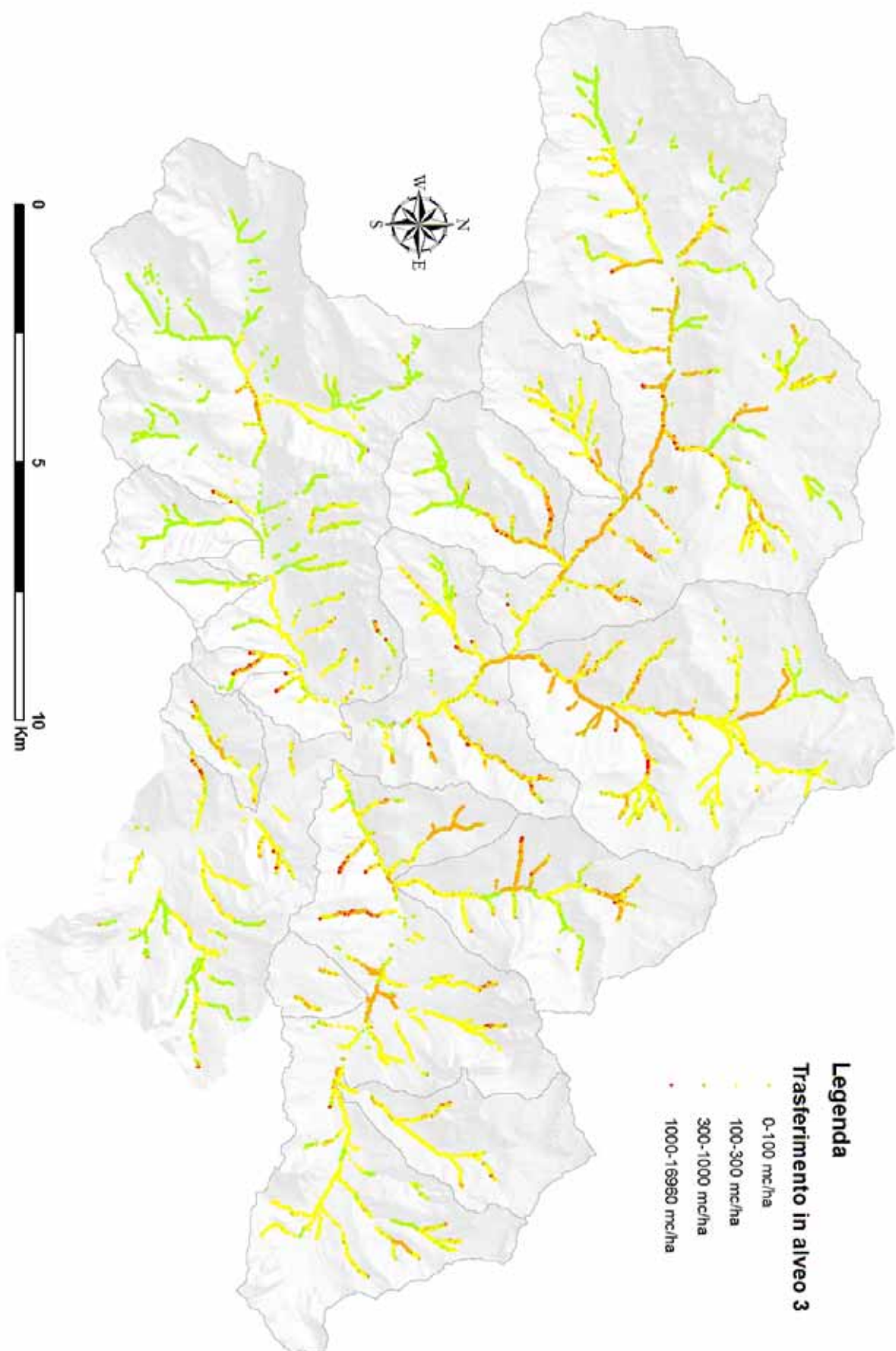
Modellazione propagazione legname in alveo: scenario 1



Modellazione propagazione legname in alveo: scenario 2



Modellazione propagazione legname in alveo: scenario 3



9 – 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.
- Abbe, T.B., Montgomery, D.R., Featherston, K., e McClure, E. 1993. A process-based classification of woody debris in a fluvial network; preliminary analysis of the Queets River, Washington. *EOS Transaction of the American Geophysical Union* 74, 296.
- Andreoli A., Comiti F., Mao L., Iroumé A., Lenzi M.A. 2008. Evaluación de los volúmenes y de los efectos hidro-morfológicos del material leñoso en dos torrentes andinos (Chile). *Ingeniería del Agua*. Vol. 15, No 3, Septiembre 2008. Fundación para el Fomento de la Ingeniería del Agua.
- Assani, A. and Petit, F. 1995. Log-jam effects on bed-load mobility from experiments conducted in a small gravel-bed forest ditch. *Catena*, 25, 117-126.
- Batchelor, G.K. 1967. An introduction to fluid dynamics. *Cambridge University Press*, New York, 615.
- Beebe, J.T. 1997. Fluid patterns, sediment pathways and woody obstructions in the Pine River, Angus, Ontario. *Doctoral dissertation*. Wilfrid Laurier University, Waterloo, ON.
- Beechie, T. J., G. Pess, P. Kennard, R. E. Bilby, and S. Bolton. 2000. Modeling recovery rates and pathways for woody debris recruitment in Northwestern Washington streams. *North American Journal of Fisheries Management* 20:436–452.
- Beechie, T., Beamer E., and Wasserman L. 1994. Estimating coho salmon rearing habitat and smolt production losses in a large river basin, and implications for habitat restoration. *North American Journal of Fisheries Management* 14:797–811.
- Benda, L. E., and J. C. Sias. 2003. A quantitative framework for evaluating the wood budget. *Forest Ecology and Management* 172:1–16.
- 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.
- Beschta, R.L. 1983. The effects of large organic debris upon channel morphology: a flume study. Pages 63-78 in D. B. Simons, editor. Symposium on erosion and sedimentation. *Simons, Li & Associates, Fort Collins, Colorado*.
- Bilby, R.E. and Bisson, P.A. 1998. Function and Distribution of Large Woody Debris. In: *River Ecology and Management, Naiman R.J. and Bilby R.E. (Editors)*. Springer, New York, pp. 324-346.
- Bisson, P.A., Bilby, R.E., Bryant, M.D., Dolloff, C.A., Grette, G.B., House, R.A., Murphy, M.L., Koski, K.V., e Sedell, J.R. 1987. Large wood debris in forested streams in the Pacific Northwest: past, present, and future. Pages 143-190 in E. O. Salo and T. W. Cundy, editors. *Streamside management: forestry and fishery interactions*. *Institute of Forest Resources*, no. 57, University of Washington, Seattle.
- Bonham-Carter G.F., Agterberg F.P., Wright D.F., 1990. Stastical pattern integration for mineral exploration. *Geological Survey of Canada*, Inter. Rept. Ottawa.
- Bormann, N.E., e Julien, P.Y. 1991. Scour downstream of grade-control structures. *Journal of Hydraulic Engineering* 117:579-594.
- Bragg, D. C., J. L. Kershner, and D. W. Roberts. 2000. Modeling large woody debris recruitment for small streams of the central Rocky Mountains. *U.S. Department of Agriculture, Rocky Mountain Research Station*. General Technical Report RMRS-GTR-55. Fort Collins, Colorado.
- Braudrick C.A. and Grant. E.G. 2000. When do logs move in rivers? *Water Resources Research* 36, 571-583.

- 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.
- Brinson, M.M. 1990. Riparian Forests. In: A.E. Lugo, M. Brinson and S. Brown (Editors), *Forested Wetlands. Ecosystems of the World 15*. Elsevier, Amsterdam, 87-141.
- Buffington, J.M. 2001. Hydraulic roughness and shear stress partitioning in forest pool-riffle channels. In *T.J. Nolan, and C.R. Thorne, editors. Gravel-Bed rivers 2000 CD ROM*. Special Publication of the New Zealand Hydrological Society.
- Buffington, J.M. and Montgomery, D.R. 1999. Effects of hydraulic roughness on surface textures of gravel bed rivers. *Water Resources Research*, 35, 3507-3522.
- Burrough P.A. 1986 - Principles of geographical information systems for land resource assessment, Clarendon Press, Oxford, U.K, 194pp.
- Calligaro, S. 2007. Il ruolo degli accumuli di legname in alveo nel torrente Ru Davedin. *Tesi di laurea in Scienze Forestali ed Ambientali*, Università degli Studi di Padova.
- Campana R., Mantovani M., Pasutto A., Schiavon E., Tagliavini F., Toffoletto F. 2007. La pericolosità geologica per instabilità dei versanti nell'Alta Val Cordevole. *Progetto CARG Veneto*.
- Carlig, G. 2005. Il ruolo del legname in alveo nel Torrente Tres Arroyos, Temuco, IX Regione, Cile. *Tesi di laurea in Scienze Forestali ed Ambientali*, Università degli Studi di Padova.
- Cavalli, R., Urso, T. 1997. Tecnologie del legno: dispense del Corso integrato di Tecnologia del legno, meccanizzazione e utilizzazioni forestali. *Ed. Libreria Progetto*. Padova. Pp. 85.
- Cherry, J., e Beschta, R. L. 1989. Coarse woody debris and channel morphology: a flume study. *Water Resources Bulletin* 25:1031-1036.
- Citterio, A. 1996. Dynamique de dépôts et de prise en charge du bois mort sur deux hydrosystèmes. *Memoire de maitrise*, University Lyon.
- 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.
- Collins, B.D., Montgomery D.R, and Haas A.D. 2002. Historical changes in the distribution and functions of large wood in Puget Lowland rivers. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 59:66-76
- Comel F. 2007. Analisi dei residui legnosi in due torrenti delle Dolomiti Bellunesi (T. Andraz; T. Ornella. *Tesi di laurea in Tutela e Riassetto del Territorio*, Università degli Studi di Padova.
- Comiti F, Andreoli A., Lenzi M.A., and Mao L., 2006. Spatial density and characteristics of woody debris in five mountain rivers of the Dolomites (Italian Alps). *Geomorphology*, Volume 78, Issues 1-2, pages 44-63
- Comiti F., Andreoli A., Mao L., Lenzi M.A. 2007. Wood storage in three mountain streams of the Southern Andes and its hydro-morphological effects. *Earth Surf. Process. Landforms*; DOI: 10.1002/esp. 1541. (Disponibile on-line).
- D'Agostino, V. 2004. Sistemazioni idraulico forestali II. *Appunti delle lezioni*. Corso di Laurea Specialistica in Scienze Forestali ed Ambientali. Padova.
- Davies-Colley, R.J. 1997. Stream channels are narrower in pasture than in forest. *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research* 31:599-608.
- 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 di Padova. Pp. 226.
- Della Giacoma F. 2004. Il trattamento della vegetazione in alveo. *Sherwood*, 106.
- Downs, P. W., and A. Simon. 2001. Fluvial geomorphological analysis of the recruitment of large woody debris in the Yalobusha River network central Mississippi, USA. *Geomorphology* 37:65-91.

- Ebo, D. 2005. Il rischio idraulico derivante dagli accumuli legnosi in alveo: applicazione di un modello idrodinamico al caso del Rio Molini (BI). *Tesi di laurea in Scienze Forestali ed Ambientali*, Università degli Studi di Padova. Pp. 86.
- Einstein, H.A., e Banks, R.B. 1950. Fluid resistance of composite roughness, *Eos Trans. AGU*, 31: 603-610.
- Faustini, J.M., Jones, J.A. 2003. Influence of large woody debris on channel morphology and dynamics in steep, boulder-rich mountain streams, western Cascades, Oregon. *Geomorphology* 51. 187-205.
- Ferro, V., 2002. La sistemazione dei bacini idrografici. *Ed. McGraw-Hill*, pp. 676.
- Fetherston, K.L., Naiman, R.J., Bilby, R.E. 1995. Large woody debris, physical process, and riparian forest development in montane river networks of the Pacific Northwest. *Geomorphology* 13, April 1995, 133-144.
- Flores, A.N. Bledsoe, B.P. Cuhaciyar, C.O. Wohl, E. E. 2006 Channel-reach morphology dependence on energy, scale, and hydroclimatic processes with implications for prediction using geospatial data. *Water Resour. Res.*, 42, W06412, doi:10.1029/2005WR004226.
- Geremia, D. 2007. Studio delle caratteristiche dei detriti legnosi in un torrente alpino: rio Molini. *Tesi di laurea in Scienze Forestali ed Ambientali*, Università degli Studi di Padova.
- Giordano, G. 1997. Antologia del Legno. *Consorzio legno SCRL*. Volume I, Pp. 457.
- Gippel, C.J., O'Neill, I.C., Finlayson, B.L. e Schnatz, I. 1996. Hydraulic guidelines for the reintroduction and management of large woody debris in lowland rivers. *Regulated Rivers Research and Management* 12:223-236.
- Grant, G.E., e Swanson, F.J. 1995. Morphology and processes of valley floors in mountain streams, western Cascades, Oregon. Pages 83-101 in J. E. Costa, A. J. Miller, K. W. Potter, and P R. Wilcock, editors. Natural and anthropogenic influences in fluvial geomorphology. American Geophysical Union, Geophysical Monograph 89, Washington, D.C.
- Gregory et al., 2003 S.V. Gregory, M.A. Meleason and D.J. Sobota. 2003. Modeling the dynamics of wood in streams and rivers, *Am. Fish. Soc. Symp.* 37, pp. 315–335.
- Gregory, S.V., Swanson, F.J., McKee, W.A., Cummins, K.W. 1991. An ecosystem perspective of riparian zones. *Bioscience*, 41, 540-551.
- Gurnell A.M., Piégay H., Swanson F.J., and Gregory S.V. 2002. Large wood and fluvial processes. *Freshwater Biology* 47, 601-619.
- Gurnell, A.M., Petts, G.E., Hannah, D.M., Smith, B.P.G., Edwards, P.J., Kollmann, J., Ward, J.V., Tockner, K. 2000a. Wood storage within the active zone of large European gravel-bed river. *Geomorphology* 34:55-72.
- Gurnell, A.M., Petts, G.E., Hannah, D.M., Smith, B.P.G., Edwards, P.J., Kollmann, J., Ward, J.V., Tockner, K. 2000b. Riparian vegetation and island formation along the gravel-bed Fiume Tagliamento, Italy. *Earth Surface Processes and Landforms* 26:31-62.
- Harmon M.E., Franklin F.J., Swanson P., Sollins S.V., Gregory J.D., Lattin N.H., Anderson S.P., Cline N.G., Aumen et al. 1986. Ecology of coarse woody debris in temperate ecosystems. *Advances in Ecological Research* 15, 133-302.
- Harwood, K., e Brown, A.G. 1993. Fluvial processes in a forested anastomosing river: flood partitioning and changing flow patterns. *Earth Surface Processes and Landforms* 18:741-748.
- Heede, B.H. 1981. Dynamics of selected mountain streams in the western United States of America. *Zeitschrift fur Geomorphologie* 25:17-32.
- Hering D., Kail J., Eckert S., Gerhard M., Meyer E.I., Mutz M., Reiche M., Weiss I. (2000). Coarse woody debris quantity and distribution in Central European streams. *International Review of Hydrobiology* 85, 5–23.

- Hogan, D.L., 1986. Channel Morphology of Unlogged, Logged and Torrented Streams in the Queen Charlotte Islands. *B.C. Ministry of Forests, Land Management Report No. 49*, Victoria, British Columbia, Canada.
- Hygelund, B., e Manga, M. 2002. Field measurements of drag coefficients for model large woody debris. *Geomorphology* 1297:1-11.
- Ishikawa, Y. 1990. Studies on disasters caused by debris flow carrying logs down mountain. *SABO Division, Public Works Research Institute, Ministry of Construction*.
- Kail, J. 2004. Geomorphic effects of large wood in streams and rivers and its use in stream restoration: a Central European perspective. Ph.D. *Thesis, Universität Duisburg-Essen, Essen, Germany*, pp. 153
- Kail, J., 2003. Influence of large woody debris on the morphology of six central European streams, *Geomorphology*, Volume 51, Issues 1-3, 20 March 2003, Pages 207-223.
- Keller, E.A., e Swanson, F.J. 1979. Effects of large organic material on channel form and fluvial processes. *Earth Surface Processes*.
- Keller, E.A., e Tally, T. 1979. Effects of large organic debris on channel form and fluvial processes in the coastal redwood environment. In: Rhodes, D.D., Williams, G.P. (Eds.). *Adjustments of the Fluvial System*. Kendal Hunt, Dubuque, IA. 169 pp.
- Kennard P., G. R. Pess, T. J. Beechie, B. Bilby, and D. Berg. 1998. Riparian-in-a-Box: a manager's tool to predict the impacts of riparian management on fish habitat. Pages 483-490 in M. K. Brewin and D. Monita, editors. *Proceedings of the Forest-Fish Conference: Land Management Practices Affecting Aquatic Ecosystems*. Informational Report NOR-X-356. Natural Resources Canada, Canadian Forest Service Northern Forestry Centre, Edmonton, Alberta, Canada.
- Lenzi, M.A., 2002. Stream bed stabilization using boulder check dams that mimic step-pool morphology features in Northern Italy. *Geomorphology*. vol. 45, pp. 243-260
- Lenzi, M.A., D'Agostino, V., Sonda, D. 2000. Ricostruzione morfologica e recupero ambientale dei torrenti. *Editoriale Bios*, Cosenza. Pp. 208.
- Lisle, T.E. 1986. Effects of woody debris on anadromus salmonid habitat, Price of Wales Island, southeast Alaska. *North American Journal of Fisheries Management* 6: 538-550.
- Lisle, T.E. 1995. Effects of woody debris and its removal on a channel affected by the 1980 eruption of Mount St. Helens, Washington. *Water Resources Research* 31:1797-1808.
- Lisle, T.E., and Napolitano, M.B. 1998. Effects of recent logging on the main channel of North Fork Caspar Creek In: *Ziemer, R.R., technical coordinator. Proceedings of the conference on coastal watersheds: the Caspar Creek story, 6 May 1998; Ukiah, California*. General Tech. Rep. PSW GTR-168. Albany, California: Pacific Southwest Research Station, Forest Service, U.S. Department of Agriculture; 81-85.
- Mac-Donald, A. and Keller, E.A. 1987. Stream channel response to the removal of large woody debris, Larry Dam Creek, Northwestern California. *Proceedings of the Symposium on the Erosion and Sedimentation in the Pacific Rim, International Association of Hydrological Science*. Publication, 165, 405-406.
- Malanson, G. P., and J. A. Kupfer. 1993. Simulated fate of leaf litter and woody debris at a riparian cutbank. *Canadian Journal of Forest Research* 23:582-590.
- Manga, M., e Kirchner, J.W. 2000. Stress partitioning in streams by large woody debris. *Water Resources Research* 36:2373-2379.
- Mao L., Andreoli A., Comiti F., Lenzi M.A. 2008. Geomorphic effects of large wood jams on a sub-Antarctic mountain stream River Research and application 24, 249-266; doi:10.1002/rra.1062.
- Marston, R. A. 1982. The geomorphic significance of log steps in forest streams. *Annals of the American Association of Geographers* 72:99-108.
- Mason, P.J., e Arumugam, K.1985. Free jet scour below dams and flip buckets. *Journal of Hydraulic Engineering* 111:220-235.

- 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
- Megahan, W.F. 1982. Channel sediment storage behind obstructions in forested drainage basins draining the granite bedrock of the Idaho Batholith. In: Swanson, F.J., Janda, R.J., Dunne, T., Swanston, D.N. (Eds.), *Sediment Budgets and Routing in Forested Drainage Basins. General Technical Report PNW-141. USDA Forest Service, Pacific Northwest Forest and Range Experimental Station, Portland, OR*, pp. 114–121
- Megahan, W.F., Nowlin, R.A. 1976. Sediment storage in channels draining small forested watersheds in the mountains of central Idaho. *Proceedings of the Third Federal Inter-Agency Sedimentation Conference, Denver, CO. U.S. Government Printing Office, Washington, DC*, pp. 115–126.
- Meleason M.A., Davies-Colley R., Wright-Stow A., Horrox J., Costley K. 2005. Characteristics and geomorphic effect of wood in New Zealand's native Forest streams. *International Review of Hydrobiology* 90 (5-6), 466-485.
- Meleason, M. A., S. V. Gregory, and J. Bolte. 2002. Simulation of stream wood source distance for small streams in the western Cascades, Oregon. Pages 457–466 in W. F. Laudenslayer, Jr., P. J. Shea, B. E. Valentine, C. P. Weatherspoon, and T. E. Lisle, editors. *Proceedings of the Symposium on the Ecology and Management of Dead Wood in Western Forests*. USDA Forest Service, Pacific Southwest Research Station, General Technical Report PSW-GTR-181, Albany, California.
- Melville, B.W. 1992. Local scour at bridge abutments. *Journal of Hydraulic Engineering* 118:615-631.
- Melville, B.W. 1997. Pier and abutment scour: integrated approach. *Journal of Hydraulic Engineering*, 123, 125-136.
- Minor, K. P. 1997. Estimating large woody debris recruitment from adjacent riparian areas. *Master project*. Oregon State University, Corvallis.
- Montgomery, D.R., Abbe, T.B., Peterson, N.P., Buffington, J.M., Schmidt, K., and Stock, J.D. 1996. Distribution of bedrock and alluvial channels in forested mountain drainage basins. *Nature (London)* 381:587-589.
- Montgomery, D.R., Buffington, J.M., Smith, R.D., Schmidt, K.M., and Pess, G. 1995. Pool spacing in forest channels. *Water Resources Research*, 31, 1097-1105.
- Montgomery, D.R., Buffington, R. 1997. Channel-reach morphology in mountain drainage basin. *GSA bulletin*, maggio 1997. Vol. 109, pp. 596-611.
- Montgomery, D.R., Collins, B.D., Buffington, J.M., e Abbe, T.B. 2003. Geomorphic effects of wood in rivers. *American Fisheries Society Symposium* 37, Ed. by S. Gregory, K. Boyer, A. Gurnell. 21-47.
- Moulin, B. & Piegay, H., (2004). Les corps flottant dans le bassin versant de l'Isère: Proposition pour une gestion durable. Plaquette finale.
- Murphy, M. L., and K. V. Koski. 1989. Input and depletion of woody debris in Alaska streams and implementation for streamside management. *North American Journal of Fisheries Management* 9:427–436.
- Mutz, M. 2003. Hydraulic effects of wood in streams and river. *American Fisheries Society Symposium* 37, Ed. by S. Gregory, K. Boyer, A. Gurnell. 93-107.
- Nakamura, F., e Swanson, F.J. 1993. Effects of coarse woody debris on morphology and sediment storage of a mountain stream system in western Oregon. *Earth Surface Processes and Landforms*.
- 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.
- Picco, L. 2006. Caratteristiche e movimento del legname in alveo in due bacini delle Ande Cilene. *Tesi di laurea in Scienze Forestali ed Ambientali*, Università degli Studi di Padova.
- Piégay H., Gurnell, A.M., 1997. Large woody debris and river geomorphological pattern: examples from S.E. France and S. England, *Geomorphology*, 19(1-2), 99-116

- Piégay, H., A. Thévenet, e Citterio, A. 1999. Input, storage and distribution of large woody debris along a mountain river continuum, the Drôme River, France. *CATENA* 35:19-39
- Rainville, R. C. and E. L. Linder. 1986. Riparian silvicultural strategies for fish habitat emphasis. *Forester's future: leaders or followers. Society of American Foresters National Conference Proceedings*. SAF Publication 85-13, Society of American Foresters, Bethesda, Maryland. 186-196.
- Reeves, G. H., Bisson P. A., and Dambacher J. M. 1998. Fish communities. Pages 200-234 in R. J. Naiman, R. Bilby E., and Kantor S. editors. *River ecology and management: lessons from the Pacific coastal ecosystem*. Springer, New York.
- Richmond A.D., Fausch K.D., (1995), Characteristics and function of large woody debris in subalpine Rocky Mountain streams in northern Colorado. *Canadian journal of fisheries and aquatic sciences* 52 (8), 1789-1802.
- Rigon E., Andreoli A., Comiti F., Lenzi M.A. 2007. Quantity, characteristic and origin of large woody debris in a mountain stream (Codalunga, Veneto). *Quaderni di Idronomia Montana* 25, 227-243.
- Rigon E., Comiti F., Andreoli A, Lenzi M.A. 2008-b Il materiale legnoso in alveo nei torrenti alpini: troppo o troppo poco? Evidenze dal bacino dell'alto Cordevole (Belluno). *Quaderni di Idronomia Montana*. Vol. 28-2.
- Rigon E., Comiti F., Mao L., Lenzi M.A. 2008-a Relationships among basin area, sediment transport mechanisms and wood storage in mountain basins of the Dolomites (Italian Alps). Second international conference on monitoring, simulation, prevention and remediation of Dense and Debris Flow. WIT Press. Pp. 163-172.
- 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. Pp. 160.
- 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.
- Rodriguez-Iturbe I., Ijjasz-Vasquez E. J., Bras R.L., and Tarboton D.G. 1992. Power-law distributions of mass and energy in river basins. *Water Resour. Res.* 28(4): 1089-1093.
- Rosin, N. 2007. Analisi del materiale legnoso presente in tributari di 1° e 2° ordine nel torrente Pettorina *Tesi di laurea in Tutela e Riassetto del Territorio*, Università degli Studi di Padova. (in discussione a dicembre 2007)
- Sedell, J.R., Bisson, P.A., Swanson, F.J., Gregory, J.V., 1988. What we know about large trees that fall into streams and rivers. Pages 47-81 in C. Maser, R. F. Tarrant, J. M. Trappe and J. F. Franklin, editors. *From the forest to the sea, a story of fallen trees. General Technical Report GTR-PNW-229. U. F. Forest Service*, Pacific Northwest Research Station, Portland, Oregon.
- Siffredi Duranti, E. 2005. La problematica del legname in alveo connessa alla gestione del territorio: il caso del Rio Molini (Bl). *Tesi di laurea in Scienze Forestali ed Ambientali*, Università degli Studi di Padova. Pp. 136.
- 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. Pp. 130.
- Smith, D.G. 1976. Effect of vegetation on lateral migration of anastomosed channels of a glacier meltwater river. *Geological Society of America Bulletin* 87:857-860.
- Soccol, E.U., Tessarollo, A. 2003. Il rischio idraulico dell'abitato di Caprile. *Tesi di Master in Difesa del Suolo e Protezione Civile*. Università degli Studi di Padova. Dipartimento IMAGE.
- Strahler, A.N. 1964. Geology. Part II. Quantitative geomorphology of drainage basins and channel networks. *Handbook of applied Hydrology*, V.T. Chow editor, New York, McGraw-Hill.
- Strasburger, E., Bellini, E., Pupillo, P., Caretta, G., Lausi, D. 1995. Trattato di Botanica, parte generale. *Antonio Delfino Editore*. Roma. Pp. 267.

- Swanson, F.J., Fredriksen, R.C. 1982. Sediment routing and budget implications for judging impacts of forestry practices. In: Swanson, F.J., Janda, R.J., Dunne, T., Swanson, D.N. (Eds.), *Sediment Budgets and Routing in Forested Drainage Basins. General Technical Report PNW-141. USDA Forest Service. Pacific Northwest Forest and Range Experimental Station, Portland, OR*, pp. 129–137.
- Swanson, F.J., Johnson, S.L., Gregory, S.V., Acker, S.A. 1998. Flood disturbance in a forested mountain landscape. *Bioscience, Vol. 48 No. 9. September 1998.* 641-689.
- 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.
- Swanson, 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.
- Tarboton, D. G. and Ames, D. P. 2001. Advances in the mapping of flow networks from digital elevation data, in *World Water and Environmental Resources Congress*, Orlando, Florida, May 20-24, ASCE.
- Tonon, M. 2005. Analisi qualitativa e quantitativa del legname in alveo nel torrente Pettorina (BL). *Tesi di laurea in Scienze Forestali ed Ambientali*, Università degli Studi di Padova.
- Trimble, S.W. 1997. Stream channel erosion and change resulting from riparian forests. *Geology* 25:467-469.
- 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.
- Van Sickle, J., and S. V. Gregory. 1990. Modeling inputs of large woody debris to streams from falling trees. *Canadian Journal of Forest Research* 20:1593–1601.
- Welty, J. W., T. Beechie, K. Sullivan, D. M. Hyink, R.E. Bilby, C. Andrus, and G. Pess. 2002. Riparian Aquatic Interaction Simulator (RAIS): a model of riparian forest dynamics for the generation of large woody debris and shade. *Forest Ecology and Management* 162:299–318.
- Williams, M. 2000. Dark age and dark areas: global deforestation in the deep past. *Journal of Historical Geography* 26(1):28-46.
- Wohl, E., Madsen, S., e MacDonald, L. 1997. Characteristics of log and clast bed-steps in step-pool streams of northwestern Montana. *Geomorphology* 20:1-10.
- Zimmerman, R.C., Goodlet, J.C., e Comer, G.H. 1967. The influence of vegetation on channel form of small streams. *Symposium on River Morphology. International Association of Hydrological Sciences Publication* 75:255-275.
- 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.

Ringraziamenti

Durante lo svolgimento del Dottorato di Ricerca le persone che mi hanno aiutato sono molte, ed è doveroso cercare di ricordarle tutte.

Per le fasi di campagna innanzi tutto si deve ringraziare il Centro Valanghe di Arabba, in particolare nella persona del dott. Somnavilla Francesco e Palla Stefano. I rilievi sono stati svolti insieme a Bottazin Luca, Calligaro Simone, Comel Federico, Rainato Riccardo, Rosin Nicola, Spanevello Manuel, Trevisan Andrea e Zorzi Stefano.

Ringrazio Fabrizio Tagliavini dell'IRPI per il supporto e gli indispensabili consigli durante la fase di creazione del modello previsionale, e Marco Zasso per le elaborazioni GIS.

Un riconoscimento va fatto anche ai comuni di Alleghe, Colle S. Lucia, Selva di Cadore, Livinallongo del Col di Lana e Rocca Pietore per la disponibilità a fornire i Piani d'Assestamento.

Ringrazio tutti i ragazzi ed i frequentatori del laboratorio IDEA, Antonella ed Ileana.

Voglio ricordare alcuni che mi sostengono il morale nei momenti difficili: papà e mamma, mia sorella Elisa (e la nipotina Anna), mio fratello Antonio, Cugna, Claudio e Santisa, Mirko e Luisa con Francesca e Chiara, Dira, Beta, Matteo e Fe, Luca e Patty, Mek e Nadia con Christian, Massimo e Chiara, Federico e Laura, Denny e Ombry, e molti altri ancora...

Un ringraziamento particolare va al dott. Francesco Comiti, e il prof. Lenzi Mario Aristide che sono stati presenti in ogni fase di questo lavoro.

Questa tesi è dedicata ad Elena, che mi è sempre vicina e sopporta il mio brutto carattere.

Emanuel Rigon.